

**Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу**

На правах рукопису

*Долішній Богдан Семенович*

621.74.06(043)

УДК 621.192

А64

**МЕТОД І ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ  
ЛИВАРНИХ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ**

Спеціальність 05.11.13-Прилади і методи контролю та  
визначення складу речовини

**Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

**науковий керівник:  
доктор технічних наук,  
професор Заміховський Л.М.**



## ЗМІСТ

	ВСТУП	7
1	СУЧАСНИЙ СТАН КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЛИВАРНИХ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ (ЛАЛ) В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	12
1.1	Особливості конструктивної і функціональної структури ЛАЛ....	13
1.2	Аналіз ЛАЛ з точки зору об'єкту контролю.....	23
1.3	Аналіз методів і технічних засобів контролю працездатності ЛАЛ та її модулів.....	26
1.4	Постановка задачі досліджень.....	33
2	ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ – МОДУЛЯ ЛАЛ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ.....	35
2.1	Загальні зауваження стосовно збору статистичних даних по відмовах модулів ЛАЛ.....	35
2.2	Методика проведення експлуатаційних досліджень технічного стану ЛАЛ та аналіз їх відмов.....	40
2.3	Результати обробки статистичних даних з відмов модулів ЛАЛ...	46
2.4	Визначення показників надійності модулів ЛАЛ.....	53
2.5	Алгоритми пошуку дефектів ЛАЛ.....	74
	Висновки до розділу.....	77
3	АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШЕННЯ РОЛИКІВ РОЛЬГАНГУ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛАЛ.....	79
3.1	Конструктивні особливості рольгангового транспорту, що визначають характер його роботи.....	79
3.2	Величина зносу роликів як критерій оцінки працездатності рольгангового транспорту та аналіз факторів, що його обумовлюють.....	83
3.3	Розробка узагальненої математичної моделі процесу зношення роликів рольгангу і підпочної плити.....	89
3.3.1	Математична модель руху опоки по рольгангу.....	97

3.3.2	Аналіз узагальненої моделі процесу зношення роликів рольгангу...	99
3.4	Математична модель інтенсивності відмов рольгангового транспорту.....	103
3.5	Імітаційне моделювання процесу зношення роликів рольгангу...	110
3.5.1	Зношення роликів рольгангу внаслідок затримок опок.....	110
3.5.2	Зношення роликів рольгангу під час нормальної роботи.....	116
	Висновки до розділу.....	127
4	<b>РОЗРОБКА МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛАЛ.....</b>	<b>129</b>
4.1	Випробувальний стенд для експериментальних досліджень процесів зношування роликів рольгангу та їх технічне і методичне забезпечення.....	129
4.2	Експериментальні дослідження процесів зношування роликів рольгангу модуля транспорту ЛАЛ.....	134
4.2.1	Перевірка адекватності математичної моделі зношування роликів рольгангу на експериментальних даних.....	140
4.3	Аналіз методів контролю об'єктів циліндричної форми та вибір робочого циклу за діагностичну ознаку працездатності модуля транспорту ЛАЛ.....	142
4.4	Математична модель робочого циклу рольгангу.....	147
4.5	Оцінка параметрів робочого циклу та інтенсивності відмов модуля транспорту.....	152
4.6	Взаємозв'язок тривалості робочого циклу з показниками роботи модуля транспорту ЛАЛ.....	155
4.7	Вибір границі зміни робочого циклу модуля транспорту ЛАЛ.....	156
4.8	Визначення критичного значення робочого циклу модуля транспорту ЛАЛ.....	163
4.9	Оцінка точності визначення тривалості робочого циклу модуля транспорту ЛАЛ.....	164
	Висновки до розділу	167

5	РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛАЛ.....	168
5.1	Загальна характеристика системи контролю і управління транспортними засобами і механізмами ЛАЛ.....	168
5.2	Аналіз системи контролю модулем транспорту ЛАЛ.....	170
5.3	Розробка алгоритму функціонування системи контролю стану модуля транспорту ЛАЛ.....	171
5.4	Функціональна схема і принцип роботи системи контролю і управління технологічними параметрами модуля транспорту ЛАЛ.....	175
5.5	Аналіз помилок розробленої методики контролю працездатності модуля транспорту ЛАЛ.....	182
	Висновки до розділу.....	185
	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	187
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	190
	ДОДАТКИ.....	197



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

АВ	– автоматичний відсікач;
АЗ	– автомат заливки;
БС	– безконтактна схема;
ВАТ	– виробниче акціонерне товариство;
ВО	– вільна пара опок;
ВУ	– вантажоукладач;
ЕОМ	– електронна обчислювальна машина;
ЗБ	- збірник;
ЗЗ	– пристрій зрізування;
КН	– кантувач;
ЛАЛ	– ливарна автоматична лінія;
МО	– механізм очистки;
МТ	– модуль транспорту;
МТ-ЛАЛ	– модуль транспорту ливарної автоматичної лінії;
ОД	– об'єкт діагностування;
ПП	– підпочна плита;
РКС	– релейно-контактна схема;
РОЗ	– роз'єднувач;
СКУ	– система контролю і управління;
СО	– структурна одиниця;
СТ	– постановник стрижнів;
ТУ	– технічні умови;
УП	– управляючий пристрій;
ФАН	– формовочний автомат;
ШОН	– штовхач.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Виробництво сталюого і чавунного литва відноситься до складних і трудоемких процесів. Сьогодні автоматизація ливарного виробництва розвивається в напрямку створення ливарних автоматичних ліній (ЛАЛ), які включають наступні її основні складові: формовочну ділянку і допоміжні пристрої до неї; транспорт і накопичення опок; функціональні автомати і пристрої; ділянку заливки; ділянку вибивки; систему керування і силовий привід з різними енергоносіями; ділянку охолодження.

Основна проблема при експлуатації ЛАЛ, з врахуванням її основних складових, полягає в забезпеченні безперервного випуску відливок на протязі всього терміну служби лінії. Однак, в процесі експлуатації ЛАЛ виникають різноманітні дефекти, що призводять до втрати її працездатності і, відповідно, до зниження ефективності. Існуюча система планово-попереджувальних робіт (ППР) є неефективною, оскільки в багатьох випадках призводить до невиправданих планових відключень і простою працездатного обладнання, що завдає значних економічних збитків (збитки від однієї хвилини простою ЛАЛ складають 180-210 гривень). В той же час використання методів технічної діагностики дозволяє проводити профілактичні та ремонтні роботи за потребою на основі інформації про фактичний технічний стан обладнання. На сучасному етапі розвитку техніки контроль технічного стану циклічно працюючих механізмів, машин-автоматів, верстатних автоматичних ліній, до яких можна віднести і ЛАЛ, стає загальноприйнятим і здійснюється на основі використання методів технічної діагностики. Однак, як показав проведений аналіз, сьогодні технічна діагностика ливарного обладнання, яке відрізняється рядом певних особливостей як конструктивного, так і технологічного характеру, досить примітивна і не відповідає сучасному рівню машинобудування. В зв'язку з розширенням технологічних можливостей і номенклатури відливок, які отримують на ЛАЛ, ускладнюється і конструкція її основних складових, що без

впровадження методів діагностування ЛАЛ, та з врахуванням значної їх вартості, призводить до збільшення середнього часу виявлення відмов та значних витрат на їх ліквідацію. Тому задача розробки методу контролю працездатності ЛАЛ є актуальною і має важливе народногосподарське значення.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася згідно з планами наукових робіт (тема 534 85-1) спеціального конструкторсько-технологічного бюро СКТБ “Надра” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) з ВАТ “Автолившаш” Мінпромполітики України по договору № 537/07-14-97 від 10.02.97.

**Мета роботи:** Забезпечення більш повного використання ресурсу закладеного в ЛАЛ та підвищення ефективності її експлуатації за рахунок оперативної і вірогідної інформації про фактичний технічний стан, який визначається розробленим методом контролю працездатності ЛАЛ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити найбільш впливові фактори, що призводять до втрати працездатності модулів ЛАЛ та провести аналіз експлуатаційних відмов модулів ЛАЛ ;
- використовуючи метод експертних оцінок та статистичні дані з відмов ЛАЛ, визначити модуль з низькими показниками надійності і вибрати його за об’єкт подальших досліджень;
- провести аналітичні дослідження методу контролю степеня працездатності вибраного об’єкту;
- розробити методичне і стендове забезпечення експериментальних досліджень методу контролю працездатності вибраного об’єкту;
- розробити метод контролю працездатності вибраного об’єкту та провести його дослідження;
- розробити пристрій контролю працездатності вибраного об’єкту.

**Об'єкт дослідження** – модуль транспорту ЛАЛ експлуатація якого в складі інших модулів ЛАЛ характеризується виникненням різноманітних дефектів, що призводять до зміни його технічного стану і, відповідно, знижують ефективність роботи ЛАЛ в цілому.

**Предметом дослідження** є виявлення закономірностей зміни діаметру роликів рольгангу обумовленого зносом явищами та встановлення його взаємозв'язку з тривалістю циклу роботи модулів транспорту ЛАЛ і розробка на цій основі методу контролю працездатності ЛАЛ.

**Наукова новизна** отриманих результатів:

- з використання основних положень теорії надійності, методу експертних оцінок і реальних статистичних даних, визначені основні показники надійності модулів ЛАЛ та встановлено, що закони розподілу напрацювання на відмову і часу відновлення модулів ЛАЛ підпорядковуються розподілу Вейбула-Гнеденко і Гамма розподілу;
- розроблено математичні діагностичні моделі процесу зносу роликів рольгангу та руху опок на рольгангу, які дозволяють описати явище “утикання” вантажу в ролик і “падіння” вантажу на ролик рольганга, що призводить до зносу роликів та визначити вплив швидкості руху опоки на величину зносу;
- проведено імітаційне моделювання з використання факторного експерименту, яке дозволило встановити закономірності зміни діаметру роликів (величину їх об'ємного зносу), обумовлені впливовими факторами;
- встановлено взаємозв'язок діаметра роликів рольгангу з тривалістю робочого циклу ЛАЛ і її продуктивністю та обгрунтовано вибір величини тривалості циклу в якості діагностичної ознаки стану модуля транспорту ЛАЛ;
- проведена перевірка адекватності математичної діагностичної моделі на експериментальних даних показала її працездатність;

- обґрунтовано вибір умов працездатності діагностичної моделі, що дозволило запобігти виникненню аварійних ситуацій.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- запропонована методика розрахунку показників надійності модулів ЛАЛ, на основі їх імовірносних моделей напрацювання на відмову і часу відновлення, яка дозволяє контролювати працездатність ЛАЛ в експлуатаційних умовах;
- розроблено алгоритм і метод контролю працездатності МТ ЛАЛ, в основу якого покладено алгоритм визначення величини зносу роликів рольгангу, що дозволяє проводити ремонтні та профілактичні роботи за потребою на основі інформації про фактичний технічний стан обладнання ЛАЛ;
- розроблений пристрій управління транспортною системою, який є невід'ємною функціональною складовою системи контролю працездатності ЛАЛ і дозволяє підвищити експлуатаційну надійність транспортної системи, що дасть змогу забезпечити оптимальний режим транспортування. Схемні рішення пристрою захищені патентом України;
- використанні матеріали дисертаційної роботи, а саме метод діагностування і методика розрахунку показників надійності ЛАЛ впроваджені на ВАТ "Автоливмаш", для напівавтоматичної лінії СКІФ-25, пилорами лісопильної ЛРС-4, і автомата-садчика мод ОП - 25. Очікуваний економічний ефект складає близько 4000 тис. грн.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Запропонована математична модель зносу роликів модуля транспорту (рольгангу) ЛАЛ, а також статистичний метод оцінки діаметра ролика за вимірними значеннями робочого циклу рольгангу та проведена їх апробація на експериментальних даних, отриманих при проведенні стендових досліджень [1], розроблена діагностична модель стану модуля транспорту, яка покладена в основу методу та пристрою контролю його працездатності, та досліджено взаємозв'язок між

факторами, що впливають на зміну основного показника ефективності функціонування ЛАЛ – продуктивності [2]. В роботах опублікованих в співавторстві запропоновано методологічний підхід при дослідженні надійності ЛАЛ [3], визначені проблеми і запропоновані нові підходи до підвищення експлуатаційної надійності ЛАЛ на основі використання положень технічної діагностики [4,5]; визначені показники надійності модулів ЛАЛ [6,8,9]; запропонована математична модель процесу зношення роликів рольгангу, яка враховує явища “утикання” вантажу в ролик і “падіння” вантажу на ролик рольгангу [7]; розроблена функціональна схема пристрою управління транспортною системою [10].

**Апробація результатів досліджень.** Основні результати досліджень, які включені до дисертаційної роботи, оприлюднені та обговорені на: науково-технічній конференції "Сучасні прилади, матеріали та технології для технічної діагностики та неруйнівного контролю нафтогазового, хімічного та енергетичного обладнання. Сучасний підхід до підготовки фахівців з НК і ТД" м.Івано-Франківськ, 1996, 2002; XIV, XV, XVI, XVII, XVIII Міжнародних міжвузівських школах-семінарах “Методи і засоби технічної діагностики” (м.Івано-Франківськ – 1997, 1997, 2001 р.р., м. Йошкар-Ола (Росія) – 1998, 2000 р.р.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (1996-2001 р.р.), наукових семінарах кафедри комп’ютерних технологій в системах управління та автоматики (1999-2001р.р.).

**Публікації.** За результатами досліджень, які викладені в дисертації опубліковано 10 наукових праць (з них 2 одноосібних).

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, п’яти розділів, висновків, додатків, викладених на 197 сторінках тексту, 42 рисунків, 34 таблиць, списку використаних джерел, що містить 118 найменувань та 11 додатків на 17 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЛИВАРНИХ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

До найбільш розповсюджених типів ЛАЛ, що сьогодні використовуються в ливарному виробництві на підприємствах різних галузей промисловості і які на протязі декількох десятиріч були промисловою продукцією Івано-Франківського відкритого акціонерного товариства (ВАТ) "Автолившаш" відносяться ЛАЛ наведені в додатку А1:

За час свого існування ВАТ "Автолившаш" було випущено більше ста ліній, які експлуатуються на підприємствах різних галузей народного господарства. Не дивлячись на часткове заповнення ринку продукцією ВАТ "Автолившаш", та тимчасовий спад економіки України, в подальшому потреба в його продукції (формовочне обладнання) буде зростати.

Аналіз поточної потреби в ливарних лініях за заявками галузей промисловості, а також річними і перспективними планами їх технічного переозброєння показує наступну середньорічну (мінімальну) потребу в універсальних ЛАЛ (табл. 1.1) [11].

Таблиця 1.1

Середньорічна (мінімальна) потреба в універсальних ЛАЛ країн СНД

Розмір опок, мм	Річна потреба, шт
800×700	25÷30
1000×800	15÷20
1200×1000	10÷15
1600×1200	15÷20

З табл. 1.1 можна зробити висновок, що вищесказана потреба в ливарних лініях збережеться до 2005 року. Відомо, що потреба в ливарних автоматичних лініях частково заповнювалась за рахунок їх імпорту із зарубіжних країн.

Наприклад, з ФРН по 2÷3 лінії в кращі роки, з інших країн поставка по роках була нерівномірною, від 0 до 5÷6 штук в рік.

З метою подальшої розробки методу контролю працездатності ЛАЛ на прикладі ЛАЛ ВАТ “Автолившаш” в розділі розглядаються особливості їх конструктивної і функціональної структур, проводиться аналіз ЛАЛ з точки зору об’єкту контролю та аналіз відомих методів і засобів контролю їх працездатності.

### **1.1 Особливості конструктивної і функціональної структури ЛАЛ**

Сучасна ЛАЛ є сукупністю агрегатів, які з’єднані між собою транспортними засобами. В кожній ЛАЛ виділяють наступні основні групи обладнання:

- формовочні автомати;
- функціональні автомати;
- транспорт;
- установка заливки; охолодження; вибивки;
- система управління;
- силовий привід з різними енергоносіями;

На структурній схемі (рис.1.1) наведені групи модулів, які включають різні види обладнання, що забезпечують роботу ЛАЛ.

Типова ЛАЛ включає активні і пасивні конструктивні елементи. До активних елементів відносяться формовочні автомати і транспортні засоби, які задають темп роботи ліній, а пасивні елементи включають функціональне обладнання: розпаровщики, кантувачі, зборщики, вантажоукладачі, модулі заливки і вибивки форм та інше обладнання.

Транспорт ЛАЛ включає ливарний конвеєр, міжопераційний транспорт і транспортні механізми: штовхачі, зіштовхувачі, відсікачі і т.д. Транспорт складає 25-45% ваги і вартості ЛАЛ.



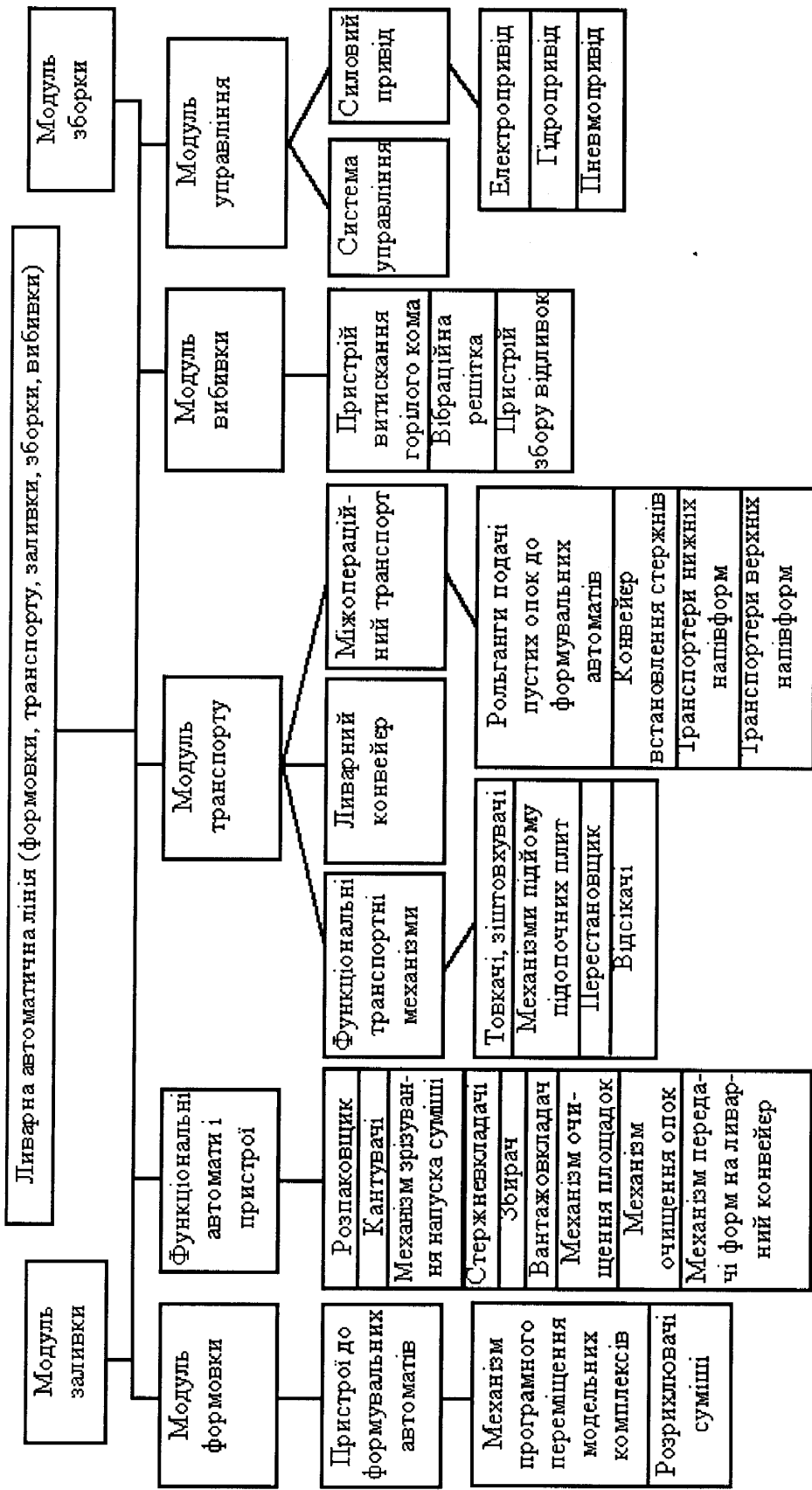


Рис. 1.1. Структурна схема ливарної автоматичної лінії

Одна з основних тенденцій в сучасному транспортному господарстві ливарних цехів – значне ускладнення транспортних мереж, насичення їх пристроями автоматики, мнемоніки, збільшення вантажопідйомності і пропускної здатності. Це зумовлює більш відповідальний підхід до визначення їх технічного стану та підвищення рівня їх експлуатаційної надійності.

Електричні системи управління транспортними засобами будуються за принципом блокування. Команди на включення і виключення механізмів підйому і спуску, зупинки надходять від кінцевих вимикачів, давачів, фотоелементів.

Аналіз номенклатури технологічного обладнання показує, що в основному ЛАЛ повинні комплектуватися з типового, конструктивно подібного, уніфікованого і стандартного обладнання, зв'язаного між собою системою ливарних конвеєрів і міжопераційних транспортних засобів. Проте характер, типовість і конструктивна подібність технологічного обладнання не повинні обмежувати вибір оптимальної структури і компоновки ЛАЛ.

Вивчення складу і структури ЛАЛ ведеться багатьма авторами достатньо давно [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 і інш.]. У вказаних роботах робились спроби класифікувати структурні схеми ліній як за їх призначенням, так і за видами компоновки окремих модулів і ліній в цілому. Однак створення єдиної класифікації всіх автоматичних ліній ливарного виробництва є окремою задачею досить значної складності яка на даний час не вирішена.

В сучасних ЛАЛ переважно використовують електричний і гідравлічний привід. В більшості випадків всі робочі операції, за виключенням струшування, вібрації і обдувки, здійснюються гідравлікою. При достатньо високому ККД гідропривід має незначні розміри і вимагає невеликих площ. Його демпфуюча здатність добра. Гідравліка забезпечує отримання практично будь-якого закону руху робочого органа, що є дуже важливим. Важлива також відсутність шуму, порівняно малі затрати на обслуговування.

Електрична силова частина сучасних ЛАЛ виконується на релейно-контактній апаратурі, яка призначена для запуску, зупинки і захисту силових приводів (насосів, вентиляторів, транспортерів).

ЛАЛ за своєю структурою і характером взаємодій між модулями відносяться до складних динамічних систем. Як динамічна система, вона може бути описана деяким числом змінних або узагальнених координат, що змінюються в часі. Крім того ЛАЛ слід розглядати як систему, на яку діють збурення у вигляді аварії, поломки, відмови обладнання, перерви в подачі суміші, електропостачанні тощо.

Функцію носія інформації в ЛАЛ виконують опоки, які в процесі переміщення, згідно технологічного циклу, взаємодіють з кінцевими вимикачами фіксуючих пристроїв, генерують подачу сигналів на схему управління ЛАЛ.

Робота модулів ЛАЛ взаємозв'язана і об'єднана загальним технологічним циклом. На рис.1.2 показана функціональна схема ЛАЛ, яка включає всі основні модулі, автомати і функціональні пристрої, що використовуються в лініях.

Функціонування лінії зводиться до виконання наступних операцій і робіт: охолоджені залиті форми переміщуються ливарним рольганговим конвеєром до установки вибивки (В) причому, згоріла суміш виводиться через вікна провальної решітки. Вільна пара опок (ВО) очищається від залишків суміші в механізмі очистки (МО) і направляється до розпаровщика (РОЗ), який виконує операцію роз'єднання опок. Нижня опока, не змінюючи напрямку свого руху, проштовхується штовхачем (ШОН) до формовочного автомата виготовлення нижніх півформ (ФАН), а верхня опока одночасно направляється до формовочного автомата виготовлення верхньої півформи (ФАВ). Після виготовлення нижня півформа поступає в кантувач (КН) і пристрій для зрізання залишків формовочної суміші (ЗЗ). При цьому нижня півформа кантується для встановлення стержнів (СТ). Верхня опока кантується для огляду в кантувачі (КВ), а потім в своє початкове положення в кантувачі (КВ1). В механізмі підйому виконується підйом підопічної плити (ПП) і нижня півформа розміщується на ній.

Наступний етап – це збирання форми в збірнику (ЗБ). Вантажоукладчик (ВУ), встановлений вздовж конвеєра, складає вантажі на форми для запобігання роз'єднання форм і дії гідростатичного тиску розплавленого металу.

Перед автоматичним відсікачем (АВ) форми заливаються вручну, або автоматичним способом за допомогою ділянки заливки (АЗ).

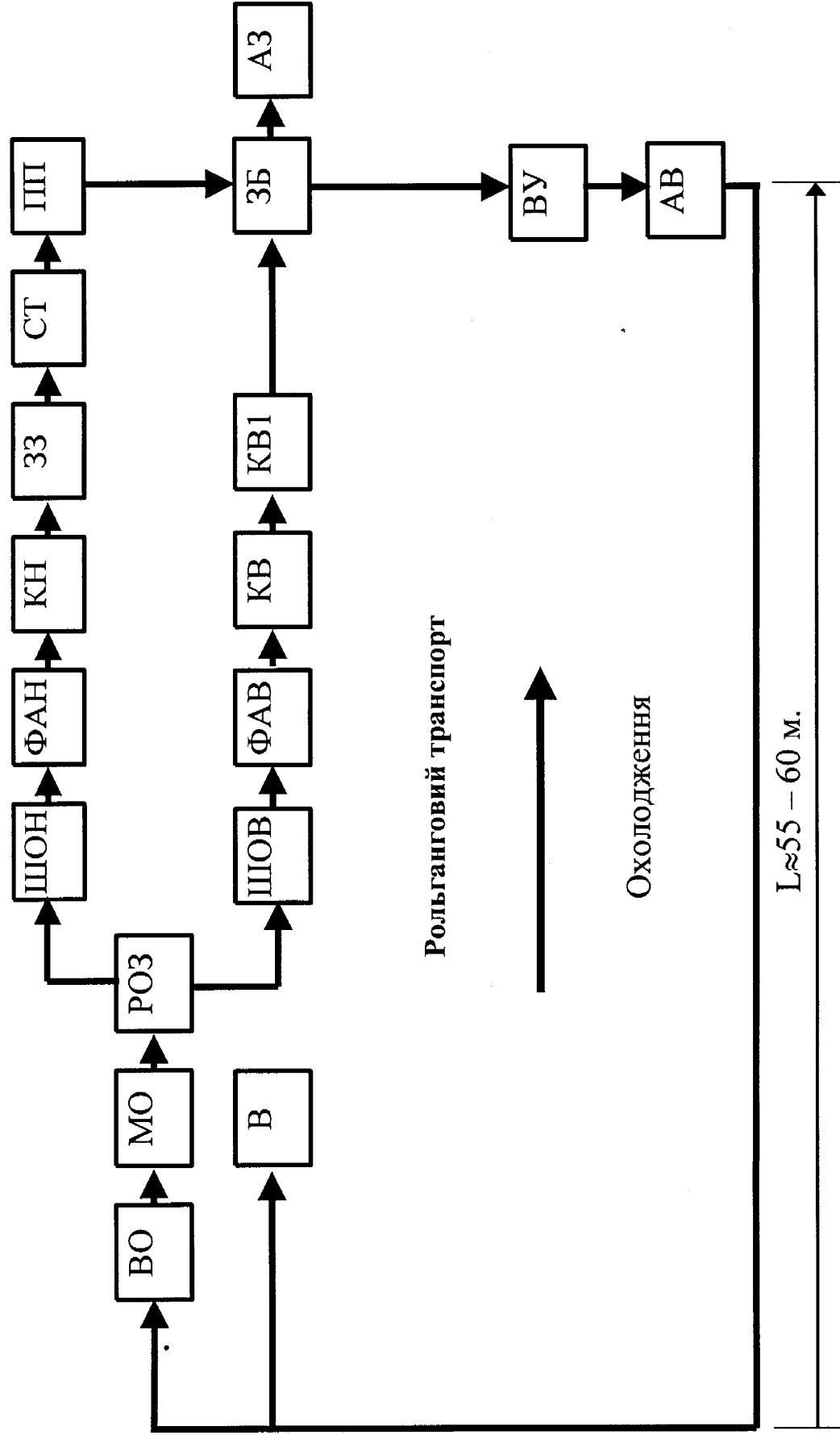


Рис.1.2. Функціональна схема ЛАЛ на базі формувачних автоматів

В кожній ЛАЛ можна виділити два основних структурних елемента - це модулі в яких реалізуються операції закладеного технологічного процесу і система контролю і управління (СКУ).

На рис. 1.3 наведена узагальнена типова структурна схема системи контролю і управління ЛАЛ, в якій можна виділити наступні основні складові: модуль формовки (МФ), модуль зборки (МЗБ), модуль заливки (МЗ), модуль вибивки (МВ). Ці технологічні модулі зв'язані між собою секціями модуля транспорту (МТ<sub>i</sub>). Контроль і управління окремими модулями і ЛАЛ в цілому відбувається за допомогою системи контролю і управління.

Система контролю і управління ЛАЛ складається з датчиків положення опоки  $D_i$ , блоку контролю і управління, а також з виконавчих механізмів. Згідно отриманих сигналів від датчиків положення опоки ( $D_i$ ) блок контролю і управління виробляє відповідні управляючі сигнали ( $U_i$ ), які поступають на виконавчі механізми модулів ЛАЛ. В узагальненому представленні ЛАЛ (якщо не розглядати внутрішню структуру окремих технологічних модулів ЛАЛ) з усієї множини датчиків можна використати для контролю стану лінії і її управління лише датчі МТ ЛАЛ.

По взаємозв'язку в часі між роботою окремих механізмів СКУ, розподіляють [23, 27] на такі групи:

- а) часові системи;
- б) рефлексні системи;
- в) програмні системи;

Кожен модуль має вхід і вихід, де вихід попереднього модуля є входом кожного наступного. Модулі ЛАЛ з'єднані зв'язками, які є секціями міжопераційного (рольгангового) транспорту. Задача вибору раціонального варіанту управління транспортними засобами та визначення степені їх працездатності має велике значення, оскільки від цього залежить забезпечення надійності як транспортних засобів так і ЛАЛ в цілому. [6, 8, 5, 7, 2, 19, 20, 21, 22].

В табл.1.2 приведено диференціацію модулів і обладнання ЛАЛ, а склад механізмів кожного модуля наведено в додатку А2.

Таблиця 1.2

## Диференціація модулів та обладнання ЛАЛ

№ п/п	Застосування автоматичних ліній	модель	розмір опок, мм		продуктивність, форм/год	Назва модулі та обладнання ЛАЛ						
			висота опок, мм	мм		формовки	зборки	залівки	охолодження	вибірки	транспорт і накопичення	система автоматизації управління
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1.	Комплексні автоматичні лінії для отримання сталевих і чавунних відливок в разових і підставних формах	ІЛ-225	900 600	240	1.1,	2.1,	3.1,	—	5.1,	6.2	7.1,	
			175; 200; 250	250	1.2	2.4	3.2	5.2	7.2,	7.3		
2	сталевих і чавунних відливок в разових і підставних формах	ІФЛ-225	900 600	200	1.1,	2.2,	3.2	—	5.1,	6.1,	7.1,	
			175-300	250	1.2	2.3	5.2	6.2	7.2,	7.3		
3	ноглинистих форм для серійного, крупносерійного і масового виробництва	В-715	900 600	120	1.6	2.3	3.2	—	5.1,	—	7.1,	
			300	120	300	5.2	7.2,	7.3				
4	носерійного і масового виробництва	КЛ1265С М (ІФЛ-265)	800 700	120	1.4	—	3.2	4.1	5.1,	—	7.1,	
			300	180	300	5.2	7.2,	7.3				

Надійність ливарного обладнання, як і будь-якого механізму, закладається на етапі проектування, забезпечується при виготовленні і реалізується при експлуатації [48]. Вона залежить як від конструкції самого обладнання, так і його окремих вузлів, матеріалів, що використані для їх виготовлення, а також методів захисту від впливу шкідливих факторів, системи змащування, пристосованості до ремонту і обслуговування, тощо.

Сьогодні відомо багато робіт по дослідженню надійності окремих модулів ЛАЛ, результати яких використовуються при розрахунку показників надійності модулів як на стадії проектування, так і на стадії експлуатації [12,23,17,624,2,1,3,25]. Однак практично відсутні роботи по розробці методів і засобів технічної діагностики модулів ЛАЛ. Останнє обумовлено, як було відмічено вище, їх конструктивними особливостями і функціональним призначенням, що не дозволяє підвищити надійність ЛАЛ на стадії експлуатації.

В той же час, для верстатних автоматичних ліній (ВАЛ), які є аналогом ЛАЛ, проведено ряд науково-дослідних робіт, результати яких дозволяють оцінити технічний стан ВАЛ, або її окремих модулів.

Між ВАЛ і ЛАЛ існує певний взаємозв'язок, а саме: характер відмов, циклічність роботи, в основному послідовне з'єднання модулів, в більшості гнучкий зв'язок через накопичувачі (транспортні засоби), типи приводів (гідравлічні, пневматичні, електромеханічні) і ряд інших.

Верстатні автоматичні лінії мають ряд наступних переваг перед іншими типами ліній: застосування уніфікованих основних цільових механізмів; силових головок; крокових транспортерів; поворотних стволів; механізмів захисту і фіксації; командоапаратів і іншого обладнання, яке пройшло випробування в лабораторних умовах і має свої характеристики надійності. Хоча обладнання ЛАЛ і відрізняється від верстатних об'ємом, вагою, призначенням та іншими показниками, однак методологію дослідження працездатності ВАЛ можна застосувати до ЛАЛ, виходячи зі структури лінії.

Так, дослідження працездатності (ВАЛ) в умовах експлуатації складається із декількох етапів, які пропонується виконувати в наступній послідовності [26,27,28,29].

1 етап - вибір об'єкту спостереження;

2 етап - фотографія роботи і хронометраж простоїв вибраного об'єкту спостереження;

3 етап - обробка одержаних результатів;

4 етап - визначення вірогідності одержаних результатів;

5 етап - визначення експлуатаційних характеристик;

6 етап - складання балансу продуктивності.

Працездатність ВАЛ визначається наступними експлуатаційними параметрами:

а) коефіцієнтом готовності ВАЛ, який характеризує загальний рівень експлуатації в умовах даного виробництва;

б) коефіцієнтом технічного використання, який є характеристикою самої лінії, її технічного удосконалення і методів експлуатації;

в) фактичною продуктивністю лінії — вірогідною середньою величиною випуску продукції в одиницю часу.

Найбільш узагальненою характеристикою продуктивності АЛ є баланс продуктивності [27], який прийнято визначати графічно. Порівняння двох балансів продуктивності для ліній ІЛ85 ЗІЛ і лінії головки блока балансів МЗМА показує, що баланс продуктивності будь-якої АЛ індивідуальний і характеризує як прогресивність технологічного прогресу, так і конструктивне її удосконалення, надійність в роботі, систему експлуатації і т.д.

Тому головна мета при проектуванні лінії повинна полягати в тому, щоб знайти і реалізувати оптимальний варіант її структурно-компоновочного рішення, яке б підвищило працездатність і забезпечило найкращі техніко-економічні показники ЛАЛ. Для досягнення цієї мети необхідно на стадії розробки враховувати весь комплекс економічних, технологічних, конструктивних і експлуатаційних факторів та їх взаємозв'язок.



Сучасна тенденція вдосконалення ЛАЛ розвивається в напрямі збільшення числа операцій які виконуються і переході до більш швидкісних і точних режимів роботи. Це ускладнює як конструкцію модулів, так і структуру систем управління лініями, що деколи може призвести до зниження рівня їх працездатності. В свою чергу, складність системи управління в значній мірі обумовлюється складністю ЛАЛ [5,13,23,35,36], тобто кількістю рухів агрегатів які входять в неї і міжагрегатних зв'язків. Таким чином, проблема забезпечення надійності ЛАЛ зводиться до проблеми забезпечення надійності модулів ЛАЛ і системи управління [30,13,16,31,32,2,3].

## **1.2 Аналіз ливарної автоматичної лінії з точки зору об'єкту контролю**

Ливарна автоматична лінія – це сукупність незалежних автоматичних ділянок (модулів), встановлених в напрямку реалізації технологічного процесу. В ЛАЛ відливки проходять технологічну обробку згідно технологічного процесу і передаються від модуля до модуля не одночасно, а через міжопераційні накопичувачі (рольганги) завдяки міжопераційним нагромадженням. У випадку виходу з ладу довільного модуля всі інші продовжують роботу до спорожнення міжопераційних запасів.

ЛАЛ автоматично функціонує в “малолюдному” режимі на протязі заданого інтервалу часу. Вона володіє властивостями автоматизованої переналадки при виробництві довільної номенклатури продукції в проміжках технічних можливостей обладнання.

Виходячи з розглянутих в п. 1.1 особливостей конструктивної і функціональної структури ЛАЛ, її можна віднести до складної динамічної системи, підсистеми якої (модулі) відрізняються: типом приводів (гідравлічні, пневматичні, електромеханічні), конструкцією, принципом дії, функціональним призначенням, системою управління, тощо. Крім того кожен із модулів відрізняється показниками надійності. Як і на будь-яку систему, на ЛАЛ діють збурення у вигляді раптових і поступових відмов, збоїв в подачі суміші, електропостачання, тощо, що призводить

до порушення технологічного процесу та зміни технічного стану як окремих модулів, так і ЛАЛ в цілому. Для прикладу на рис. 1.4 наведена модель об'єкту контролю - модуля транспорту (МТ) ЛАЛ. Вхідною величиною об'єкту є інтенсивність вхідного потоку опок  $\mu_{\text{вх}}$ , а вихідного – середній радіус роликів рольгангу  $R$ , робочий цикл МТ  $\tau$  та його поточна продуктивність  $\Pi$ . На об'єкт діють збурюючі впливи у вигляді дії вібраційних процесів  $B$ , різниці температур  $T$ , що обумовлено характером технологічного процесу, а також інтенсивністю потоку затримок  $\lambda_3$ , середнього часу затримок  $\tau_3$  та інтенсивності потоку впливів  $\lambda_b$ , які призводять до зміни технічного стану МТ і, відповідно, вихідних величин  $\tau$ ,  $R$ ,  $\Pi$ , що його характеризують.

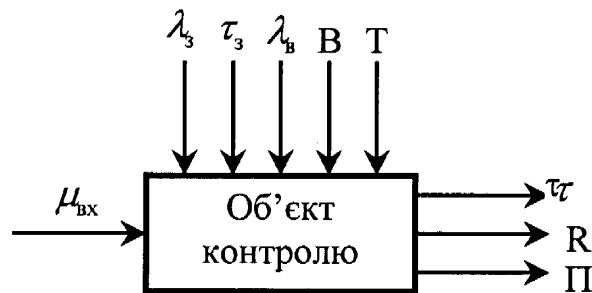


Рис. 1.4 Модель об'єкту контролю – модуля транспорту ливарної автоматичної лінії

Аналогічними моделями контролю можна представити кожен із модулів ЛАЛ і лінії в цілому. Як видно з рис. 1.4 технічний стан МТ впливає на технічний стан в цілому ЛАЛ, оскільки робота всіх модулів взаємозв'язана і об'єднана загальним технологічним циклом  $\tau_T$ . Тому зміна робочого циклу модуля  $\tau$ , наприклад МТ, викличе порушення технологічного циклу ЛАЛ, що призведе до її відмови.

Подальший аналіз модулів дозволив виявити наступні особливості ЛАЛ, які визначають специфіку вирішення задач контролю працездатності і обумовлені нею проблеми:

- конструктивні особливості окремих модулів ЛАЛ не відповідають вимогам контролепридатності у зв'язку з чим відсутня можливість встановлення датчиків у найбільш інформативних місцях;

- велика різноманітність модулів, відмінних як конструктивною відокремленістю, габаритами і параметрами, що обумовлено специфікою роботи ЛАЛ, виключає можливість отримання універсальних технічних рішень і, тим самим, ускладнює і збільшує протяжність розробки методів контролю їх працездатності;

- різний рівень надійності ЛАЛ і її модулів вимагає поєднання індивідуального і комплексного підходів при формуванні задач контролю їх працездатності;

- наявність як дискретних (реле, контактори, командоапарати), так і безперервних об'єктів (електропривод, гідропривід, пневматичні виконавчі механізми, тощо) і вимагають різного підходу для вирішення задач контролю працездатності;

- значна різноманітність умов контролю працездатності модулів ЛАЛ та обмежені можливості відновлення їх окремих вузлів і механізмів.

Враховуючи, що окрім модулів основним структурним елементом ЛАЛ є система управління транспортним засобом відмітимо наступне - ЛАЛ, оснащені релейними системами управління, мають обмежені можливості для контролю і діагностування. За рахунок збільшення апаратури можна діагностувати шляхові перемикачі. Додатково встановлюючи показуючі чи реєструючі прилади, можна контролювати тиск гідросистем і систем змащування, температуру оснащення, робочої рідини гідроприводу, відповідальних вузлів. Для технічних засобів діагностування системи управління необхідно передбачити штатні місця встановлення датчиків. Це стосується обладнання модулів з будь-якою системою управління.

Функціональні можливості існуючих програмованих контролерів можуть бути розширені при застосуванні в їх складі аналого-цифрових пристроїв.

Для вирішення задачі контролю працездатності ЛАЛ повинні бути пристосовані до проведення діагностичних процедур, тобто забезпечувати контролепридатність незалежно від виду систем управління ними.

Таким чином, знання особливості об'єкту контролю – ЛАЛ та її складових – модулів дозволяє правильно організувати їх експлуатацію та намітити шляхи розробки методів контролю працездатності.

### **1.3 Аналіз методів і технічних засобів контролю працездатності ливарних автоматичних ліній та їх модулів.**

Необхідність забезпечення надійності ЛАЛ і її модулів визначається з однієї сторони високою "ціною" простою в умовах застосування дорогого обладнання, а з другої - труднощами своєчасного виявлення і усунення аварій чи відмов в цеху, де обслуговуючий персонал знаходиться постійно поблизу діючого обладнання.

Таким чином, проведення технічного обслуговування і ремонту технологічного обладнання модулів ЛАЛ за потребою, а не в установлені терміни згідно існуючої системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) вимагає використання методів і засобів діагностування їх технічного стану в будь-який момент часу. В цьому напрямку є окремі напрацювання стосовно верстатних автоматичних ліній, верстатів з ЧПУ, промислових роботів і інші [37,38], що не можна сказати про ЛАЛ.

Враховуючи, що сьогодні відсутня класифікація методів і технічних засобів діагностування ЛАЛ і їх модулів, розглянемо, виходячи з операцій технологічного процесу, які реалізуються модулями ЛАЛ, відомі методи діагностування з точки зору можливості їх використання для ЛАЛ.

Так, для циклічно працюючих машин-автоматів, механізмів і верстатних ліній ефективним і простим є метод, який ґрунтується на використанні часових проміжків як діагностичних ознак стану обладнання. Для реалізації такого методу використовується апаратура системи управління (кінцеві вимикачі або безконтактні давачі положення). При цьому частково діагностується і сама система управління, або для цього спеціально розробляються програмно-апаратні засоби, які забезпечують підвищення глибини пошуку дефектів і вірогідність діагностування [39,40].

При діагностуванні за параметрами руху застосовують апарат теорії механізмів і машин, теорії міцності механізмів, які дозволяють апріорі отримати теоретичні дані про величину і характер зміни швидкостей, прискорень і переміщень які, як правило, використовують в якості діагностичних параметрів.

Діагностування за силовими параметрами особливо ефективно при наявності вмонтованих датчиків. Воно часто використовується в обладнанні з гідравлічним і пневматичним приводом, що має місце в ЛАЛ, шляхом зміни тиску в різних точках, так як монтування датчиків тиску не вимагає серйозних змін конструкції.

Для визначення таких діагностичних параметрів, як ккд (коефіцієнт корисної дії), втрат потужності, втрат на тертя використовують різні методи вимірювання силових і електричних параметрів, вимірюється сила струму і напруги, тиск і витрата, температура. Вимірювання діагностичних ознак може бути неперервним або періодичним в процесі експлуатації обладнання, періодичним при профілактиці, або порушенні ступеня працездатності.

Аналіз випробовувань механічних і електромеханічних пристроїв [41,42,43] показує, що 90% відмов виникає із-за скритих внутрішніх дефектів (технологічних похибок виготовлення і зборки; дефектів, які проявляються в процесі експлуатації в результаті старіння та зносу; впливу вібрації; температури; загазованості тощо; і лише 10% — внаслідок неправильної експлуатації. Розглянемо відомі методи діагностування за характером протікання технологічного процесу, так звані методи параметричної діагностики.

Діагностування за методом порівняння типових осцилограм [40,43,44] передбачає наступну процедуру:

а) вибирається один або декілька параметрів, які легко реєструються в виробничих умовах і повністю відображають якість роботи модуля (механізму);

б) отримують еталонні осцилограми, які характеризують працездатний стан модуля (механізму);

в) проводять порівняння вибраних параметрів механізму, що діагностується в проміжки експлуатації з еталонним для оцінки його технічного стану і прогнозування.

Для обладнання, яке знаходиться в експлуатації, еталонна осцилограма розробляється шляхом запису контрольованого параметру, для кожної моделі обладнання, виготовленої і відрегульованої у відповідності до технічних умов і за результатами корегування отриманих кривих за розрахунковими і статистичними даними.

Віброакустичні методи також дають можливість оцінити технічний стан ливарного обладнання і його механізмів [41,45,46]. При цьому однією з основних задач є виділення з вібраційного сигналу корисного сигналу діагностичної ознаки на фоні маскуючих його завад. Корисним є сигнал однозначно зв'язаний з технічним станом вузла, який діагностується і в процесі експлуатації генерує вібрації. Виділення корисної складової сигналу проводять використовуючи способи часової селекції або фільтрації [47,48].

Діагностування шляхом математичного моделювання є розвитком методів віброакустичної діагностики [41,43,46], які ефективні при дослідженні якості функціонування.

При побудові моделей виникають дві основні задачі. Перша задача пов'язана з визначенням структури систем, оцінкою лінійності, стаціонарності, вибором діагностичних ознак. Вся ця інформація є апіорною для вирішення другої задачі — визначення параметрів і відхилення параметрів діагностичної ОД.

Визначення параметрів ОД або його еквівалентної моделі включає не лише оцінку їх для даного моменту часу, але і прогнозування зміни технічного стану, що дає можливість застосувати дані результати для діагностики систем. Методи діагностики дозволяють визначити скриті зміни параметрів за характером поведінки модуля (пристрою чи механізму).

Діючі методи діагностування засновані, як правило, на аналізі експлуатаційних параметрів об'єкту. Модель об'єкту і сигнали не відображають в повній мірі внутрішніх процесів їх зміни, а лише констатують визначений формальний зв'язок між вхідним і вихідним сигналом об'єкту. В рамках цієї моделі неможливо діагностувати внутрішні процеси, тому необхідно розробляти спеціальні

моделі діагностування систем і моделі зміни параметрів. Вибір моделі повинен розроблятися з врахуванням специфічних особливостей об'єкту [49,50,51].

Діагностування з застосуванням методу кваліметрії [43] (кваліметричний метод) дає можливість аналізувати функціонування обладнання з використанням кількісної оцінки якості. Даний метод передбачає одержання абсолютних значень:

а) показники якості — кількісні характеристики одного або декількох властивостей обладнання, які встановлюють його якість, відповідно до визначених умов його створення і експлуатації;

б) відносних показників, під якими розуміється відношення виміряних і еталонних значень;

в) комплексних показників, що характеризують декілька властивостей обладнання (або окремих вузлів);

г) показників інтегральної якості, що характеризують відношення сумарного корисного ефекту від експлуатації обладнання до сумарних затрат на його створення і експлуатацію.

Методологія кваліметрії базується на комплексному вивченні показників якості на протязі всього життєвого циклу обладнання, починаючи з його виробництва. Систематизуючи властивості обладнання їх подають у виді графа або таблиці. Для підвищення вірогідності застосовують розрахункові і експериментальні дані в якості параметрів, що характеризують властивості машини. Стосовно ЛАЛ, це - зусилля запирання пресформи, тиск гідросистеми, втрата робочої суміші, температура металу, часові проміжки.

Виходячи із розглянутого вище відмітимо, що сьогодні технічна діагностика ливарного обладнання і ЛАЛ зокрема досить примітивна і не відповідає сучасному технічному рівню машинобудування. Необхідність впровадження методів і засобів діагностування актуальна, зокрема для ліній транспорту, які є складовою частиною ЛАЛ, для яких тривалість усунення відмов стримує ріст продуктивності, а несвоєчасне відключення елементів, які відмовили, знижує коефіцієнт виходу готових виробів.

У відносно невеликій кількості опублікованих робіт [26, 28, 39, 52, 30, 49, 53, 45, 54, 55] намітилося зближення та взаємне збагачення методів, які розвиваються теорією надійності, технічною діагностикою і кваліметрією, і можуть бути запропоновані по відношенню до ЛАЛ.

Слід також відмітити, що процес діагностування, стан та тенденції впровадження засобів діагностування в ливарному обладнанні зарубіжного і вітчизняного виробництва дещо відмінні. Останнє стосується, в основному, систем управління ЛАЛ.

Відомо [41], що на даний час технічна діагностика ливарного виробництва в країнах СНД не відповідає сучасному рівню машинобудування. Так, ВО "Точлитмаш" (республіки Молдова) виготовляє автоматизований комплекс литва під тиском мод.А711Б09 на базі програмованого контролера серії "Мікродат". Система управління може виконувати наступні діагностичні процедури:

а) контроль тиску в кожній із трьох фаз пресування металу (завдання виконується за допомогою декадних перемикачів, контроль виконується цифровими індикаторами);

б) контроль вихідних сигналів на електромагніти, сигналізація виконуються цифровими індикаторами.

Автоматична ділянка формовки мод.АМ20320, розроблена ВНДІ "Литмаш", містить систему управління на базі програмуючих контролерів типу Р-606 фірми Festo (Австрія). В ПК вмонтована сигналізація вихідних сигналів на електромагніти управління. Обладнання автоматичної дільниці складається з окремих секцій. Кожна секція оснащена пультом управління, виготовленим у вигляді мнемосхеми з вмонтованими сигнальними лампочками, які сигналізують про спрацювання окремих механізмів.

Харківський філіал ВНДІ "Литмаш" разом з заводом "Красная Пресня" розробив автоматичну формовочну лінію мод.АЛ24122. Система управління лінії зібрана на базі програмованого контролера підприємства Tesla (Чехія). Для пошуку дефектів встановлений цифровий індикатор, що показує номер такту циклограми, на



якому виникла зупинка лінії. Контроль тиску здійснюється за допомогою електроконтактного манометра.

Розглянемо можливості діагностування та тенденції впровадження засобів діагностування в ливарному обладнанні зарубіжного виробництва.

Фірма Idrapress (Італія) виготовляє комплекс литва під тиском, який складається з машини ЛПТ і засобів механізації. Система управління – мікропроцесорна, насичена дисплейними пристроями, на які виводяться покази технологічного процесу і діагностичний матеріал по запити оператора. Складається з двох шаф управління: для комплексу ЛПТ і окремо для управління роботом фірми Asea (Швеція) [57]. Система має можливості контролювати криві швидкості запресовки металу, шлях прес-поршня і зусилля пресування. На екран дисплея можна вивести відомості про дефекти шляхових перемикачів і електромагнітів управління гідроапаратами. Фірма Italtpress (Італія) випускає автоматичний комплекс ЛПТ мод. IP500, насичений мікропроцесорною системою управління [58]. Комплекс зібраний з окремих блоків: блоку управління машиною ЛПТ фірми Siemens, блоку управління пресуванням фірми Italtpress, блоку регулювання натягом колон фірми Metrel (Італія).

Блок управління машиною ЛПТ містить дисплей, на який можна виводити інформацію за результатами діагностування всіх механізмів комплексу. Програмне забезпечення передбачає пошук дефектів.

Фірма Triulzi (Італія) виготовляє комплекс ЛПТ з мікропроцесорною системою управління, яка зібрана на базі персональної ЕОМ [59]. В діагностичній системі процедури реалізуються шляхом розробки спеціальних програм. Діагностування підготовляють технологічні показники (швидкість, переміщення прес-поршня); шляхові перемикачі і електромагніти. В шафі управління додатково встановлена мнемосхема з сигнальними лампочками контролю спрацювання електромагнітів. В діагностичній системі передбачена підсистема збору і реєстрації параметрів технологічного процесу, з метою зберігання та подальшого відлагодження лінії.

Фірма Buhler (Швейцарія) випускає мікропроцесорну систему управління типу Datasess для литва під тиском [60]. Програма обновлюється шляхом заміни касети магнітної стрічки. Управління виконується за допомогою клавіатури з сенсорним перемикачем. Система має інтерфейс зв'язку з ЕОМ більш високого рівня та периферійним обладнанням. Система має можливість збору і зберігання в пам'яті, захищеної вимикачем з ключем, програми роботи обладнання та результатів діагностування.

Вона включає розвинуту систему діагностування з видачею інформації про 90% всіх можливих дефектів і відмов. В склад системи Datasess входить підсистема "Processtrol", яка взаємодіє з контрольним екраном і призначена для вимірювання, зберігання розрахунку і друкування даних, котрі впливають на якість відливок.

Об'єднання Strojimport (Чехія) випускає комплекс литва під тиском [61]. Система управління – електронна. Для контролю стану спрацювання механізмів на лицьовій стороні електрошафи встановлена панель, на якій нанесена мнемосхема і змонтовані малогабаритні світлодіоди, які сигналізують спрацювання шляхових перемикачів і електромагнітів управління гідророзпилувачами.

Фірма Weingarten (ФРН) оснащує обладнання системою управління різної ступені складності. За каталожними даними [62] фірма застосовує пристрої контролю у вигляді панелів з контрольними лампами, терміналів з клавіатурою і цифровою індикацією, мікропроцесорних систем з дисплеями. Об'єм процедур діагностування визначається типом пристрою контролю і характеристиками технологічного обладнання.

Машину литва під тиском з гарячою камерою пресування виготовляє фірма Frech (ФРН) [63]. Система управління мікропроцесорна. З цифровою клавіатурою за допомогою якої задають витримки часу і програми робіт. Для контролю спрацювання шляхових перемикачів і електромагнітів управління гідропідсилувачів вмонтовані сигнальні лампочки. Для діагностування систем використовується ЕОМ, на екрані дисплею якої вказується вид і місце дефекту чи відмови. На виході вилівки з лінії встановлена автоматична контрольна вага. І при відхиленні ваги вилівки від заданої, робочий цикл призупиняється.

#### 1.4 Постановка задачі досліджень

Одним з шляхів підтримання високого рівня надійності ЛАЛ є застосування ефективної системи технічного обслуговування і ремонту за потребою, тобто за фактичним технічним станом. Розробка теоретичних засад такої системи обслуговування вимагає проведення певних теоретико-експериментальних досліджень по визначенні надійності відновлюваних модулів ЛАЛ та розробці методів і засобів контролю їх працездатності на основі використання основних положень технічної діагностики.

На основі проведеного аналізу сучасного стану контролю працездатності ЛАЛ встановлено: ЛАЛ є складною системою, що складається з окремих функціональних підсистем – модулів, в яких реалізуються операції закладеного технологічного процесу і які приводяться в рух від електричного, гідравлічного, або пневматичного приводів та підсистеми контролю і управління в основному рольганговим транспортом.

Модулі ЛАЛ, виходячи з особливостей їх конструктивної і функціональної структури, відрізняються: типом приводів, конструкцією, принципом дії, функціональним призначенням, системою управління, тощо. Крім того, кожен із модулів відрізняється показниками надійності, а конструктивні особливості окремих модулів не відповідають вимогам контролепридатності. Вказане виключає можливість отримання універсальних технічних рішень і вимагає різного підходу до вирішення задач контролю їх працездатності. Викладене вище призвело до того, що сьогодні технічна діагностика ливарного обладнання, як показав проведений аналіз, не відповідає сучасному рівню машинобудування. В той же час в зв'язку з розширенням технологічних можливостей і номенклатури отримуваних на ЛАЛ відливок ускладнюється і конструкція її основних складових, що без впровадження методів діагностування ЛАЛ призводить до збільшення середнього часу виявлення відмов та значних затрат на їх ліквідацію. Тому задача розробки методу контролю працездатності ЛАЛ є актуальною. Враховуючи особливості ЛАЛ з точки зору

об'єкта контролю, в роботі пропонується проводити розробку методу контролю її працездатності в два етапи:

перший етап передбачає використання основних положень теорії надійності і методу експертних оцінок для визначення показників надійності модулів ЛАЛ заводу "Автолившаш", таких як середній час напрацювання на відмову, середній час відновлення, імовірність безвідмовної роботи, параметр потоку відмов, щільність розподілу часу відновлення, коефіцієнт готовності, з метою виявлення модуля з низькими показниками надійності і вибору його за об'єкт подальшого дослідження;

на другому етапі передбачається розробка методологічних принципів (моделей, алгоритму, методу і технічних засобів) контролю працездатності вибраного об'єкту дослідження.

При цьому повинні бути вирішені наступні задачі:

1. Проведення аналізу експлуатаційних відмов модулів ЛАЛ та їх складових.
2. Дослідження найбільш впливових факторів, які призводять до втрати степеня працездатності модулів ЛАЛ.
3. З використанням методу експертних оцінок та статистичних даних по відмовах ЛАЛ визначення модуль ЛАЛ з низькими показниками надійності і вибрати його за об'єкт подальших досліджень.
4. Провести аналітичні дослідження методу контролю степені працездатності вибраного об'єкту.
5. Розробити методичне і стендове забезпечення експериментальних досліджень методу контролю працездатності вибраного об'єкту.
6. Розробити метод контролю працездатності вибраного об'єкту та провести його дослідження.
7. Розробити технічні засоби контролю працездатності об'єкту дослідження.

## РОЗДІЛ 2

### ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБ'ЄКТУ КОНТРОЛЮ – МОДУЛЯ ЛАЛ ЗА ПОКАЗНИКАМИ НАДІЙНОСТІ

#### 2.1 Загальні зауваження стосовно збору статистичних даних з відмов модулів ЛАЛ і розрахунку її надійності

Аналіз надійності будь-яких систем, об'єктів і механізмів, в тому числі ЛАЛ, можна проводити лише у випадку наявності вірогідних вихідних даних, відповідним чином систематизованих за окремими модулями, збірним одиницям і деталям, тобто з врахуванням ієрархічного рівня ЛАЛ [33,26,27,39,32,64].

Для ЛАЛ, узагальнені елементи якої були виділені в таблиці 1.1, основною метою збору даних з відмов в кінцевому підсумку є підвищення її надійності.

Система збору інформації про надійність ЛАЛ повинна забезпечити:

- отримання співставимих і об'єктивних даних про надійність її вузлів;
- виявлення джерел і причин виникнення відмов;
- виявлення впливу умов і режимів експлуатації ЛАЛ на її надійність.

У ряді галузей народного господарства, наприклад, в електронній, автомобільній і інш., надійність виробів оцінюється шляхом проведення їх випробувань після виготовлення.

Стосовно ЛАЛ, то вона не проходить стадію випробувань на надійність в силу своїх габаритів і неможливості комплектування з подальшими випробуваннями в лабораторних умовах. В лабораторних умовах можна комплектувати лише її елементи та проводити випробування, імітуючи експлуатаційні впливи. Тому необхідну інформацію про відмови і втрату працездатності діючих модулів ЛАЛ та схем управління ними отримують в процесі експлуатації безпосередньо на діючих ЛАЛ.

Оцінку експлуатаційної надійності проводять наступними способами:

звітний спосіб — полягає у використанні відомостей відмов за звітний період, складений підприємствами (цехами);

анкетний спосіб — полягає в оцінці надійності ЛАЛ за результатами обробки спеціальної анкети з стандартними питаннями;

безпосереднього спостереження — зводиться до досліджування ЛАЛ за задалегідь розробленою програмою (методикою).

Одним з найбільш ефективних джерел інформації про надійність ЛАЛ є дослідження причин відмов елементів і вузлів технологічного обладнання в реальних умовах експлуатації. Методи експлуатаційних досліджень дають найбільш вірогідну оцінку пристосованості обладнання ЛАЛ до умов експлуатації і дозволяють визначити показники їх надійності.

Метою збору інформації про надійність структурних одиниць (СО) ливарного обладнання (ЛО) є: отримання статистичних даних, які необхідні для визначення кількісних значень показників надійності; встановлення статистичних залежностей потоків відказів; визначення законів розподілу випадкових значень часу безвідмовної роботи, відновлень ресурсів до капітального ремонту; виявлення елементів, відкази яких мають вирішальний вплив на рівень надійності (модулів) і ЛАЛ в цілому; вивчення впливу особливостей експлуатації ЛАЛ на рівень їх надійності.

На основі таких даних можуть прийматися обґрунтовані рішення по підвищенню надійності СО і ЛАЛ в цілому на різних стадіях життєвого циклу.

Згідно [ДСТУ- 3004-95], для розрахунку оцінок показників надійності виконують такі роботи:

- вибір плану випробувань;
- збирання необхідної інформації;
- статистичну обробку інформації.

Визначення показників надійності відновлюваних систем за результатами спостережень стосовно до ЛАЛ має практичний інтерес, так як більшість механізмів можна відновити, або замінити новими, тому для визначення

показників надійності згідно державного стандарту і гост [27.002-83], найбільш придатними планами випробувань на надійність є план NRT і NMT. План NRT-це план, згідно якому одночасно починають випробування N-об'єктів, об'єкти які вийшли з ладу, замінюють новими, випробування завершують при завершенні часу випробувань, або напрацювання T для кожної із N позицій.

План NMT-це план, згідно якому одночасно випробовують N об'єктів, після кожної відмови об'єкт відновлюють і випробовують до завершення часу випробувань, або напрацювання T. Дані випробування проводяться для встановлення показників надійності з заданою точністю і вірогідністю. Результати визначальних випробувань служать для оцінки рівня надійності модулів і ЛАЛ в цілому, виявлення деталей і механізмів, які лімітують надійність, встановлення оптимальної періодичності технічного обслуговування і ремонтів, а також запровадження діагностичних процедур.

**Для одержання достовірної інформації про надійність сьогодні використовуються результати спеціальних спостережень, наприклад анкета експертного оцінювання надійності ЛАЛ, яка розроблена на кафедрі "Комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики" Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, а також документація яка ведеться на заводах де експлуатуються ЛАЛ.**

Тривалість спостережень залежить як від величини параметру потоку відказів ЛО (із зменшенням якого він повинен збільшуватися), так і від мети спостережень-чи потрібно визначати і наскільки вірогідні середні значення показників надійності (ПН), або встановити закон розподілу випадкових величин (ВП), що використовується для оцінки надійності.

При проведенні досліджень, метою яких є оперативне одержання кількісних значень ПН і параметрів розподілу ВП, ми як правило, маємо справу з вибірками об'єктів з генеральної сукупності (всієї множини) однотипного ЛО, або з вибірковими сукупностями реалізацій випадкових величин, що використовуються для оцінки надійності. Внаслідок цього величини ПН, які визначаються на основі вибіркової сукупності, тільки з деякою ймовірністю

кількісно характеризують дані показників генеральної сукупності об'єктів. Тому при плануванні об'єму випробувань потрібно задатись ПН, які чисельно характеризують вірогідність результатів (довірча ймовірність) та їх точність.

Процес спостереження за роботою модулів ЛАЛ і їх агрегатів з метою: збору і нагромадження статистичних даних, необхідних для визначення показників їх надійності і довговічності; вивчення умов і особливостей експлуатації ЛАЛ; виявлення деталей і вузлів, які передчасно виходять з ладу і причин, що сприяють появі відмов і т.д., можна представити у вигляді наступної схеми (рис. 2.1). В окремих випадках необхідність виконання окремих робіт, вказаних на схемі, може відпасти, що обумовлюється метою, характером і об'ємом досліджень.

Сьогодні на виробничих об'єктах де експлуатуються ЛАЛ відсутня налагоджена організація збору і аналізу статистичних даних по аваріям і відмовам її вузлів. На об'єктах, де така робота частково налагоджена, обробка інформації стосовно працездатності вузлів ЛАЛ показала, що врахування відмов і причин втрати працездатності, як приклад, для систем управління ЛАЛ, проводиться несистематично. Часто не фіксуються проміжки часу від початку роботи до моменту відмови, немає відомостей щодо причин відмов, втрати часу на їх усунення. Якщо фіксуються, то лише дані про повну втрату працездатності. Відсутні єдині форми звіту з експлуатації та ремонту ЛАЛ і її модулів. Наявність їх сприяла би ефективному вдосконаленню системи збору і аналізу експлуатаційних даних з відмов ЛАЛ і її модулів. Відомо, що обробку статистичних даних з відмов слід починати з визначення таких показників надійності як, час напрацювання на відмову, час відновлення і інших, як часткових так і узагальнюючих показників, а також визначення закону розподілу випадкової величини. Далі створюють банк даних по даній інформації, яку завжди можна корисно використати при необхідності.



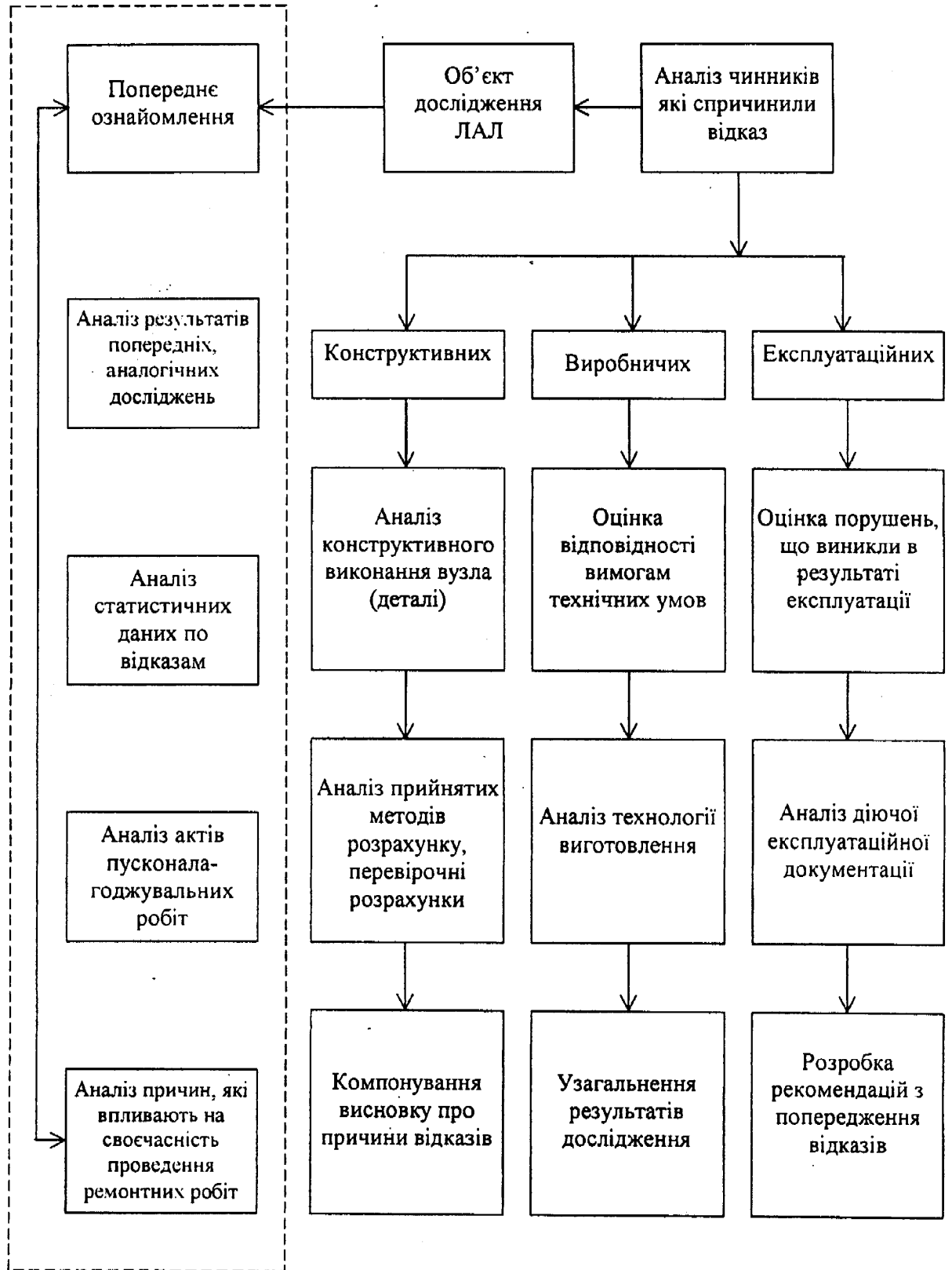


Рис.2.1. Схема дослідження відмов ливарних автоматичних ліній

## 2.2 Методика проведення експлуатаційних досліджень технічного стану ЛАЛ та аналіз їх відмов

З метою отримання вірогідних даних з відмов модулів ЛАЛ розглянемо більш детально організацію проведення експлуатаційних досліджень модулів ЛАЛ типу КЛ91265СМ; ІФЛ--Л225; В-715; 5ІФЛ-225 (випуск заводу ливарних автоматичних ліній "Автоливмаш" м.Івано--Франківськ), що експлуатуються в чавуно--ливарних цехах Київського заводу ім. І.І. Лепсе (Україна), ВО "Уралвагонзавод" (Росія), ВО "Сибтепломаш" (Росія, м. Братськ), Сумського чавуно-ливарного заводу "Центролит" (Україна), Кишинівського машинобудівного заводу (Молдова), Волзького заводу вузлів і агрегатів (Росія) та інших підприємств.

Дослідження вихідної інформації з метою подальшого розрахунку показників надійності модулів ЛАЛ проводилося в два етапи.

На першому етапі досліджень інформація про технічний стан вказаних ліній, які знаходяться в експлуатації, причини і види їх відмов була отримана в процесі аналізу актів аварійних пошкоджень, актів пусконаладки, а також ремонтно-технічної документації, яка знаходиться у відділі планово-попереджувальних ремонтів (ППР).

На другому етапі досліджень з метою конкретизації причин відмов, їх видів і впливаючих на них факторів використали метод експертних оцінок, для чого була розроблена анкета експертного опитування (заповнена форма якої наведена на рис.2.2) і розсилалася на підприємства, де експлуатується ЛАЛ.

Крім експертного опитування проводився збір інформації про відмови ЛАЛ на вказаних вище підприємствах протягом чотирьох років за наступною формою (табл.2.1).

### Анкета експертної оцінки надійності ЛАЛ

<p>1. Експлуатуюче підприємство —Завод “Центролит”, місто Суми</p> <p>2. Тип (ЛАЛ)      КЛІ91265 СМ</p> <p>3. Середня кількість відмов лінії в місяць біля 50</p> <p>4. Середній час роботи лінії (днів) до відмови    2.5 днів</p> <p>5. Найбільш часто мають місце наступні відмови:</p> <p>5.1. По модулям: формовки (автомати формовки, розпаровщик, кантувач, транспортер), вибивки (вибивна решітка, штовкачі), транспорту і накопичення (розпаровщик, транспортні рольганги, датчики положення, електроприводи);</p> <p>5.2. По механізмам: пресовому (поломка насоса, обрив штуцера), кантувачу (поломка штуцера, зажиму, знос рейки, башмаків), механізму зрізки (поломка проміжної шестерні, знос ножів);</p> <p>5.3. По вузлах транспортної секції: рольганги (знос роликів, втулки, направляючих, редуктори рольгангів), тарільчаті пружини (обрив, розтяжка), фрікціони (зношення манжет);</p> <p>5.4. По системам — електричній (датчики БВК, КВП), гідравлічній (гідророзподілювачі, втрати масла через перегрів);</p> <p>6. Вид відмови:</p> <p>а) поступовий (знос,старіння т.д.);</p> <p>б) миттєвий (деформація і поломка окремих деталей, перекося, заїдання і заклинювання, обрив проводів датчиків положення, попадання сторонніх частин в систему змазки);</p> <p>7. Середній час усунення відмови, год      1.5-2</p> <p>8. Наслідки відмови: 1) повна втрата роботоздатності;</p> <p>2) часткова втрата роботоздатності;</p> <p>3) без наслідків.</p> <p style="text-align: center;">(В графах 5.1, 6, 8 при заповненні підкреслити необхідні пункти)</p> <p style="text-align: center;">Головний інженер заводу Н.І. Муштай    П.І.П. Спеціаліста</p>
---

Рис. 2.2 Форма анкети експертної оцінки надійності ливарних автоматичних ліній

Таблиця 2.1

## Форма збору інформації про відмови ЛАЛ

Дата	Назва обладнання	Час усунення причини відмови	Причина відмови	Участок (модуль)
8.01	АЛ 265 №1	21.35-22.15	Вихід з ладу схеми керування(Т-107, Т-402).	система керування
9.01	АЛ 265 №2	13.10-14.00	Заміна давачів (КВП-16,БВК-24)	—//—
-----	-----	-----	-----	-----
13.0	АЛ 265 №3	17.10-18.00	Дефект вибивної решітки	вибивка

При цьому за спеціально розробленою методикою перевірки стабільності фактичного циклу виготовлення півформ, визначалася кількість відмов і збоїв модулів ЛАЛ. Згідно розробленої методики під збоєм розуміють дефект структурної одиниці ЛАЛ, який усувається оператором з пульта управління шляхом переходу з автоматичного режиму на ручне управління. Відмова визначається як дефект структурної одиниці ЛАЛ, що усувається оператором або наладчиком шляхом здійснення наладки, регулювання, дрібного ремонту, а також проштовхування оснастки або механізмів вручну за допомогою лома.

Паспортна циклова продуктивність лінії — 60 форм/год. При постійно включеному секундомірі протягом однієї години записувались поточні показники секунд, які відповідають закінченню кожного циклу. Якщо протягом години є значні простої за зовнішніми причинами, час спостережень збільшувався до двох годин.

Підрахунок кількості збоїв і відмов проводився на протязі двох годин експлуатації ЛАЛ. По кожному модулю така перевірка виконувалась три рази у різні періоди зміни і визначені дні тижня. В процесі досліджень оператори і наладчики фіксували причину відмови (збою) або структурної одиниці (СО)

ЛАЛ, в якій виник дефект; кількість відмов (збоїв), а також кількість виготовлених півформ за період дослідження. У випадку, коли відмова (збій) виникав за зовнішньою для СО причиною, то така відмова (збій) не фіксувалася (наприклад, немає опок, нікуди ставити форму, немає суміші і т.д.).

Приклад заповнення таблиці по перевірці стабільності фактичного циклу виготовлення півформ на АЛ 91265СМ. №1, 2, 3 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

## Перевірка стабільності фактичного циклу виготовлення півформ

Показники	Позначення	Одиниця виміру	АЛ-1		АЛ-2		АЛ-3	
			всього	%	всього	%	всього	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Час спостереження	Tc	сек.	16900	—	14420	—	15325	—
Кількість циклів всього (в розрахунку на один п/ф):	No	шт.	210	100	290	100	275	100
– К-сть циклів з збоями	Nп	шт.	88	42,0	65	22,4	70	25,4
– К-сть циклів з відмовами	Nн	шт.	35	16,0	30	10,3	25	9,0
– Мінімальний час циклу	tц	сек.	60	—	60	—	60	—
– Середній час циклу спостереження	$t_c = T_c / N_o$	сек.	80,4	—	49,7	—	55,7	—

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
– Втрати часу на розтяж-ку циклу, на збої, відмови	$T_b = T_c -$ Notc	сек.	4300	—	2980	—	1175	—
– Втрати часу на розтяж-ку циклу, на збої і відмови в % від часу спостереження	$T_{вт}/T_c \cdot 100$	%	—	25,4	—	20,6	—	7,6
Коефіцієнт перевищення фактичного середнього циклу над настроєчним	$K = t_c / t_{ц}$	—	1,34	—	0,8	—	0,93	—

На основі аналізу результатів досліджень виявлені наступні причини нестабільності циклу на формовочних лініях:

— наявність відмов (збоїв) СО, їх кількість і тривалість часу усунення причин, що їх визвали.

— зміна швидкості руху СО, що викликана випадковими коливаннями опори опок, оснастки, які мають місце при експлуатації СО в умовах ливарного цеху. При цьому кількість відмов (збоїв) в загальному випадку залежить від наступних факторів:

кількості СО, які входять в склад ЛАЛ і якість їх виготовлення;

рівня технічного обслуговування і кваліфікації обслуговуючого персоналу (ремонтників, наладчиків, операторів);

рівня конструктивних рішень, прийнятих при розробці вузлів і деталей;  
перевірки стабільності фактичного циклу виготовлення півформ.

Крім того, аналіз результатів досліджень виявив наступні фактори, які визивають відмови (збої) основних модулів ЛАЛ:

відсутність чіткої фіксації підходу підопічної плити з півформою на позиції зборки (зупинка плити і її фіксація здійснюється не упором, а силою тертя ковзання плити по направляючих);

– відсутність стикування півформ “низу” і “верху”;

– випадкові "заїдання" в одному з штирів, наявність або незначний перекося в початковий момент протяжки є причиною заклинювання півформ на штирях, із-за чого на модулі формовки півформа не відокремлюється від моделі на позиціях протяжки;

– на ділчнці видачі різновисокі опоки через знос низів, котрі перешкоджають проходженню півформ під ножом зрізки, погіршують роботу кінцевих вимикачів, що контролюють рух опок;

– через велику кількість відмов контролера управління механізмом затискання на модулі вибивки часто переводиться на ручне керування;

– стирання гумових елементів очистки опок і манжет, а також заклинювання підшипників і перегрів масла в гідросистемі є причиною відмови вибивного пресу;

– відпрацювання манжет штовхачів, знос роликів, зрив болтів призводять до відмови транспортних засобів. Збій положення або вихід з ладу замикаючого прапорця давачів положення КВП, БВК, а також їх відмови і відмови редукторів по електрочастині (фактори потрібно виявити додатково), також є причиною відмови транспортних засобів;

вихід з ладу амортизаторів, згинання фіксуючих планок і золотникових вузлів є причиною відмов зборщика форм і пристроїв розпаровки.

Результати збору статистичних даних з відмов модулів ЛАЛ, аналіз умов і причин виникнення відмов з врахуванням технологічних особливостей, обумовлених виконанням заданих функцій ЛАЛ, дозволити в першому

наближенні, без статистичної обробки вихідних даних, виявити ті “слабкі модулі” ЛАЛ, які призводять до її відмови і можуть бути запропоновані як об’єкт подальших досліджень.

### 2.3 Результати обробки статистичних даних з відмов модулів структурних одиниць ЛАЛ

Успішне вирішення питань надійності структурних одиниць ЛАЛ можливо лише при проведенні широкої дослідницької роботи, пов’язаної з відбором і обробкою вірогідної статистичної інформації про відмови в процесі експлуатації.

Первинна обробка експериментальних даних полягає в упорядкуванні вибірових спостережень і, при необхідності, в групуванні їх по інтервалах, у визначенні відносних частот для кожного інтервалу напрацювання, у визначенні числових характеристик статистичного розподілу і графічному представленні результатів у вигляді гістограм і емпіричних функцій розподілу.

Упорядкування вибірових спостережень полягає в розміщенні значень (ресурсів, напрацювання до першої відмови, напрацювання між відмовами, часу відновлення і інше), в нашому випадку наробіток між відмовами в такому порядку:  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ . Отриманий ряд називають варіаційним, або ранжованим, а різні значення  $x_i$  - варіантами. Одна і та варіанта в ранжованому ряду може зустрічатись декілька разів.

Для зручності вивчення варіаційного ряду значення наробок між відмовами групуємо по інтервалах, отримуємо інтервальний ряд. Число інтервалів  $r$  визначаємо, використавши правило Старджеса, яке для вибірки об’ємом  $n$ :  $r = 1 + 3,3 \lg n$ . Тоді ширина інтервалу

$$h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{r}, \quad (2.1)$$



де  $x_{\max}$  і  $x_{\min}$  - відповідно максимальна і мінімальна варіанти.

Як приклад, розглянемо результат обробки статистичних даних з відмов елементів схеми управління, аналіз яких дозволяє виділити їх основну принципову схему (рис. 2.2).

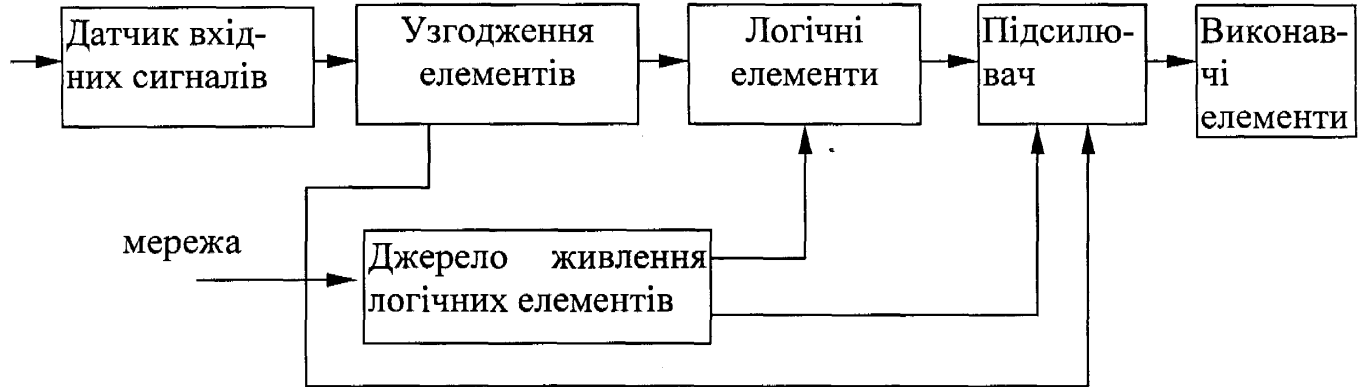


Рис. 2.2. Принципова схема системи керування структурною одиницею ЛАЛ

Давачами вхідних сигналів можуть бути пускові кнопки, шляхові і кінцеві вимикачі як контактні, так і безконтактні.

В залежності від типу логічних елементів на їх вхід повинні подаватись сигнали з визначеними параметрами, а якщо поступають сигнали, які відрізняються від необхідних, то в схему додатково вводять узгоджуючі елементи.

Так як потужність логічних елементів недостатня для живлення в більшості виконавчих елементів, то в схемах застосовують підсилювачі вхідних сигналів.

Схеми управління ЛАЛ побудовані на релейно-контактних і безконтактних елементах. Останні мають відчутні переваги, що передбачило збір статистичних даних з відмов безконтактних вітчизняних схем управління ЛАЛ.

Проведені дослідження показали, що до основних зовнішніх факторів, які впливають на надійність схем управління ЛАЛ, побудованих на елементах "Логіка", відносяться:

– коливання напруги (сталеплавильні печі при включенні понижують напругу з 380 до 320 В);

– вібрація, яка часто призводить до відмов безконтактного кінцевого вимикача БВК-24 (аналіз статистичних даних показує, що БВК-24 відмовляє в середньому 1 раз в 7 діб).

Виходячи з проблем організації збору інформації, які були відмічені вище, об'єктом збору статистичних даних вибрали Одеський завод “Центролит”, на якому була організована робота по контролю за простоями, реєстрації їх часу і причин виникнення, що дозволяє обчислити час напрацювання на відмову.

Спроби отримати більш-менш об'єктивну інформацію по надійності ЛАЛ на інших виробничих об'єктах не мали успіху із-за відсутності організації контролю за відмовами ЛАЛ, часом усунення причин їх появи та інш.

В результаті проведення обстежень за визначений період часу і з використанням методики, розглянутої вище, були отримані значення напрацювання на відмову схем управління КЛ 91265 СМ, елементи яких включали “Логіку” Т-107 і Т-402.

Із зафіксованих по трьох лініях “Центролита” 146 відмов 75% склали відмови безконтактних кінцевих вимикачів, 15% — дефекти елементів “Логіка-107”, “Логіка-402”.

При обробці вихідних даних склались варіаційні ряди напрацювання схем управління на відмову, виражені в годинах. Результати досліджень лінії №1 – 3 показано в таблицях 2.3 – 2.5

Розглянемо формування статистичного ряду на прикладі 50 реалізацій випадкових значень  $t_i$  для лінії 1, часу напрацювання між відмовами схеми управління ЛАЛ, серед яких  $t_{min}=50$  год,  $t_{max}=423.3$  год.

$$r=1+3.3\lg n=1+3.3\lg 50=6.6 \quad (2.2)$$

Ширина інтервалу

$$\Delta t = (x_{\max} - x_{\min}) / 2 = (423.3 - 50) / 7 = 53.3 \quad (2.3)$$

Для кожного інтервалу підраховуємо:  $m_i$  число значень випадкової величини, які попали в інтервал;  $m_i/N$  - статистична імовірність;  $\sum m_i/N$  - накопичена частота.

Середні значення напрацювання схеми управління на відмову і середнього квадратичного відхилення рівні:

$$\bar{t}_{cp} = \sum_{i=1}^r t_{cp,i} \cdot m_i / N = 198,28 \text{ год} \quad (2.4)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^r (t_{cp,i} - \bar{t}_{cp})^2 \cdot m_i / N} = 105,5 \text{ год} \quad (2.5)$$

де  $r$  – число інтервалів групування випадкової величини.

Таблиця 2.3

## Результати досліджень лінії №1

50,0	60,0	61,7	61,7	61,7	63,3	66,7	75,0	78,3	98,3
105,0	113,3	113,3	116,7	133,3	143,3	153,3	154,5	158,3	161,7
161,7	176,7	178,3	178,3	178,3	180,0	200,0	203,3	215,0	221,7
225,0	228,3	231,7	238,3	245,0	250,0	258,3	259,7	266,7	273,3
275,0	283,3	300,0	305,0	333,3	340,0	350,0	366,7	390,0	423,3

Таблиця 2.4

## Результати досліджень лінії №2:

123,3	125,0	128,3	130,0	150,0	158,3	158,3	166,7	196,7	200,0
206,7	206,7	216,7	220,0	221,7	231,7	233,3	233,3	238,3	243,3
250,0	256,7	265,0	288,3	288,3	296,7	305,0	306,7	313,3	313,3
316,7	326,7	330,0	341,7	356,7	380,0	383,3	400,0	416,7	428,3
433,3	463,3	496,7	508,3	541,7					

Таблиця 2.5

## Результати досліджень лінії №3:

108,3	110,0	113,3	123,3	146,7	146,7	160,0	161,7	163,3	166,7
183,3	188,3	200,0	208,3	213,3	216,7	233,3	233,3	236,7	236,7
236,7	256,7	258,3	251,7	261,7	265,0	271,7	276,7	280,0	281,7
283,3	286,7	295,0	298,6	313,3	330,0	341,7	346,7	358,3	366,7
375,0	376,7	381,7	415,0	433,3	433,3	450,0	475,0		

Характеристикою розподілу випадкової величини є коефіцієнт варіації  $V$ , який для нашого випадку рівний

$$V = \sigma / \bar{t}_{cp} = 105,5 / 198,29 = 0,54. \quad (2.6)$$

Виконання умови  $V > 0,5$  дозволяє висунути гіпотезу, що статистичні дані підпорядковуються двухпараметричному закону Вейбула. На основі графічного методу одержання параметрів розподілу [65,66,67] отримуємо значення  $\lambda = 7,95 \times 10^{-5}$ ;  $k = 1,75$

Для кінцевого вибору теоретичного закону розподілу проводимо перевірку висунутої гіпотези за допомогою критерію  $\chi^2$  (критерію Пірсона), що широко застосовується.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - N \cdot P_{ii})^2}{N \cdot P_{ii}}, \quad (2.7)$$

де  $m_i$  – число значень випадкової величини в  $i$ -ому інтервалі;

$N$  – загальне число одержання значень випадкової величини;

$P_{ii}$  – теоретична ймовірність попадання випадкової величини в  $i$ -ий інтервал.

Теоретична ймовірність попадання випадкової величини  $t$  в  $i$ -ий інтервал рівна приросту функції розподілу на цьому інтервалі:

$$P(t_i \leq t < t_{i+1}) = F(t_{i+1}) - F(t_i). \quad (2.8)$$

Для закону розподілу Вейбула-Гнеденко:

$$F(t) = 1 - \exp(-(\lambda t)^k), \quad (2.9)$$

$$Pt_i = \exp(-(\lambda t_{i+1})^k) - \exp(-(\lambda t_i)^k). \quad (2.10)$$

В результаті підстановки даних отримуємо:  $Pt_1=0,162$ ;  $Pt_2=0,193$ ;  $Pt_3=0,177$ ;  $Pt_4=0,143$ ;  $Pt_5=0,104$ ;  $Pt_6=0,0674$ ;  $Pt_7=0,0404$ ;  $\chi^2=2,262$ .

Згідно таблиць [68,69], для критерію  $\chi^2=2,262$  та  $r=4$ ,  $P>0,6$ . Розрахункове значення критерію  $\chi^2$  менше за критичне значення  $\chi^2_{кр}=9,49$ .

Одержана ймовірність є достатньою для того, щоб висунути гіпотезу стосовно апроксимації випадкових значень безвідмовної роботи досліджуваної схеми управління ЛАЛ №1 розподілом Вейбула-Гнеденко, можна вважати правдоподібною.

З врахуванням цього висновку, визначимо нижню  $\bar{t}_н$  і верхню  $\bar{t}_в$  границі довірчого інтервалу  $\bar{t}_{cp}=198,29$  год. Для закону Вейбула-Гнеденко:

$$\bar{t}_н = \bar{t}_{cp} \cdot \sqrt[k]{\eta_н}; \quad \bar{t}_в = \bar{t}_{cp} \cdot \sqrt[k]{\eta_в} \quad (2.11)$$

де  $\eta_н$  і  $\eta_в$  — допоміжні коефіцієнти, які залежать від об'єму вибірки  $N=50$  і прийнятого значення довірчої імовірності  $\beta$  [70,71].

Прийнявши  $\beta=0,9$ , находимо  $\eta_н=0,8і$   $\eta_в=1,28$ . В результаті підстановки даних отримуємо:

$$\bar{t}_H = 174,5 \text{ год}; \quad \bar{t}_G = 228 \text{ год.}$$

За цими варіаційними рядами були побудовані гістограми розподілу напрацювання схеми управління на відмову.

Таблиця 2.6

Результати обробки статистичних даних з відмов схеми управління лінією №1

Границі інтервалів, год	Кількість попадань в інтервал, $m_i$	Частота попадань в інтервал, $m_i / N$	Накопичена частота $\sum m_i / N$
50÷103,3	10	0,2	0,2
103,3÷156,7	8	0,16	0,36
156,7÷210	10	0,2	0,56
210÷263,3	10	0,2	0,76
263,3÷316,7	6	0,12	0,88
316,7÷370	4	0,08	0,96
370÷423,3	2	0,04	1,00

N=50

Таблиця 2.7

Результати обробки статистичних даних з відмов схеми управління лінією №2

Границі інтервалів, год	Кількість попадань в інтервал, $m_i$	Частота попадань в інтервал, $m_i / N$	Накопичена частота $\sum m_i / N$
123,3÷197,7	11	0,23	0,23
197,7÷261,7	13	0,27	0,5
261,7÷333,3	10	0,21	0,71
333,3÷400,0	7	0,15	0,86
400,0÷466,7	3	0,07	0,93
466,7÷533,3	3	0,07	1,00

N=45

Таблиця 2.8

Результати обробки статистичних даних з відмов схеми управління  
лінією №3

Границі інтервалів, год	Кількість попадань в інтервал, $m_i$	Частота попадань в інтервал, $m_i / N$	Накопичена частота $\sum m_i / N$
110,0÷161,7	9	0,18	0,18
161,7÷213,3	10	0,2	0,38
213,3÷266,7	9	0,18	0,56
266,7÷316,7	8	0,16	0,72
316,7÷366,7	6	0,12	0,84
366,7÷416,7	4	0,08	0,92
416,7÷466,7	3	0,06	0,98

$N=48$

Статистичні дані, приведені в даному розділі для схем управління ЛАЛ, використані для встановлення законів розподілу (моделі відмов) випадкового часу напрацювання на відмову, визначення кількісних показників надійності, а також встановлення взаємозв'язку між надійністю ЛАЛ та її економічною ефективністю. Аналогічно, в результаті обробки вихідної статистичної інформації (табл.8.2, 8.3), розраховувались значення  $\lambda$  і  $k$  для схем управління ЛАЛ №2 і №3 та інших модулів.

#### **2.4 Визначення показників надійності модулів ливарних автоматичних ліній**

При дослідженні надійності ЛАЛ слід перш за все приділити увагу правильній диференціації її на узагальнені елементи, які повинні відповідати

задачам і можливостям дослідження надійності останніх, а також реальним умовам застосування на практиці отриманих результатів. При дослідженні ЛАЛ, як і будь-якої складної системи, її можна розбити на довільне число узагальнених елементів. З точки зору аналізу [72,73], поділ ЛАЛ на велике число елементів не можна вважати правомірним, оскільки детальна диференціація стає несумісною з точки зору врахування функціональних і стохастичних зв'язків між ними і організації їх обслуговування.

Враховуючи, що ЛАЛ характеризується, як правило, замкнутим міжагрегатним зв'язком, то схему для аналізу її надійності можна отримати в результаті її декомпозиції на послідовно складові ділянки-модулі, що виконують визначені технологічні операції і складаються з необхідного набору механізмів і вузлів.

Оскільки в кожному конкретному випадку можливо створити ЛАЛ за різноманітними компоновочними схемами, то вибір структури є важливою задачею розрахунку і проектування.

Згідно [27] ЛАЛ потрібно компоновувати виходячи з умов оптимальної надійності, а також за критерієм максимуму продуктивності суспільної праці. Оптимальне число модулів ЛАЛ визначається на основі аналізу техніко-економічних показників. Розглянемо ступінь підвищення вартості  $\sigma$  будь-якої автоматичної лінії при діленні її на  $n$  участків пропорційно числу цих ділянок [26,27].

$$\sigma = 1 + \alpha \cdot \frac{n-1}{q}, \quad (2.12)$$

де  $\alpha$  — відносна вартість транспортних засобів, рівна відношенню їх вартості до середньої вартості одного агрегату лінії;

$q$  — число механізмів ЛАЛ.

При порівнянні запланованого варіанту компоновки ЛАЛ з вихідним, оптимальним буде той, який забезпечує найвищий рівень продуктивності



$$\lambda = \frac{\varphi \cdot \varepsilon \cdot [k + R_\varepsilon \cdot (m + 1)]}{k \cdot \sigma \cdot \varepsilon + R_\varepsilon \cdot (m \cdot \varphi \cdot \sigma \cdot \varepsilon + 1)}, \quad (2.13)$$

де  $\varphi$  — коефіцієнт росту продуктивності лінії;  
 $\varepsilon$  — коефіцієнт зменшення трудових витрат при обслуговуванні лінії;  
 $k$  — відношення вартості лінії до річного фонду заробітної плати обслуговуючих робочих;  
 $R_\varepsilon$  — ресурс лінії в роках;  
 $m$  — коефіцієнт поточних витрат;  
 $\sigma$  — коефіцієнт зміни експлуатаційних витрат, які приходяться на одиницю продукції.

Підставляючи вираз (2.12) в (2.13) і взявши похідну отримаємо оптимальне число модулів ЛАЛ:

$$ny_{opt} = \sqrt{\frac{\sum t_n}{T \cdot R_\varepsilon \cdot z_1 / z_2} \cdot [k + R_\varepsilon \cdot (m_1 + 1) \cdot q]}, \quad (2.14)$$

де  $\sum t_n$  — сумарний час простоїв;  
 $T$  — час робочого циклу лінії;  
 $z_1, z_2$  — середнє число агрегатів і кількість транспортних засобів, що обслуговуються одним робітником;

$m_1$  — відношення річних витрат на технічне обслуговування до річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу;

Як приклад, для ЛАЛ типу ІФЛ-225, КЛ-91265;

при:

$\sum t_n / T = 0.3, K = 60, z_1 = z_2 = 1, q = 14, m_1 = 1, R_\varepsilon = 10$  років.

$$ny_{opt} = \sqrt{\frac{0.3}{10 \cdot 1} \cdot [60 + 10 \cdot (1 + 1) \cdot 14]} \approx 6.$$

Таким чином, наведені вище ЛАЛ доцільно розділяти на шість технологічних модулів: формовки, зборки, заливки, вибивки, транспорту і накопичення та системи управління лінією.

Аналогічним чином визначається число модулів і для інших ЛАЛ, які випускає ВАТ завод “Автолившаш”.

На рис. 2.3 наведена залежність росту продуктивності  $\lambda$  ЛАЛ від числа модулів  $n$ , з якого видно, що існує оптимальна кількість технологічних модулів, при яких ЛАЛ буде мати найбільшу продуктивність і надійність яких підлягає визначенню (розрахунку).

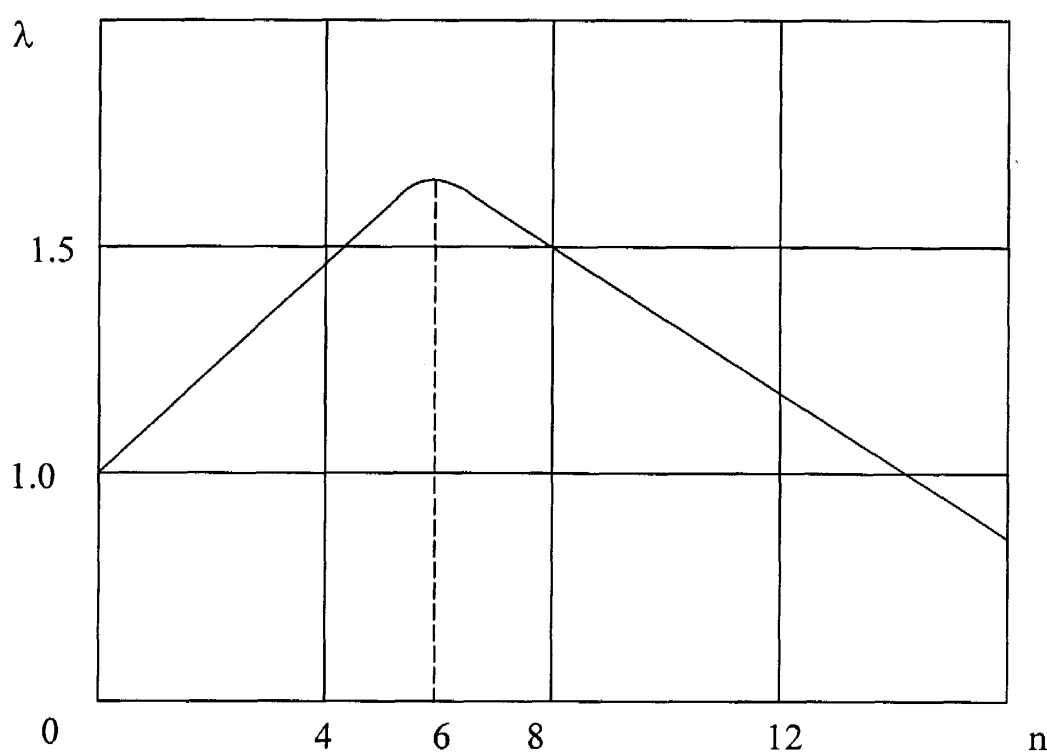


Рис.2.3 Залежність продуктивності ЛАЛ від числа активних агрегатів (модулів)

Явища, пов'язані з працездатністю ЛАЛ складні і різноманітні, тому для кількісної оцінки надійності використовуються ряд показників.

Відомо, [66,75,76] що процеси виникнення і усунення відмов, а також порушення і відновлення працездатності відносяться до випадкових процесів, у

зв'язку з чим кількісні показники надійності мають імовірнісний характер і при їх розрахунку використовуються статистичні методи.

Згідно визначенню [75] надійність ЛАЛ (її модулів), як і будь-якої системи, визначається, її властивостями: безвідмовністю, ремонтпридатністю, і довготривкістю. Показники надійності можна розділити на дві групи:

I — часткові показники, які оцінюють лише одну якісну сторону надійності, наприклад безвідмовність або лише ремонтпридатність.

II — узагальнюючі показники, які оцінюють одночасно безвідмовність і ремонтпридатність.

Часткові показники надійності в рівній мірі можна застосовувати як до лінії в цілому, так і до окремих її модулів.

Згідно визначенню безвідмовності як властивості ЛАЛ зберігати працездатний стан на протязі встановленого ТУ на ЛАЛ часу — важливим показником безвідмовності є ймовірність того, що ЛАЛ або її модулі збережуть працездатність на протязі регламентованого часу.

Залежність ймовірності безвідмовної роботи лінії від її напрацювання називається функцією надійності  $p(t)$ . Остання може змінюватись в межах  $0 < p(t) \leq 1$  і при  $t \rightarrow \infty P(t) = 0$ .

До показника надійності ЛАЛ можна віднести середній час її безвідмовної роботи  $T_{cp}$  і час між двома сусідніми відмовами.

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2.15)$$

де  $t_i$  — напрацювання до  $i$ -ої відмови;

$n$  — кількість відмов.

Недоліком показника є відсутність врахування інтенсивності роботи модулів ЛАЛ, тобто кількість відливов, випущених в одиницю часу при безперервній роботі. Так як ЛАЛ є системою циклічної дії, то для неї можна

ввести додатковий показник безвідмовності — коефіцієнт безвідмовності, специфічний для машин циклічної дії.

$$K_{\sigma} = \frac{T_{cp}}{T} k_{\sigma} \quad (2.16)$$

де  $T$  — тривалість робочого циклу лінії;

$k_{\sigma}$  — середня кількість робочих циклів лінії між двома відмовами в роботі.

Показником надійності відновлюємих технічних засобів, до яких відноситься ЛАЛ, є також параметр потоку відмов, який визначається [68]

$$w(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(t, t + \Delta t)}{\Delta t}, \quad (2.17)$$

де  $Q(t, t + \Delta t)$  — ймовірність наявності не менше однієї відмови в інтервалі часу  $t, t + \Delta t$ .

Кількісно параметр потоку відмов визначається відношенням числа модулів і їх вузлів  $m$ , які відмовили в проміжку часу  $t$ , до числа модулів і їх елементів, які знаходяться під спостереженням,  $n$ :

$$w^*(t) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(t)}{n \cdot t}. \quad (2.18)$$

Чим більше значення  $w^*(t)$ , тим нижча надійність ліній.

$$f(t) = -dP(t)/dt. \quad (2.19)$$

Показники безвідмовності підлягають обов'язковому включенню в технічну документацію на ЛАЛ.

Надійність ЛАЛ може бути охарактеризована ще одним показником — щільністю ймовірності часу безвідмовної роботи  $f(t)$ , яка показує ймовірність відмови лінії в кожному проміжку часу після її включення

Показник надійності — ремонтпридатність, стосовно до ЛАЛ в процесі експлуатації, оцінюється тривалістю одиничних простоїв лінії, для знаходження, ліквідації і попередження відмов. Простої для знаходження і ліквідації відмов носять випадковий нерегламентований характер і зводяться до відновлення працездатності окремих елементів лінії. Якщо сумувати дані одиничних простоїв ЛАЛ із-за відмов її модулів і елементів з можливих причин, то, як показують результати дослідження, розподіл часу простоїв носить такий же характер, як і розподіл часу безперервної роботи. В цьому випадку основним числовим показником ремонтпридатності ЛАЛ є середній час одиничного простою лінії для відновлення її працездатності, який визначається

$$\tau_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (2.20)$$

де  $\tau_i$  — тривалість  $i$ -ого простою лінії із-за відмови одного з модулів, або його вузлів;

$n$  — загальне число відмов за час спостережень.

Для попередження відмов при експлуатації ЛАЛ використовують попередній прогрів і запуск на холостому ході, профілактичні обстеження, перевірки стану механізмів, їх підналадка і т.д.

Довговічність лінії - це властивість зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонту. Граничний стан лінії визначається відсутністю можливості її подальшої експлуатації за втратами технічних якостей (стабільності

переміщень, жорсткості, продуктивності і ін.). Цей граничний стан обумовлюється не лишень фізичним, але і матеріальним зносом, коли подальша експлуатація ЛАЛ стає економічно недоцільною навіть при її технічній придатності.

Важливим критерієм оцінки довготривкості, стосовно ЛАЛ, є технічний ресурс  $R$ , рівний сумарному напрацюванню за весь термін роботи — від введення в експлуатацію до руйнування або морального зносу.

Якщо за календарний термін роботи  $T_c$  автоматична лінія мала загальний коефіцієнт використання  $\eta_v$ , то технічний ресурс визначається як:

$$R = \beta \cdot T_c \cdot \eta_v = \beta \cdot T_c \cdot \eta_{max} \cdot \eta_z \cdot \eta_e, \quad (2.21)$$

де  $\eta_v$  — коефіцієнт технічного використання;

$\eta_z$  — коефіцієнт завантаження;

$\eta_e$  — коефіцієнт експлуатації;

$\beta$  — коефіцієнт, який враховує долю фонду часу роботи лінії в загальному календарному часі.

Як показує практика, сумарний ресурс роботи лінії лише частково пов'язаний з довговічністю її модулів і вузлів. Довготривкість окремих елементів лінії визначається лише їх фізичною придатністю, яка залежить від ступеня механічного зносу. Довготривкість лінії в цілому визначається не тільки фізичним зносом найбільш відповідальних базових модулів, але і моральним зносом, коли, як вже було відмічено, лінію не вигідно експлуатувати навіть при умові її фізичної придатності.

Рівень надійності ЛАЛ може достатньо повно оцінений показниками безвідмовності і ремонт придатності при виявленні, усуненні, попередженні відмов, а також довговічністю модулів з найменшим значенням ресурсу. Виникають питання — який з відмічених вище показників надійності ЛАЛ є найбільш важливим, а також які ЛАЛ повинні вважатися найбільш надійними.

Ті, що рідко виходять з ладу, але мають довготривалий час відновлення працездатності, чи ті, котрі часто виходять з ладу, але швидко відновлюються.

Імовірність безвідмовної роботи і інші показники надійності мають вирішальне значення для механізмів і вузлів одноразової дії, де будь-яка відмова призводить до того, що вся система не в стані виконувати свої функції.

Особливістю ЛАЛ є те, що відмови, яка виникають, не призводять до повної втрати її працездатності. З точки зору основного призначення ЛАЛ—отримання відливок, надійність має значення перш за все як міра позациклових простоїв і втрат продуктивності. Продуктивність ЛАЛ вимірюється кількістю готової продукції, випущеної за одиницю часу. Вона може розраховуватись відносно дійсного і номінального річного фонду часу роботи лінії. На продуктивність лінії впливають її компоновка; надійність структурних модулів і їх складових елементів; режим експлуатації; організація ремонту і обслуговування; робота допоміжного обладнання. При роботі ЛАЛ розрізняють технологічну і циклову(теоретичну) продуктивність. Циклова продуктивність характеризує потенційні можливості лінії при її реальному конструктивному втіленні і умові безперебійної роботи без простоїв. Технологічна продуктивність являє собою фіктивну величину, вираховану без врахування втрат часу на холості ходи. Її можна визначити на початковій стадії проектування, не знаючи конструкції лінії, а при вибраному технологічному процесі. Тривалість робочого циклу визначає циклову продуктивність

$$Q_y = 1/t_p + t_x \quad (2.22)$$

де  $t_p$ -час роботи ЛАЛ;

$t_x$ -час холостих ходів ЛАЛ.

В деяких автоматах і автоматичних лініях неперервної дії коли  $t_x=0$  циклова продуктивність дорівнює технологічній.

В загальному випадку продуктивність ЛАЛ визначається за формулою []

$$П = Kв \cdot Qц \quad (2.23)$$

де:  $Qц$  - циклова продуктивність;

$Kв$  - коефіцієнт використання.

Дві властивості надійності — безвідмовність і ремонтпридатність є рівноправними, так як не має принципового значення, зупинялась лінія 10 раз по 10 хв, або 5 раз по 20 хв — втрати продуктивності лінії — кількість недоданих відливок в двох випадках буде однаковою. Тому характеристики безвідмовності і ремонтпридатності ЛАЛ є односторонніми.

Розглянемо період експлуатації лінії, на проміжку якого спостерігалось  $n$  проміжків безвідмовної роботи і, відповідно,  $n$  простоїв з технічних причин. Нехай середня тривалість одиничного простою складатиме  $\tau_{cp}$  (хв), то загальний час простоїв складає,  $\sum \tau_b = i \cdot \tau_{cp}$ , де  $i$  – інтенсивність простоїв. За цей період загальна кількість відпрацьованих робочих циклів складає  $m = i \cdot k_n$ , де  $k_n$  - середня кількість робочих циклів між двома простоями.

Для того щоб врахувати вплив позациклових простоїв на продуктивність лінії, потрібно розділити загальний час простоїв за визначений проміжок часу на кількість відливок, отриманих за цей же час, і отриману величину додати до фактичної тривалості циклу

$$\sum \tau_n = \frac{\sum \tau_b}{m} = \frac{\tau_{cp}}{k_H} \quad (2.24)$$

Позациклові простої можуть бути віднесені до сумарного часу роботи лінії за деякий проміжок часу  $T$ , тоді з врахуванням (2.24) отримаємо

$$\frac{\sum \tau_H}{T} = \frac{\tau_{cp}}{k_H \cdot T} = \frac{\tau_{cp}}{T_{cp}} = \omega_{cp}, \quad (2.25)$$



де  $T_{cp} = kT$  — середній час безперервної роботи лінії між двома її простоями, які обумовлені технічними причинами:

$$\omega = \frac{1}{T_{cp}} \text{— параметр потоку відмов.}$$

Таким чином, позациклові простой також є показниками надійності. Згідно визначення, коефіцієнт технічного використання будь-якої машини, в тому числі ЛАЛ:

$$\begin{aligned} \eta_B &= \frac{t_p}{t_p + \sum \tau_b} = \frac{t_p}{t_p + \sum \tau_{n3} + \sum \tau_{CB}} = \frac{t_p}{t_p \cdot \sum \tau_{CB}} \cdot \frac{t_p + \sum \varepsilon_c}{t_p + \sum \tau_{n3} + \sum \tau_C} = \\ &= \eta_{\max} \cdot \frac{t_p + \sum \varepsilon_c}{t_p + \sum \tau_{n3} + \sum \tau_C}, \end{aligned} \quad (2.26)$$

де  $t_p$  — сумарний чистий час експлуатації лінії за деякий відрізок часу;

$\sum \tau_b = \sum \tau_{n3} + \sum \tau_c$  — сумарні власні простой лінії, обумовлені технічними причинами за той же проміжок часу;

$\sum \tau_{n3}$  — підготовчо-заключний час, витрачений на попередження відмов (технічне обслуговування);

$\sum \tau_c$  — час випадкових простоїв для виявлення відмов і усунення їх причин.

Якщо віднести параметр потоку відмов не тільки до відмов причин їх виявлення і усунення, але і до продуктивності, то отримаємо:

$$\eta_{\max} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \tau_{n3}}{t_p} + \frac{\sum \tau_c}{t_p}} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \tau_{n3}}{T} + \omega_{T_{cp}}}, \quad (2.27)$$

де  $\Sigma t_{nz}$  — позациклові втрати на попередження відмов лінії.

Формула (2.27) відображає коефіцієнт технічного використання через основні показники надійності: параметр потоку відмов  $w_{Tcr}$ , середній час  $\Sigma \tau_c$  виявлення і усунення причин відмов – позациклові втрати  $\Sigma t_{nz}$  на попередження відмов ЛАЛ, а також через тривалість робочого циклу  $T$ .

Таким чином, коефіцієнт технічного використання є узагальнюючим показником надійності, який враховує безвідмовність модулів, довготривкість їх вузлів і елементів, які мають найменший ресурс, та ремонтпридатність.

До узагальнюючого показника надійності ЛАЛ слід віднести також коефіцієнт готовності, який чисельно відображає ймовірність того, що ЛАЛ буде працездатною в довільно вибраній момент часу між проведенням планово-технічного обслуговування:

$$k_2 = \frac{t_p}{t_p + \sum \tau_c} = \frac{1}{1 + \frac{\sum Tc}{t_p}} = \frac{Tc}{Tc + \tau_c}. \quad (2.28)$$

На відміну від коефіцієнта технічного використання, коефіцієнт готовності враховує лише час роботи і випадкові простої. Якщо підготовчо-заклучний час незначний, то коефіцієнт готовності за своїм значенням наближається до коефіцієнта технічного використання, а в інших випадках коефіцієнт готовності менший за коефіцієнт технічного використання.

Виходячи з вищенаведеного, надійність ЛАЛ будемо оцінювати наступними показниками, які характеризують її властивості – безвідмовність, ремонтпридатність та довговічність: ймовірністю безвідмовної роботи лінії; середнім часом безвідмовної роботи; параметром потоку відмов; середнім часом ремонту; ймовірністю відновлення працездатності ЛАЛ за визначений проміжок часу; а також узагальненими показниками надійності: коефіцієнтом готовності, коефіцієнтом використання, власними позацикловими втратами, коефіцієнтом експлуатації.

Необхідно відмітити, якщо часткові показники в рівній мірі можуть характеризувати і лінію, і її модулі, то більшість узагальнюючих показників має фізичний зміст лише по відношенню до ЛАЛ в цілому.

Як приклад, коефіцієнт технічного використання показує, наскільки використовуються можливості випуску відливок на лінії, якщо вона для цього забезпечена всім необхідним.

Показники надійності, що входять в нормативно-технічні документи на проєктований об'єкт, повинні відповідати режиму його використання та конструкції (враховуючи наслідки відмов), забезпечувати можливість перевірки цих показників при дослідженнях та експлуатації об'єкта.

Враховуючи такий підхід були вибрані часткові показники надійності автоматичних ливарних ліній.

На цьому етапі досліджень проводилася робота по організації збору статистичних даних відмов автоматичних ліній і визначенню числових значень вибраних показників надійності.

Процес спостереження за роботою модулів ЛАЛ, їх механізмів та вузлів проводився з метою: збору і накопичення статистичних даних, необхідних для визначення показників їх надійності і довготривкості; вивчення умов і особливостей експлуатації ЛАЛ; виявлення деталей і вузлів, які передчасно виходять з ладу і причин, що спричиняють появу дефектів та відмов можна представити у вигляді наступної схеми (рис. 2.1). В окремих випадках необхідність деяких робіт, вказаних на схемі, може відпасти, що обумовлюється метою, характером і об'ємом досліджень.

Статистичні дані були зібрані в результаті спеціально організованих спостережень за експлуатацією ліній в умовах чавунно-ливарних цехів з серійним характером виробництва. Аналіз статистики відмов показує, що основну долю в розподілі відмов ліній складають відмови формовочного автомата, які створюють деякий потік випадкових подій. Вузол формовочного автомата можна віднести до відновлюваних модулів ЛАЛ, які в процесі

експлуатації працюють в режимі випадкових ремонтів. В цьому випадку надійність лінії оцінюється параметром потоку відмов [1,2].

За зібраними статистичними даними про роботу ліній на протязі трьох років з наступною їх обробкою, були одержані залежності параметра потоку відмов ліній, які підлягали дослідженню від часу їх експлуатації. За допомогою відомих прийомів [1] встановлено, що ця залежність для ЛАЛ КЛ–91265СМ №1, 2, 3 апроксимується законом Вейбулла–Гнеденка і описується виразами:

$$w_1(t)=1.1 \cdot 2.9 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0.1};$$

$$w_2(t)=1.2 \cdot 1.4 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0.2};$$

$$w_3(t)=1.8 \cdot 8.5 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0.8}.$$

Криві залежності параметра потоку відмов досліджених ліній приведені на рис.2.4.

Степінь співпадання теоретичної залежності з експериментальними даними параметра потоку відмов від терміну експлуатації проводили з використанням метода середньоквадратичного відхилення. Наприклад, найбільше значення суми квадратів різниць склало 0,328.

На рис.2.5 приведені гістограми експериментального і теоретичного розподілу ймовірності циклів безвідмовної роботи лінії. Криві згідно даних хронометражу простоїв, послідовно розраховувались періоди безперебійної роботи лінії, тобто кількість циклів, відпрацьованих лініями між двома відмовами.

З метою аналізу розподілу часу відновлення (ремонту) ЛАЛ  $\tau$  були складені відповідні вибірки часу ремонту їх в умовах чавунно-ливарного виробництва.

Використовуючи критерій Пірсона  $\lambda$ , була проведена перевірка на адекватність теоретичного і експериментального розподілу часу відновлення ліній. Встановлено, що при апроксимації розподілу часу відновлення лінії гамма-розподілом з густиною

$$f(\tau) = a^{\nu} / \Gamma(\nu) \cdot \tau^{\nu-1} \cdot \exp(-a \cdot \tau), \quad (2.29)$$

де  $a, \nu$  — параметри форми і масштабу;

$\Gamma(\nu)$  — гамма-функція,

мінімальна довірча імовірність рівна 0,9.

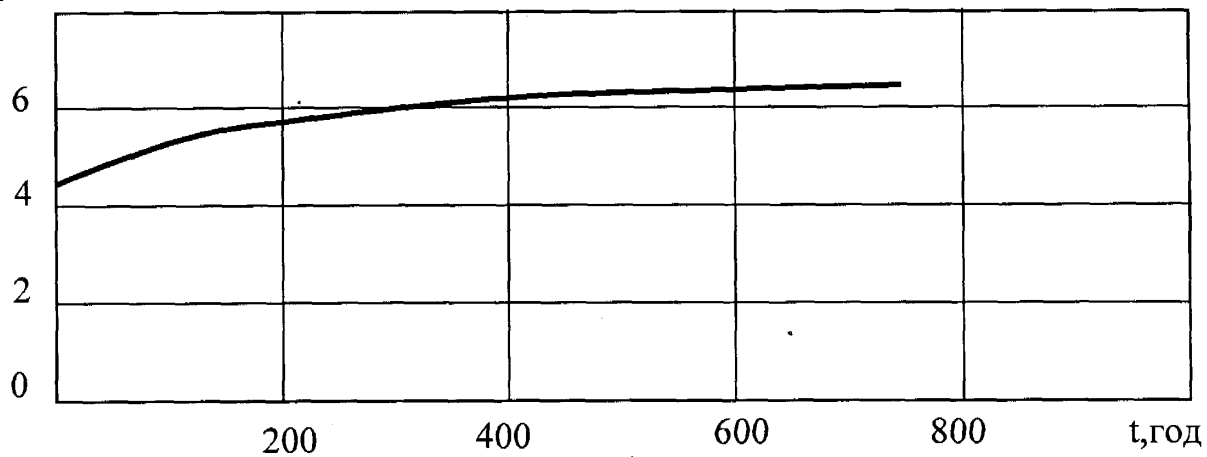
Таким чином, гіпотеза про відповідність емпіричного і теоретичного розподілу часу відновлення повністю підтверджується. Виходячи з чисто фізичних уявлень, можна припустити, що щільність розподілу часу ремонту лінії  $f(\tau)$  повинна збільшуватись від нуля, мати максимум, а далі наближатись до нуля, що характерно для гамма-розподілу.

Математичне очікування випадкової величини, в нашому випадку, часу ремонту ЛАЛ, визначається за формулою

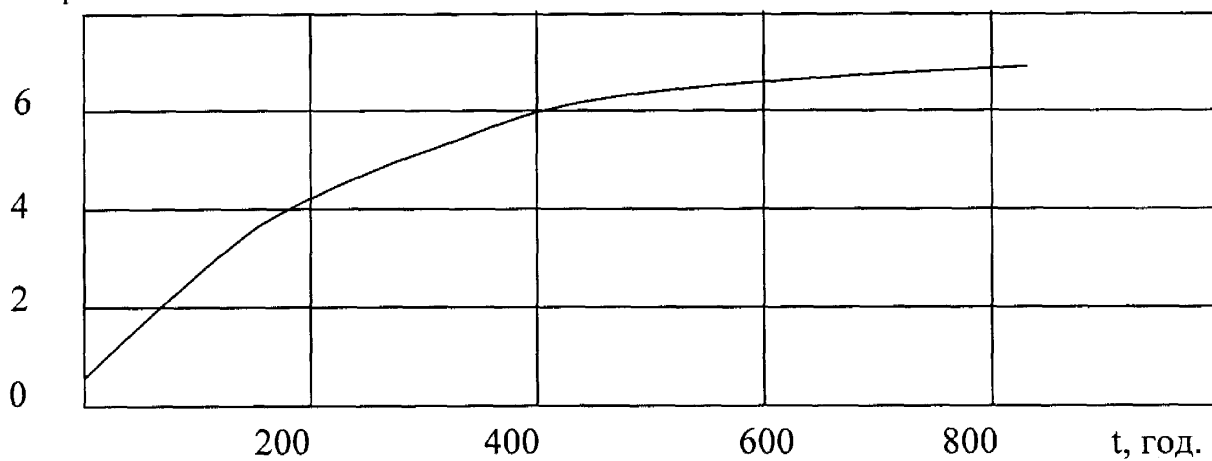
$$\bar{\tau}_{cp} = \frac{\nu}{a}. \quad (2.30)$$

При довірчій імовірності 0,95 середній час відновлення ліній 1, 2, 3 відповідно дорівнює  $1.90 \pm 0.235$ ;  $1.983 \pm 0.297$ ;  $1.87 \pm 0.281$  годин.

Таким чином, залежність параметра потоку відмов ЛАЛ від терміну їх служби з достатньою для практичних цілей точністю може бути апроксимована розподілом Вейбула-Гнеденка, а час відновлення працездатності цих ліній при ремонті в умовах чавунно-ливарного виробництва добре узгоджується з гамма-розподілом.

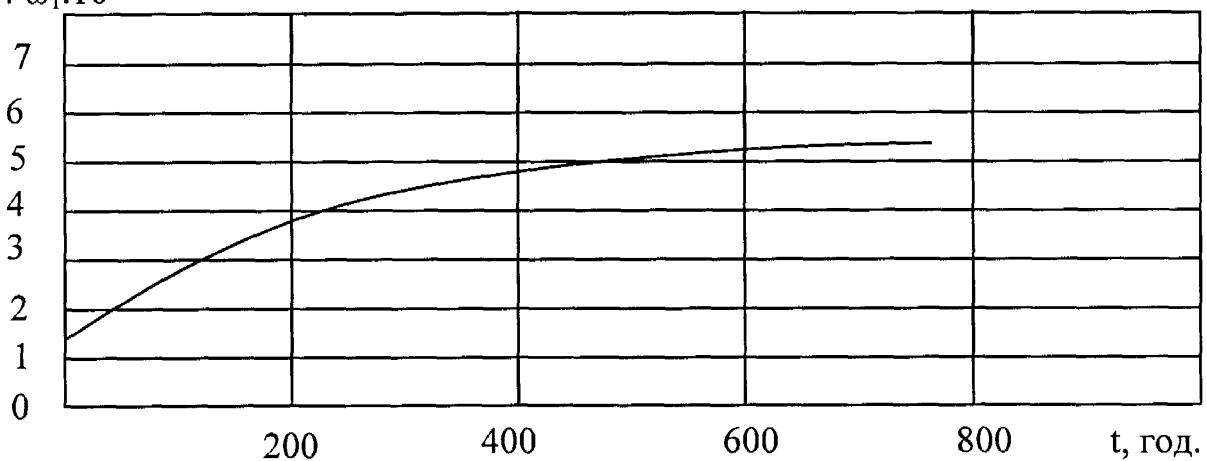
$1/4 \omega_2 \cdot 10^{-5}$ 


а)

 $1/4 \omega_1 \cdot 10^{-5}$ 


t, год

б)

 $1/4 \omega_1 \cdot 10^{-5}$ 


t, год.

в)

Рис.2.4 Закономірності зміни параметра потоку відмов  $\omega$  ЛАЛ КЛ-91265СМ а) – №1; б) – №2; в) – №3 від часу експлуатації  $t$ .

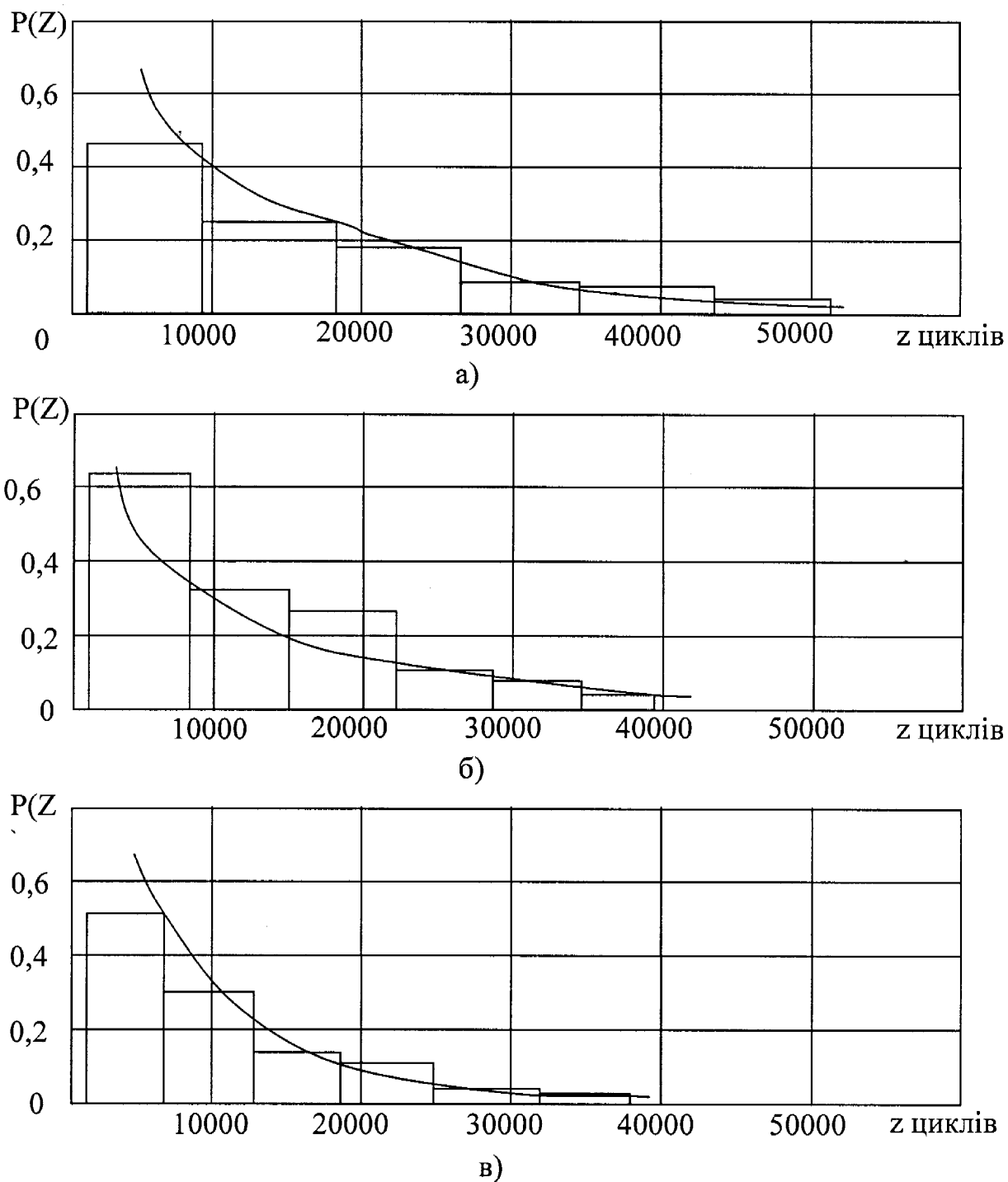


Рис. 2.5 Ймовірність безвідмовної роботи  $P(z)$  ливарних автоматичних ліній ЛАЛ КЛ-91265СМ; а) №1; б) №2; в) №3

Враховуючи, що система управління ЛАЛ є також однією з основних складових, призначення якої полягає у виконанні заданих команд з метою підтримання потрібних значень параметрів технологічного процесу з заданою точністю, найбільшою працездатністю та експлуатаційною надійністю,

проводили також і спостереження за працездатністю системи управління на трьох лініях. За об'єкт дослідження була вибрана система управління автоматичною формовочною лінією типу КЛ-9265СМ на безконтактних логічних елементах серії “ЛОГИКА-Т”. Система управління включає шість функціональних підсистем: блок управління, управління лінією, блок сигналізації і два блока з підсилувачами.

Основою дослідження була статистика хронометражних спостережень за експлуатацією схем управління трьох ліній, що експлуатуються в чавунно-ливарних цехах серійного виробництва.

За основний показник оцінювання надійності безконтактної системи управління (БСУ) можна прийняти середнє напрацювання на відмову і враховуючи, що системи управління ЛАЛ відносяться до відновлюваних систем, то за показник надійності можна прийняти також середній час її відновлення.

За статистичними даними про роботу трьох ліній отриманими на протязі більше календарного року на основі [2] були визначені закони розподілу часу безвідмовної роботи схеми управління. Перевіркою статистичних гіпотез було встановлено, що розподіл імовірності безвідмовної роботи для систем управління, які досліджувались, апроксимується розподілом Вейбулла-Гнеденка.

Визначаючи  $\lambda$  і  $k$  за методом розділяючих розбивань знаходимо вираз для теоретичної функції розподілу часу безвідмовної роботи схем ЛАЛ, які досліджувались.

На рис.2.6 приведені гістограми щільностей емпіричного і теоретичного розподілу ймовірності безвідмовної роботи системи управління ліній АФЛ типу КЛ-91265СМ.

Середнє значення напрацювання системи управління на відмову можна визначити за формулою математичного очікування для розподілу Вейбулла-Гнеденка:



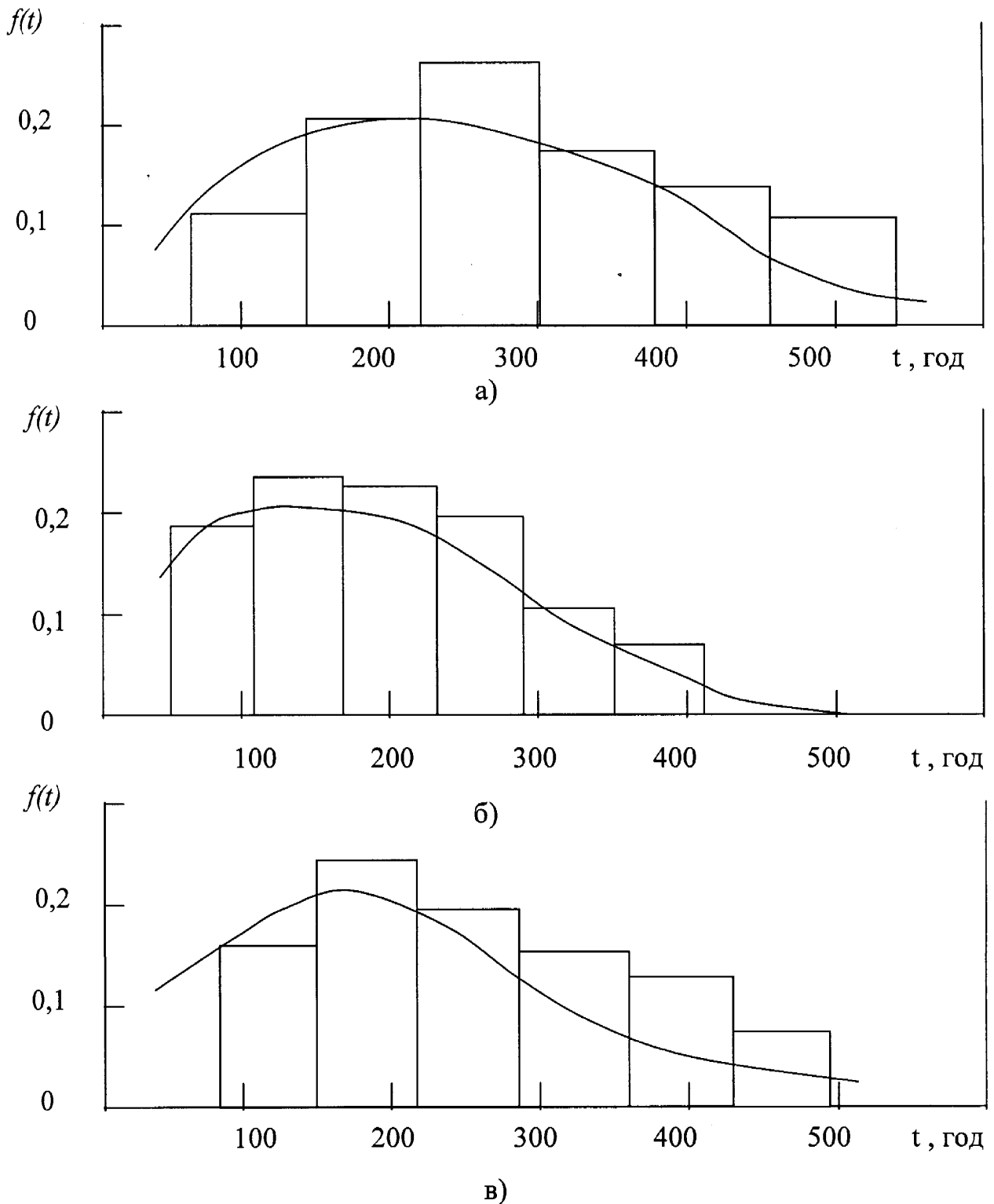


Рис.2.6 Залежність щільності  $f(t)$  відмов системи управління ЛАЛ КЛ-91265СМ: а) №1; б) №2; в) №3 ві часу їх експлуатації  $t$

Стосовно ЛАЛ типу КЛ91265СМ, яка включає всі технологічні операції, що проводяться на сучасних лініях, були визначені окремі показники надійності ЛАЛ і схем управління ними [1,2]. Вони дають загальну уяву про

надійність ліній в цілому. Оскільки ЛАЛ є складною динамічною системою взаємозв'язаних агрегатів (модулів), то доцільним є дослідження надійності кожного окремого модуля [3]. Отримані дані по відмовах модулів ЛАЛ дозволили розрахувати основні показники надійності модулів: ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , середній час напрацювання на відмову  $T$ , середній час відновлення роботоздатності  $T_v$ , коефіцієнт готовності  $K_g$ . За даними узагальнюючих відомостей (дивися форму для кожної лінії і її модуля) окремо складалась часова діаграма потоку відмов модулів в залежності від їх напрацювання. Отримані дані використовуються при складанні варіаційних рядів значень напрацювання на відмову, які дозволяють побудувати гістограми розподілу напрацювання на відмову (емпіричні функції щільності) і емпіричні функції ймовірності безвідмовної роботи. Отримані розрахункові дані та їх перевірка за критеріями  $\chi^2$  і Колмогорова показали, що напрацювання на відмову всіх модулів ЛАЛ розподіляються за законом Вейбула-Гнеденка

$$P(t) = \exp(-\lambda t^k), \quad (2.31)$$

де  $\lambda$  — параметр, який визначає масштаб;

$k$  — параметр форми розподілу;

$t$  — час безвідмовної роботи,

а час відновлення — за гамма-розподілом.

Розрахункові значення показників надійності модулів ЛАЛ наведені в табл.2.9 і використані при графічній побудові ймовірності безвідмовної роботи модулів ліній.

Величина напрацювання модулів лінії на відмову  $T$ , дає уявлення про період часу, на протязі якого лінія може працювати безперервно без відмов і дозволяє зпівставити надійність ЛАЛ що досліджуються. Середній час відновлення працездатності  $T_v$ , характеризує трудомісткість операцій по відновленню, а також ефективність роботи ремонтних служб. Надійність ЛАЛ характеризується здатністю виконувати робочі функції з мінімальними

затратами на технічне обслуговування і ремонт. З цією метою розраховуються коефіцієнт готовності  $K_g$  як ймовірність того, що в кожен довільно взятий момент часу лінія буде працездатною. На рис.2.7 приведені гістограми теоретичного розподілу ймовірності  $P(t)$  безвідмовної роботи модулів ліній.

Таблиця 2.9

## Розрахункові значення показників надійності модулів ЛАЛ

Показники надійності	Модулі лінії	Номер лінії		
		1	2	3
Середнє напрацювання на відмову $T$ , год.	Формовки	16	22	19
	Зборки	33	40	37
	Заливки	87,4	95	92
	Вибивки	22	32	28
	Транспорту і накопичення	18	25	22
	Системи управління	198	267	233
Середній час відновлення $T_v$ , год.	Формовки	2,36	2,2	2,3
	Зборки	0,65	0,7	0,67
	Заливки	1,5	1,8	1,7
	Вибивки	3,5	4,2	3,8
	Транспорту і накопичення	2,4	2,8	2,6
	Системи управління	0,83	0,8	0,9
Коефіцієнт готовності $K_g$	Формовки	0,87	0,909	0,892
	Зборки	0,98	0,982	0,982
	Заливки	0,983	0,981	0,982
	Вибивки	0,863	0,884	0,881
	Транспорту і накопичення	0,882	0,9	0,894
	Системи управління	0,996	0,997	0,996

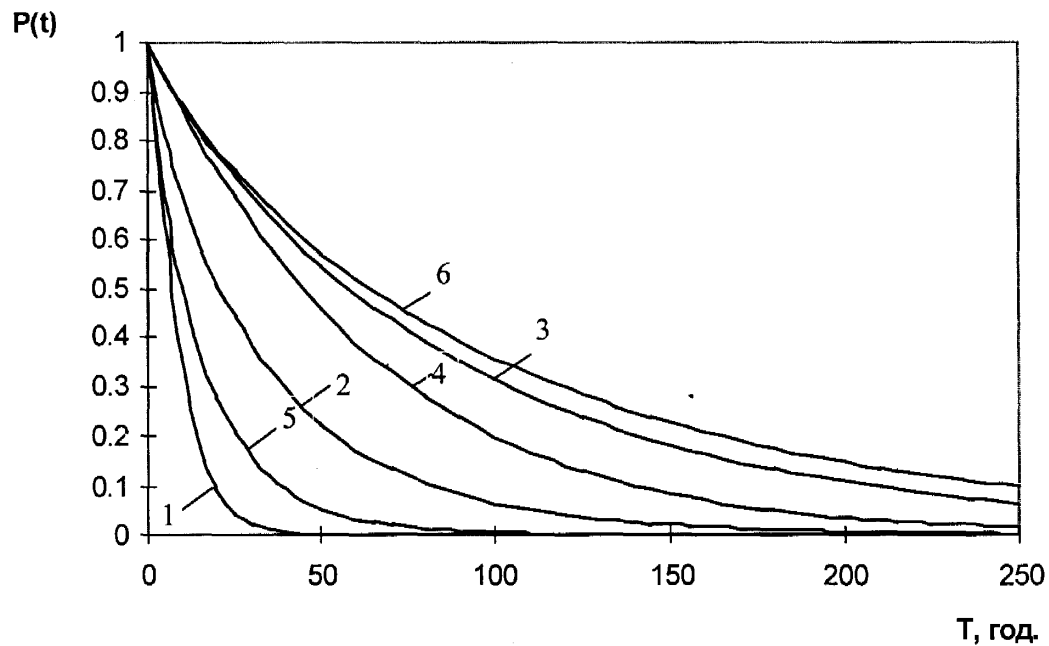


Рис.2.7. Графіки ймовірності безвідмовної роботи модулів ліній  
 1 - формовки; 2 - вибивки; 3 - заливки; 4 - зборки; 5 - транспорту і  
 накопичення; 6 - системи управління ЛАЛ.

## 2.5 Алгоритми пошуку дефектів ливарних автоматичних ліній

Алгоритм пошуку дефектів можна будувати на основі відомих показників надійності, в якості яких використовуються показники безвідмовності (імовірності відмови  $q_i$ , або безвідмовної роботи  $p_i$ ) і ремонтпридатності, (час, який витрачається на пошук дефекту  $\tau_{ni}$ ) Можливі три способи побудови:

- за показниками безвідмовності;
- за показниками ремонтпридатності;
- за відношенням  $\tau_{ni} / q_i$  (час -імовірність),

Для побудови алгоритмів пошуку дефектів необхідно знати показники  $q_i$ ,  $\tau_{ni}$  для кожного модуля ЛАЛ. Розглянемо три способи: А, Б, В побудови алгоритмів за відомими показниками надійності модулів ЛАЛ.

А Алгоритм пошуку дефектів будемо на основі відомих значень імовірності відмови  $q_i$  модулів.

При побудові, алгоритмів вводять припущення:

- тривалості всіх перевірок рівні;
- відмови модулів незалежні;
- одночасно відмовляє лише один модуль.

В цьому випадку алгоритм пошуку може бути послідовним. Для його реалізації модулі ЛАЛ, для яких задані імовірності відмови  $q_i$ , впорядковуються, за величиною, і послідовно виконують перевірку, починаючи з модуля, який характеризується найбільшою величиною  $q_i$  і закінчуючи модулем з найменшим значенням.

Для нашого випадку, згідно отриманих значень показників надійності модулів ЛАЛ (табл.2.9) значення імовірності відмов мають наступні значення:

- формовка  $q_1 = 0,6934$ ;
- зборка  $q_2 = 0,6684$ ;
- заливка  $q_3 = 0,6522$ ;
- вибивка  $q_4 = 0,6567$ ;
- транспорт  $q_5 = 0,6888$ ;
- система керування  $q_6 = 0,6218$ .

Ранжуємо модулі за  $q_i$ , і отримуємо  $q_1, q_5, q_2, q_4, q_3, q_6$ . Такий порядок визначає структуру алгоритму пошуку дефектів, яка приведена на рис. 2.8.

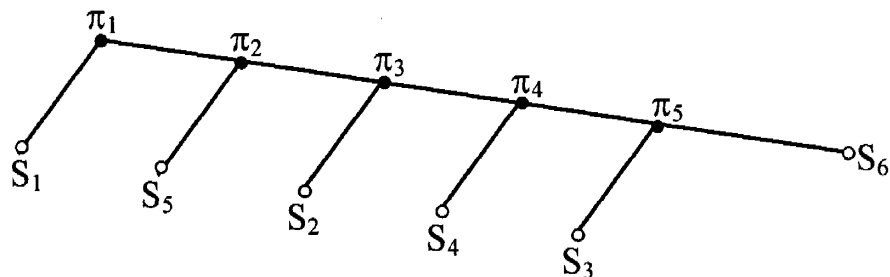


Рис. 2.8 Алгоритм пошуку дефектів для випадку А

де  $\pi_i$  - відповідна перевірка;

$S_i$  - працездатний стан.

Б) Для другого випадку алгоритм пошуку дефектів будемо за відомою інформацією про час, який витрачається на пошук дефекту  $\tau_{ni}$  за правилом: перевірку починають з того модуля., на пошук дефекту якого витрачається найменший час. Знаючи значення  $\tau_{ni}$ , ранжуємо їх в порядку збільшення і будемо алгоритм пошуку. Час на пошук дефектів має наступні значення:

- формовка  $\tau_{n1} = 0,76$ ;
- зборка  $\tau_{n2} = 0,338$ ;
- заливка  $\tau_{n3} = 0,553$ ;
- вибивка  $\tau_{n4} = 1,2$ ;
- транспорт  $\tau_{n5} = 0,866$ ;
- система керування  $\tau_{n6} = 0,28$ ;

Ранжуємо модулі в порядку зростання за  $\tau_{ni}$ , і отримаємо  $\tau_{n6}$ ,  $\tau_{n2}$ ,  $\tau_{n3}$ ,  $\tau_{n1}$ ,  $\tau_{n5}$ ,  $\tau_{n4}$ . Такий порядок визначає структуру алгоритму пошуку дефектів, яка приведена на рис.2.9.

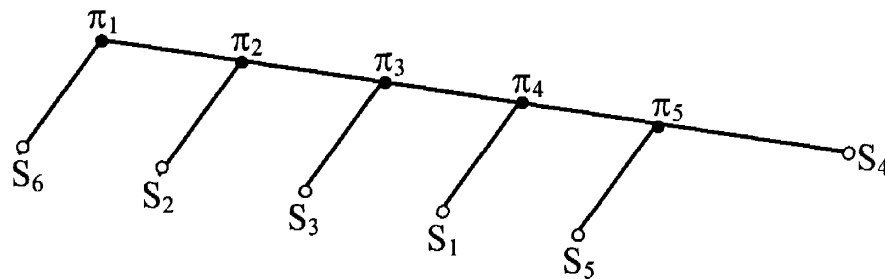


Рис. 2.9 Алгоритм пошуку дефектів для випадку Б

В) Метод “час-імовірність”, є найбільш досконалим, так як враховує два показника. В даному випадку послідовність перевірок повинна задовільняти умові, згідно якої номер перевірки визначається відношенням  $\tau_{ni} / q_i$  і зростає із збільшенням відношення. З врахуванням значень імовірності відмов  $q_i$  для випадку А)  $q_1 = 0,6934$ ;  $q_2 = 0,6684$ ;  $q_3 = 0,6522$ ;  $q_4 = 0,6567$ ;  $q_5 = 0,6888$ ;  $q_6 = 0,6218$ , і часу на пошук дефектів  $\tau_{ni}$  для випадку Б)  $\tau_{n1} = 0,76$ ;  $\tau_{n2} = 0,338$ ;

$\tau_{n3}=0,533$ ;  $\tau_{n4}=1,2$ ;  $\tau_{n5}=0,866$ ;  $\tau_{n6}=0,28$ , складаємо відношення  $\tau_{ni}/q_i$  і будуємо алгоритм пошуку для випадку

В):  $\tau_{n1}/q_1=1,09$ ;  $\tau_{n2}/q_2=0,5$ ;  $\tau_{n3}/q_3=0,847$ ;  $\tau_{n4}/q_4=1,82$ ;  $\tau_{n5}/q_5=1,25$ ;  
 $\tau_{n6}/q_6=0,45$ .

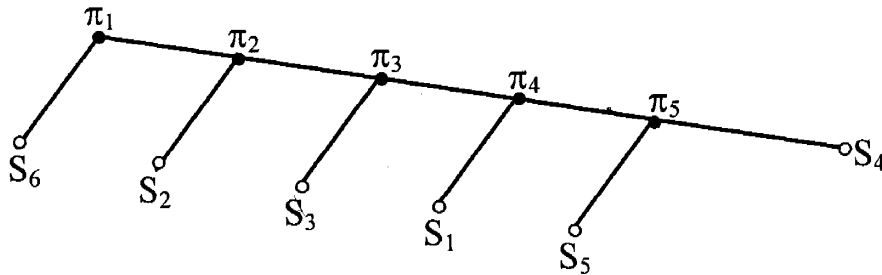


Рис. 2.10 Алгоритм пошуку дефектів для випадку В

Таким чином, знаючи показники надійності модулів ЛАЛ пошук дефектів можна починати з модуля, імовірність відмови якого  $q$  має найбільше значення, чи модуля, на пошук дефекту якого витрачається найменше часу  $\tau_n$ , або з модуля, відношення  $\tau_n/q$  якого має мінімальне значення.

### Висновки до розділу

1. Виходячи з конструктивних особливостей і умов експлуатації ЛАЛ запропонована схема дослідження умов їх відмов, яка дозволяє отримати статистичні дані, необхідні для визначення кількісних значень показників надійності та вивчити вплив особливостей експлуатації модулів ЛАЛ на рівень їх надійності.

2. Запропоновано методику проведення експлуатаційних досліджень технічного стану ЛАЛ, на основі використання методу експертних оцінок, яка дозволила виявити причини нестабільності циклу на формовочних лініях, та факторів, що викликають відмови основних модулів ЛАЛ, і в першому

наближенні (без обробки вихідних статистичних даних), виявити модулі з низьким рівнем надійності.

3. Отримані результати обробки статистичних даних з відмов систем управління ЛАЛ показали, що вони підпорядковуються двохпараметричному закону Вейбула, а випадкові значення їх безвідмовної роботи – розподілу Вейбула-Гнеденка та визначені його кількісні показники.

4. Обгрунтовано вибір і визначено основні показники надійності модулів ЛАЛ: імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , середній час напрацювання на відмову  $T$ , середній час відновлення працездатності  $T_v$  та коефіцієнт готовності  $K_g$ , аналіз яких показав, що найбільш низький рівень надійності (по трьох лініях) мають модуль вибивки ( $T_{\text{ср}}=27,3$  год.,  $T_v.\text{ср}=3,83$  год.,  $K_g.\text{ср.}=0,982$ ) та модуль транспорту і накопичення ( $T_{\text{ср}}=27,7$  год.,  $T_v.\text{ср}=2,6$  год.,  $K_g.\text{ср.}=0,892$ ).

5. Враховуючи вагомість модуля транспорту і накопичення в реалізації технологічного процесу виготовлення виливок останній був обраний за об'єкт дослідження з метою розробки методу контролю його працездатності.

6. Розроблені алгоритми пошуку дефектів ЛАЛ, які дозволяють визначити послідовність перевірок виходячи з показників надійності їх модулів.



## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШЕННЯ РОЛИКІВ РОЛЬГАНГУ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛАЛ

#### 3.1 Конструктивні особливості рольгангового транспорту, що визначають характер його роботи

В розділі 2.3 було встановлено, що найбільш “слабким” з точки зору дійсності є модуль транспорту і накопичення, тобто рольганговий транспорт.

Рольганги прості за конструкцією та в обслуговуванні, що і обумовило їх широке застосування в транспортних системах ЛАЛ, де вони використовуються для транспортування опочних і безопочних форм, пустих опок і інших операцій в горизонтальних і нахилених площинах.

Основні робочі елементи рольгангів (рис. 3.1) – ролики, закріплені на рамі, яка опирається на стояки. Рама з роликами складає секцію рольганга. Із набору окремих секцій складається роликовий конвеєр ливарної лінії. В залежності від конфігурації секції можуть бути прямими, криволінійними (або поворотними), відкидними. На перетині рольгангів встановлюються поворотні столи, які мають роликовий настил. В місцях перетину рольгангів з проходами встановлюються відкидні секції. Рольганги поділяються на приводні з примусовим обертанням роликів від приводу, а також неприводні по яких предмети переміщуються шляхом їх проштовхування різними штовхачами (гідравлічними, пневматичними, механічними), а в деяких лініях застосовуються неприводні рольганги які мають достатньо великий нахил, по якому переміщення вантажів проходить під дією поздовжньої складової маси самого вантажу. Найбільш часто в ЛАЛ використовуються комбінації з привідних і непривідних рольгангів. В перших ролики приводяться в рух двигуном і приводять в рух лежачі на них опокі, або плити. В інших

рольгангах опоки переміщуються за допомогою штовхачів накочуючись на ролики. Віддаль між осями роликів вибирають такою, щоб опока завжди знаходилась не менше, як на двох роликах.

В залежності від конструкції роликів в ливарних цехах використовуються звичайні (з циліндричними роликами) і кромочні рольганги. В кромочних ролики виготовлені в вигляді катків консольно закріплених на валиках. На другому кінці валика кріпиться підшипник.

Роликові конвеєри конструкції НДІ тракторсільгоспмаш конструктивно перероблені і модернізовані Івано-Франківським СКБ ЛАЛ, використовуються на лініях типу ІЛ-225, ІЛ-265 і інших, що випускаються ВАТ завод "Автолившмаш". Рольгангові секції, з'єднані в транспортний шлях, мають довжину 4,5 і 6 метрів. Кожна секція уніфікована і складається із рами, виконаної із двотавра або швелера, зварених між собою в виді коробів. В коробах на підшипниках змонтовані вали з роликами, по яких переміщуються опоки і форми.

На кожному валі за допомогою шпоночного з'єднання закріплені фрикційні диски і вільно посаджені на підшипниках зірочки, які за допомогою тарільчатих пружин і гайок затиснені між фрикційними дисками. З двох кінців секції рольгангу встановлені привідні вали, які з'єднані за допомогою ланцюгової передачі з приводом секції, або привідним валом сусідньої секції.

Зірочки всіх видів рольгангу з'єднані з привідним валом єдиним втулочно-роликовим ланцюгом, нижня частина якого рухається в масляній ванні. Для кращого охоплення зірочок і натягу ланцюга передбачені натяжні блоки і відхиляючі ролики. Від одного електроприводу приводяться в рух ролики двох сусідніх секцій рольгангу. Швидкість руху опок по привідному рольгангу перед формовочним автоматом перевищує технологічно необхідну при визначеному ритмі роботи лінії. В результаті цього рольганг служить накопичувачем пустих опок. Аналогічні рольганги-накопичувачі використовуються і на інших ділянках лінії: перед зборщиком, модулем заливки і інших.

В даних лініях транспортні рольганги використовуються і як охолоджуючі рольганги-накопичувачі. В них ролики змонтовані в два поверхи. По верхніх роликах переміщуються форми до дільниці вибивки, встановлені на підпочних плитах, по нижніх пусті підопічні плити направляються на дільницю заливки для підйому і прийняття зібраних форм. Верхні і нижні ролики приводяться в рух одним і тим ланцюгом від одного приводного вала. При цьому напрям руху залитих форм і пустих підопічних плит протилежний.

Ролики секцій транспортних і охолоджуючих рольгангів приводяться в рух від привідних станцій. Привідна станція рольгангу включає електродвигун, який через клиноремінну передачу приводить в рух черв'ячний редуктор. Вихідний вал останнього з'єднаний ланцюговою передачею з привідним валом рольгангу. При зупинці опоки ролики зупиняються, а зірочки провертаються в фрикційних дисках.

Як основний транспортний модуль, в залежності від умов цеху, використовуються конвеєри різного типу, привідні рольганги і рольганги з штовхачами. В ливарних лініях, які випускаються в США, характерним є використання неперервно діючих конвеєрів з регулюванням швидкості. В європейських ЛАЛ, як правило, використовуються пульсуючі конвеєри і рольганговий транспорт. Сьогодні найбільш широко використовуються привідні рольганги, (рис. 3.1) тому в подальших дослідженнях таку конструкцію приймемо за базову і стосовно неї проведемо всі необхідні аналітичні дослідження процесу зношення основних елементів рольгангу – роликів. На рис.3.1 показана декілька приводних секцій рольгангового транспорту з яких компонується модуль транспорту і накопичення ЛАЛ і який є об'єктом діагностування (ОД). МТ ЛАЛ складається з декількох привідних, або таких, що мають індивідуальний привод, секцій типу Р27 (1,2) або Р15 (3) і декількох проміжних безприводних секцій. Кожна секція МТ оснащена кінцевими вимикачами, які використовуються як давачі положення опок (5), а також обмежувачами (4).

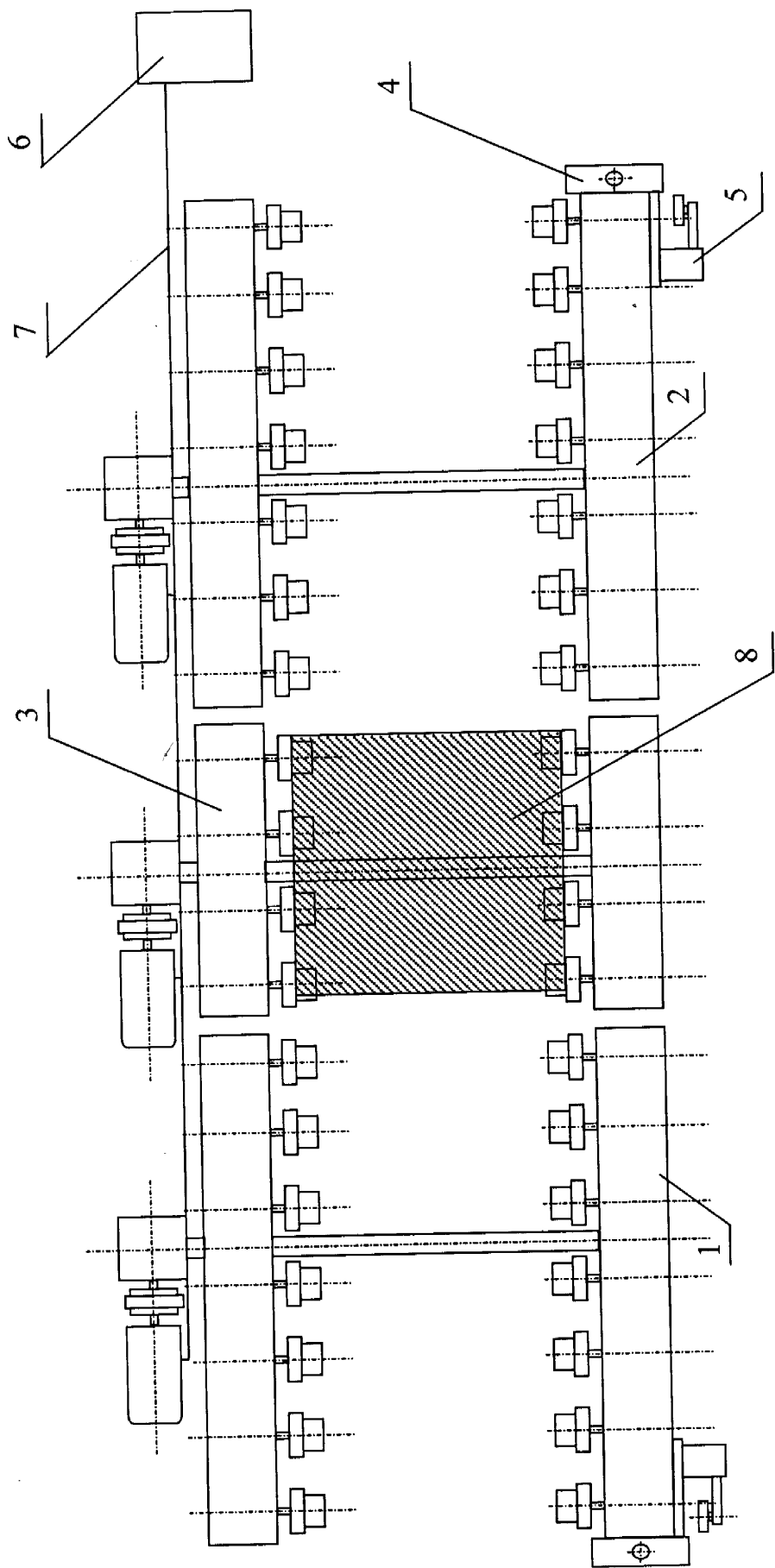


Рис. 3.1 Декілька приводних секцій рольгангового транспорту ЛАЛІ

Кожна приводна секція має свій власний двигун і відповідну трансмісію (редуктор, розподільчий вал і приводні зірочки які з'єднані з двигуном за допомогою приводного ланцюгу). Загальний контроль і керування ділянкою МТ ЛАЛ відбувається за допомогою загального пристрою керування (6). На рисунку також позначено опоку (8).

### 3.2 Величина зносу роликів як критерій оцінки працездатності рольгангового транспорту та аналіз факторів, що його обумовлюють

Рольганг (рис. 3.2) з привідними роликами довжиною  $L$  складається з  $n_p$  роликів 1 радіусом  $R$ , які зв'язані між собою проміжними зірочками 2. Обертювий момент від двигуна 3 через редуктор 4, клиноременну передачу і розподільчий вал передається на ведучий ролик і далі через зірочки і приводний ланцюг на решта роликів. Таким чином всі ролики обертаються в одному напрямку з однаковою частотою  $\omega_p$ .

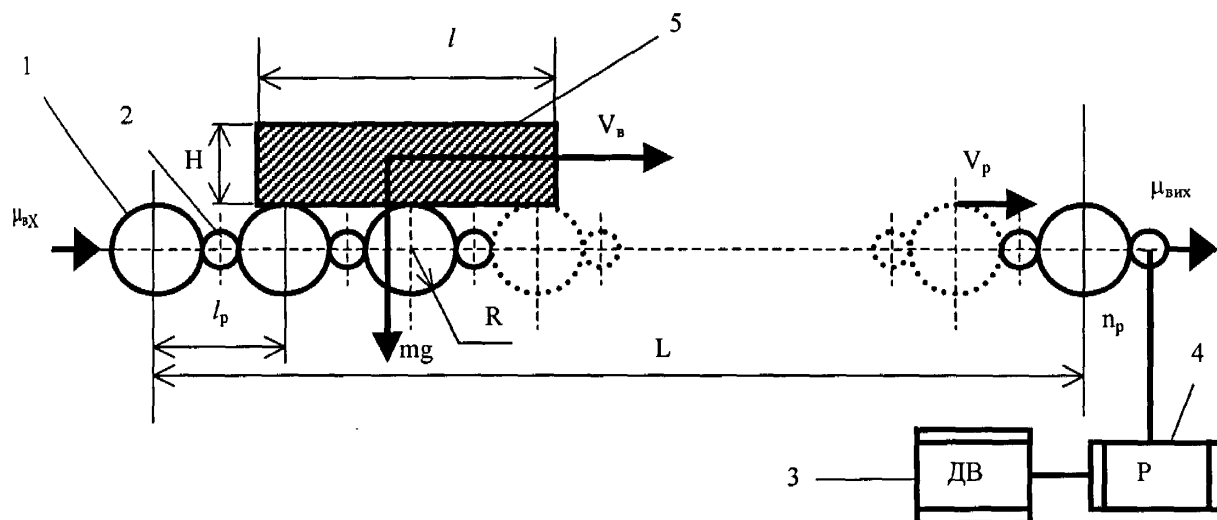


Рис.3.2 Розрахункова схема рольгангу

На вхід рольгангу з деякою інтенсивністю  $\mu_{vx}$  подаються вантажі (опоки) 5 масою  $m$ , довжиною  $l$  і висотою  $H$ . За рахунок взаємодії через сили тертя між опокою і роликами, опока переміщується по рольгангу з швидкістю  $V_v$ .

В кінці рольгангу опоки знімаються з рольгангу з деякою інтенсивністю  $\mu_{\text{вих}} \neq \mu_{\text{вх}}$ . Якщо  $\mu_{\text{вх}} > \mu_{\text{вих}}$ , то рольганг використовується не лише як транспортний засіб, а також як накопичувач.

Час переміщення опоки по рольгангу  $\tau_p$  може бути визначений за формулою.

$$\tau_p = \frac{L}{V_e} = \frac{L}{2\pi R n} \quad (3.1)$$

Під час переміщення опоки по рольгангу можливі випадкові затримки  $\tau_z$ , які збільшують час перебування опоки на рольгангу.

$$\tau = \tau_p + \tau_z \quad (3.2)$$

При експлуатації рольгангу та взаємодії опоки і роликів проходять деградаційні процеси, зокрема зносів, що призводять як до зменшення радіуса роликів та зменшення висоти опоки. Зменшення радіусу роликів приводить до зменшення швидкості переміщення опоки  $V_e$ . Оскільки мають місце багаточисельні фактори (конструктивні, технологічні, експлуатаційні, тощо), які призводять до нерівномірного зносу роликів по рольгангу, тому радіус ролика можна вважати ймовірнісною величиною, яка підлягає деякому розподілу. Збільшення робочого циклу рольгангу приводить до збільшення кількості вантажів які одночасно знаходяться на рольгангу, що в свою чергу збільшує інтенсивність відмов  $\lambda_{\text{пр}}$  по приводу рольганга (2,3,4 рис3.1).

Рух вантажу по роликах різного радіусу приводить до виникнення ударних навантажень (вібрацій) в наслідок можливих явищ "утикання" і "падіння" вантажу. При переході вантажу з ролика меншого радіуса на ролик більшого радіуса виникає явище "утикання" вантажу в ролик і навпаки при переході з більшого ролика на менший виникає явище "падіння" вантажу на ролик. Збільшення ударних навантажень приводить до збільшення інтенсивності відмов рольгангу (осі роликів, підшипників, і інш.).

Збільшення робочого циклу рольгангу впливає на збільшення робочого циклу ЛАЛ який зменшує інтенсивність поступлення вантажів на рольганг  $\mu_{вх}$ , і в кінцевому результаті впливає на інтенсивність відмов вимикачів  $\lambda_{в}$ .

Основний показник, яка визначає ефективність функціонування ЛАЛ – продуктивність, що в загальному випадку визначається за формулою [24]

$$P = K_{в} P_{ц}, \quad (3.3)$$

де  $K_{в}$  - коефіцієнт використання,

$P_{ц}$  - циклова продуктивність.

Циклова продуктивність – це кількість опок, які транспортуються рольгангом за одиницю часу

$$P_{ц} = \frac{T}{\tau}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт використання визначається за формулою

$$K_{в} = 1 - \frac{t_{np}}{T} = 1 - \frac{t_{np.прив} + t_{np.рол}}{T}, \quad (3.5)$$

де  $t_{np}$  - сумарний час простоїв з технічних причин;

$t_{np.прив}$  - сумарний час простоїв обумовлених відмовами приводу рольгангу,

$t_{np.рол}$  - сумарний час простоїв обумовлених відмовами рольгангу.

Якщо  $\lambda_{np}$  - інтенсивність відмов,  $t_{рем}$  - середній час відновлення працездатності рольгангу, то

$$t_{np} = \lambda_{np} T t_{рем}. \quad (3.6)$$

Таким чином, збільшення інтенсивності відмов зменшує значення коефіцієнта використання, а значить і зменшує продуктивність. Згідно принципу накопичення навантажень, інтенсивність відмов буде зростати пропорційно значенню накопиченого навантаження. Нехай на переміщення одного вантажу по рольгангу треба затратити роботу  $A_2$ .

$$A_2 = F_{on} L, \quad (3.7)$$

де  $F_{on}$  - сила опору переміщення вантажу.

Із зменшенням радіуса роликів відповідно зменшується швидкість пересування вантажів, а значить збільшується робочий цикл рольгангу. Кількість вантажів на рольгангу дорівнює

$$n_c = \mu_s \tau, \quad (3.8)$$

а значить робота по їх переміщенню буде дорівнювати

$$A_c = n_c A_r \quad (3.9)$$

З другого боку, якщо рольганг складається з роликів різного радіусу, то крім роботи по переміщенню вантажу вздовж рольгангу треба виконати роботу по вертикальному переміщенню вантажу при переході його з роликів меншого радіусу на ролик більшого радіусу. В одному акті вертикального переміщення ця робота складає

$$A_s^1 = \begin{cases} mg(R_{i+1} - R_i), & \text{якщо } R_{i+1} > R_i, \\ 0, & \text{якщо } R_{i+1} \leq R_i, \end{cases} \quad (3.10)$$

де  $m$ - маса вантажу,



$g$ -прискорення земного тяжіння,

$R_i, R_{i+1}$ -радіуси суміжних роликів.

Середня величина роботи по вертикальному переміщенні

$$\bar{A}_g = \frac{1}{n_g} \sum_{n_g} A^1_g = \frac{mg}{n_g} \sum_{n_g} (R_{i+1} - R_i), \quad (3.11)$$

де сумування проводиться лише для тих пар роликів у яких  $R_{i+1} > R_i$  ( $n_g$  - кількість пар роликів що задовольняють цій умові).

Таким чином, сумарна робота по переміщенню вантажу буде дорівнювати

$$A_n = n_c (A_r + \bar{A}_g). \quad (3.12)$$

Якщо інтенсивність відмов пропорційна накопиченому навантаженню, то враховуючи формули (3.1-3.12) час простоїв буде дорівнювати

$$t_{np.прив} = K_{np.прив} \sum_N \left\{ \mu_{ex} \left( \frac{L}{2\pi Rn} + \tau_3 \right) \cdot \left[ F_{on} L + \frac{mg}{n_g} \sum_{n_g} (R_{i+1} - R_i) \right] \right\} Tt_{рем}, \quad (3.13)$$

де  $K_{np}$  - коефіцієнт пропорційності.

З цієї формули видно, що час простоїв обумовлений відмовами приводу ролюгангу безпосередньо залежить від поточних значень радіусів роликів. Таким чином, враховуючи (3.13) продуктивність МТ ЛАЛІ також залежить від радіуса роликів. При русі опоки по роликах різного діаметру можливі явища "утикання" при переході з ролика меншого радіуса на ролик більшого радіуса. Дотик опоки і ролика відбувається не по дотичній до поверхні ролика, а по деякому січенні. При цьому сили, що виникають, пропорційні кількості руху опоки з роликом. Сила, що виникає при "утиканні" в одному акті пропорційна кількості руху опоки.

$$F_y^1 = K_y m V_e \quad (3.14)$$

Середнє значення сили уткання по всьому рольгангу буде

$$\bar{F}_y = K_y m \bar{V}_e = K_y m \frac{L}{2\pi R n}, \quad (3.15)$$

де  $K_y$  - коефіцієнт пропорційності.

При переході з роликів більшого радіуса на менший може виникати явище “падіння” вантажу на ролик меншого радіусу. Дане явище полягає в тому, що контакт вантажу і ролика відбувається з деякою вертикальною складовою швидкості вантажу. Сила, що виникає при одному акті “падіння” пропорційна вертикальній складовій кількості руху вантажу.

$$F_n^1 = \begin{cases} K_n m \sqrt{2g(R_i - R_{i-1})} & \text{якщо } R_i > R_{i-1}, \\ 0 & \text{якщо } R_i \leq R_{i-1}, \end{cases} \quad (3.16)$$

де  $K_n$  - коефіцієнт пропорційності

З врахуванням (3.1-3.6, 3.14-3.16) середнє значення сили падіння буде складати

$$\bar{F}_n = \frac{K_n m \sqrt{2g}}{n_e} \sum_{n_e} \sqrt{(R_i - R_{i-1})}, \quad (3.17)$$

де  $n_e$  - кількість пар роликів які задовольняють умові  $R_i > R_{i-1}$ .

Аналогічно до випадку часу простоїв обумовлених відмовами приводу (3.13), час простоїв через відмови рольгангу буде складати.

$$t_{np.rol} = K^{pol}_{np} \sum_N \left( K_y m \frac{L}{2\pi R n} + \frac{K_n m \sqrt{2g}}{n_e} \sum_{n_s} \sqrt{(R_i - R_{i-1})} \right). \quad (3.18)$$

Таким чином продуктивність рольгангу залежить від радіусу роликів, при цьому на величину продуктивності впливає не лише середній радіус  $R$ , але і розкид значень радіусів  $(R_i - R_{i+1})$ . Оскільки зношення підопічної плити відбувається при безпосередньому контакті її з роликами, то величина її зносу буде пропорційна величині зносу ролика

$$\Delta H = k_o \Delta \bar{R} \quad (3.19)$$

При досягненні критичного значення величини зносу підопічної плити зростає кількість дефектних опок за рахунок таких явищ як "підрив" і "непробій", що в свою чергу зменшує продуктивність всієї ЛАЛ.

### 3.3 Розробка узагальненої математичної моделі процесу зношення роликів рольгангу і підопічної плити

З метою теоретичного обґрунтування вибору середнього діаметра ролика рольгангу за діагностичну ознаку стану модуля транспорту ЛАЛ необхідно дослідити закономірності зносу роликів.

Вище було відмічено, що зменшення геометричних розмірів привідних роликів рольгангу зумовлено їх механічною взаємодією з підопічною плитою. Таким чином в основі явища зносу лежать фізичні процеси тертя. Тертя і, відповідно, величина зносу роликів рольгангу залежить від багатьох факторів [77].

В загальному випадку процес зношення визначається наступними характеристиками взаємодії пари тертя (підопічна плита, ролик):

- станом контактуючих поверхонь;
- навантаженням;

- характером взаємних переміщень (швидкістю, амплітудою переміщень, тощо).

Стан контактуючих поверхонь є важливою характеристикою, яка визначає розвиток процесу зношення. Результати багаторічних досліджень показують, що зусилля взаємодії спряжених поверхонь і швидкість відносного їх переміщення є головними серед відмічених вище факторів. Розподіл зусилля взаємодії спряжених поверхонь може мати різний характер. На їх розподіл впливає характер навантаження (постійна або змінна) та відносні швидкості ковзання різних точок поверхонь які взаємодіють.

Наступним фактором є характер їх взаємних переміщень, які разом з навантаженням визначають динаміку процесу зношення. Відносне переміщення даної пари може бути з тертям ковзання і з тертям кочення, а також з проковзуванням.

В залежності від фізичних процесів, які відбуваються при зношенні, розрізняють наступні види зносу [30]: механічний (абразивний, гідроабразивний, газоабразивний, корозійний і механічний тощо). Зношення є одною із основних причин поступових відмов. Статистичні дані показують, що в ряді галузей машинобудування відмови обумовлені процесом зношення поверхонь сягають 50—80 % всіх відмов які виникають в процесі експлуатації машин [24,27,77]. При експлуатації МТ ЛАЛ в результаті процесу зношення відбувається знос матеріалу як ролика так і підопірної плити. Стосовно взаємодії роликів рольгангу і підопірної плити будемо розглядати тертя кочення при якому їх швидкості в точках дотику однакові за величиною і напрямком. Тертя руху, при якому швидкості пари “ролик – підопірна плита” в точці дотику різні за величиною і напрямком, приймаємо за тертя ковзання.

В випадку МТ ЛАЛ основним фактором, який визначає характер зношення є відносна швидкість переміщення пари ролик-підопірна плита.

В загальному сила тертя визначається за формулою

$$F_{mp} = kP = kmg, \quad (3.20)$$

де  $k$  - коефіцієнт пропорційності (коефіцієнтом тертя);

$P$  - вага вантажу,  $P = mg$ ;

Як було зазначено вище сила тертя, в основному, залежать від відносної швидкості переміщення елементів тертя, тому формулу (3.20) можна подати у вигляді

$$F_{тр} = k(\delta)mg, \quad (3.21)$$

де  $\delta$  - відносна швидкість переміщення пари тертя

$$\delta = \frac{V_p - V_s}{V_p},$$

$V_p$  - лінійна швидкість обертання поверхні ролика;

$V_s$  - лінійна швидкість опоки.

За нормуючий множник при визначенні відносної швидкості переміщення вибираємо  $V_p$  так як швидкість  $V$  за звичай є меншою швидкості  $V_p$  або частоти обертання ролика  $\omega_p$ . Як правило розглядаються два значення коефіцієнта тертя  $k$  – для тертя кочення і тертя ковзання, які є граничними випадками  $k(\delta)$ .

$$k(\delta) = \begin{cases} k_{коч} & \text{якщо } V_p = V_s, \text{ або } \delta = 0; \\ k_{ков} & \text{якщо } V_s = 0, \text{ або } \delta = 1. \end{cases} \quad (3.22)$$

В першому наближенні залежність  $k(\delta)$  можна представити у вигляді лінійної моделі (рис.3.4).

$$k = k_{коч} + (k_{ков} - k_{коч}) \left( \frac{V_p - V_s}{V_p} \right). \quad (3.23)$$

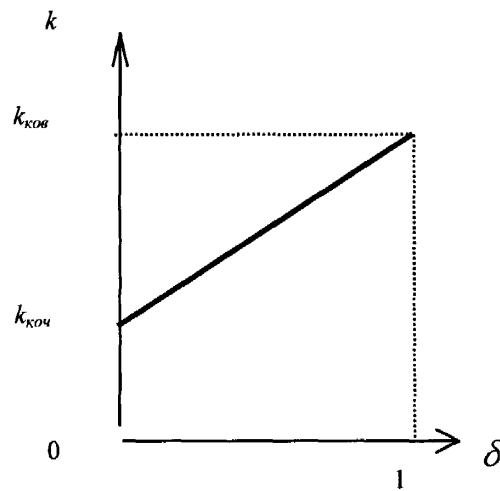


Рис.3.4 Залежність коефіцієнта тертя  $k$  від відносної швидкості  $\delta$ .

Під час руху опоки по рольгангу відбувається взаємне зношення опоки і оликів рольгангу зумовлене взаємодією останніх через сили тертя. Об'єм матеріалу носу ролика за час  $t$  пропорційний роботі сил тертя.

$$W_T^p = K_p^p \cdot A, \quad (3.24)$$

де  $W_T^p$  - об'єм матеріалу зносу ролика;

$K_p^p$  - коефіцієнт руйнування (зношення) матеріалу ролика;

$A$  - робота сил тертя.

В свою чергу робота сил тертя дорівнює:

$$A = F_{тр} l_{вз}, \quad (3.25)$$

де  $F_{тр}$  - сили тертя;

$l_{вз}$  - загальний шлях взаємодії ролика і опоки.

$$l_{вз} = V_p t, \quad (3.26)$$

Виходячи з (3.21) і враховуючи, що сила тертя дорівнює

$$F_{mp} = \frac{mg}{n_p} \cdot k = \frac{mg}{n_p} \left[ k_{ков} + K \left( \frac{V_p - V_6}{V_p} \right) \right], \quad (3.27)$$

де  $n_p$  - кількість роликів одночасно контактуючих з опокою;

$$K = k_{ков} - k_{коч},$$

а також (3.24, 3.25), отримаємо об'єм матеріалу зносу ролика за час  $\Delta t$ :

$$\Delta W_T^p = K_p^p \frac{mg}{n_p} [V_p k_{ков} - V_6 K] \cdot \Delta t. \quad (3.28)$$

З розрахункової схеми, пояснюючої процес зносу роликів і підпочної плити (рис. 3.5) видно, що

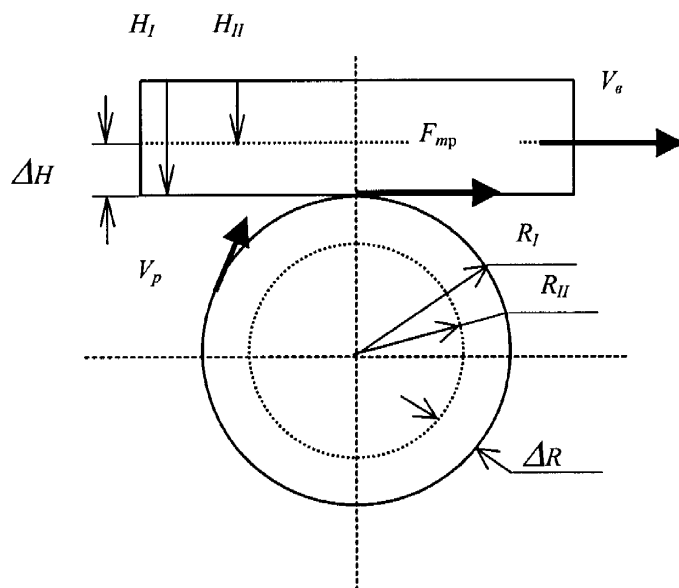


Рис. 3.5 Розрахункова схема процесу зношення роликів і підпочної плити.

Площа поперечного січення ролика в момент часу (t) складає

$$S_I = \pi R_I^2. \quad (3.29)$$

В наслідок зносу, через довільний проміжок  $t + \Delta t$  радіус ролика становитиме

$$R_{II} = R_I - \Delta R \quad (3.30)$$

і, відповідно, площу поперечного січення визначаємо як

$$S_{II} = \pi R_{II}^2 = \pi (R_I - \Delta R)^2. \quad (3.31)$$

Таким чином об'єм матеріалу зносу роликів і підпочної плити за  $\Delta t$  буде порівнювати.

$$\Delta W_T^p = (S_I - S_{II})h = \pi h (2R_I \Delta R - \Delta R^2). \quad (3.32)$$

Порівнявши (3.28) і (3.29) і переходячи до диференціалів отримаємо основне рівняння зношення роликів.

$$K_p^p \frac{mg}{n_p} [V_p k_{\text{ков}} - V_a K] dt = 2\pi h R dR,$$

або

$$\frac{dR}{dt} = -K_p^p \frac{mg}{2\pi R n_p h} [V_p k_{\text{ков}} - V_a K]. \quad (3.33)$$

Знак мінус (-) обумовлений зменшенням радіуса ролика  $R$  внаслідок процесу зношення.

Враховуючи, що лінійна швидкість обертання поверхні ролика дорівнює:

$$V_p = 2\pi R n,$$



де  $n$  - частота обертання роликів, отримаємо

$$\frac{dR}{dt} = -K_p^p \frac{mgn}{n_p h} \left[ k_{\text{ков}} - \frac{V_g}{V_p} K \right], \quad R(0) = R_0, \quad V_g(0) = V_{g0}. \quad (3.34)$$

Аналіз рівняння (3.34) показує, що:

інтенсивність зносу залежить від характеру переміщення опоки по рольгангу;

швидкість зносу залежить від поточного значення радіусу ролика. Чим більший радіус ролика, тим більша швидкість його зносу і навпаки - чим менший радіус ролика тим менша швидкість його зносу.

чисельно значення швидкості зношення визначається комплексним коефіцієнтом  $K_p^p$ , який відображає вид зносу і залежить від ряду факторів абразивних (наявність домішок, тип матеріалу ролика, вага вантажу, конструктивні особливості роликів та плити і інші.)

Вивід рівняння процесу зношення підопічної плити проводиться аналогічно рівнянню зносу роликів.

Формула (3.24) набуде наступного вигляду

$$W_T^o = K_p^o \cdot A \cdot h, \quad (3.35)$$

де  $K_p^o$  - коефіцієнт зношення матеріалу опоки, характер якого аналогічний  $K_p^p$ .

Формула (3.26) набуде вигляду

$$l = V_g t. \quad (3.36)$$

Тоді об'єм матеріалу зносу опоки за час  $\Delta t$  буде

$$\Delta W_T^o = K_p^o \frac{mg}{n_p} \left[ V_a k_{\text{ков}} - \frac{V_a^2}{V_p} K \right] \cdot \Delta t. \quad (3.37)$$

Виходячи з розрахункової схеми (рис. 3.5) об'єм матеріалу зносу опоки становить

$$\Delta W_T^o = l_{on} \cdot h \cdot \Delta H, \quad (3.38)$$

де:  $l_{on}$  – довжина опоки;

$\Delta H$  – зменшення висоти опоки внаслідок зносу.

Порівнявши (3.35) і (3.36) отримаємо:

$$K_p^o \frac{mg}{n_p} \left[ V_a k_{\text{ков}} - \frac{V_a^2}{V_p} K \right] \cdot dt = l_{on} h dH,$$

або

$$\frac{dH}{dt} = -K_p^o \frac{mg}{n_p l_{on} h} \left[ V_a k_{\text{ков}} - \frac{V_a^2}{V_p} K \right]. \quad (3.39)$$

Визначимо взаємозв'язок зносу опоки і ролика, для цього розподілимо (3.39) на (3.34) і в результаті отримаємо:

$$\frac{dH}{dR} = \frac{K_p^o}{K_p^p l_{on} n} V_a^2. \quad (3.40)$$

### 3.3.1 Математична модель руху опоки по рольгангу

З основного рівняння процесу зношення роликів (3.34) витікає, що основним фактором впливу є відношення швидкостей переміщення вантажу до лінійної швидкості обертання поверхні ролика. Враховуючи, що кутова швидкість обертання ролика є сталою при визначенні величини зносу роликів необхідно знати закономірності переміщення вантажу. Останні є предметом дослідження.

Опока рухається по рольгангу внаслідок її взаємодії з роликами через сили тертя. Вважаємо, що при вільному русі опоки (опока взаємодіє лише з роликами) швидкість вантажу рівна швидкості обертання роликів, тобто  $\delta=0$  ( $V_p=V_a$ ).

Внаслідок першого закону Ньютона

$$F_{mp} = F_o = k_{\text{коч}} mg. \quad (3.41)$$

1. Розглянемо рух опоки по роликах однакового діаметру. Нехтуючи зміною навантаження на поверхню ролика внаслідок зміни положення центру мас опоки і точки дотику ролика і опоки в силу другого закону Ньютона (3.41) та враховуючи (3.34), диференціальне рівняння руху опоки можна записати у вигляді :
- 2.

$$m \frac{d^2 x}{d^2 t} = F_{mp} - F_o = mg \left( k_{\text{коч}} + K \frac{V_p - V_a}{V_p} \right) - mgk_{\text{коч}}. \quad (3.42)$$

Після елементарних перетворень враховуючи, що  $V_a = \frac{dx}{dt}$

отримаємо:

$$m \frac{d^2 x}{d^2 t} = gK \left( 1 - \frac{1}{V_p} \frac{dx}{dt} \right). \quad (3.43)$$

Початковими умовами для цього рівняння будуть:

$$\frac{dx}{dt}(0) = V_0, \quad x(0) = 0, \quad (3.44)$$

де  $V_0$ —початкова швидкість опоки.

Розв'язком рівняння (3.43) буде :

$$x(t) = V_p t + \frac{V_p (V_p - V_0)}{Kg} \left( 1 - e^{-\frac{Kgt}{V_p}} \right). \quad (3.45)$$

Звідки швидкість опоки

$$V_s = \frac{d}{dt} x(t) = V_p - (V_p - V_0) e^{-\frac{Kgt}{V_p}}. \quad (3.46)$$

3. Розглянемо рух вантажу по роликах різного діаметру. Рівняння руху вантажу буде:

4.

$$m \frac{d^2 x}{d^2 t} = \sum_{i=1}^{n_p} (F_{mp_i} - F_{0_i}), \quad (3.47)$$

де  $F_{mp}$ ,  $F_{0i}$ —сили тертя і сили опору для  $i$ -го ролика.

При русі опоки по роликах різного діаметру вважаємо, що опока абсолютно жорстка і в будь-який момент часу вона буде контактувати лише з двома роликами. Тому надалі будемо розглядати лише два ролика  $n_p=2$ , в зв'язку з чим рівняння (3.47) можна подати у вигляді

$$m \frac{d^2 x}{d^2 t} = gK \left( \frac{V_{p_1} - V_s}{V} + \frac{V_{p_2} - V_s}{V} \right), \quad (3.48)$$

де  $V_{p1}, V_{p2}$ —лінійні швидкості обертання першого і другого ролика відповідно;  
 $V$ —нормуючий множник  $V = \max(V_{p1}, V_{p2})$ .

Після перетворень отримаємо диференціальне рівняння руху опоки у вигляді

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = Kg \left( \frac{V_{p1} + V_{p2}}{V} - \frac{2}{V} \frac{dx}{dt} \right), \quad (3.49)$$

з граничними умовами  $\frac{dx}{dt}(0) = V_0, x(0) = 0$

Розв'язком рівняння (3.49) буде

$$x(t) = \left( \frac{V_{p1} + V_{p2}}{V} \right) \cdot t - \frac{V \cdot (V_{p1} + V_{p2} - 2V_0)}{4kg} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{2kg t}{V}} \right). \quad (3.50)$$

Звідки швидкість руху опоки по роликах різного діаметру буде

$$V_s = \frac{V_{p1} + V_{p2}}{2} - \frac{V_{p1} + V_{p2} - 2V_0}{2} e^{-\frac{2kg t}{V}}. \quad (3.51)$$

### 3.3.2 Аналіз узагальної моделі процесу зношення роликів рольгангу

При аналізі моделі розглянемо наступні випадки, які мають місце при експлуатації модуля транспорту ЛАЛ:

1. **Рух вантажу без ковзання**, тобто  $V_s = V_p$ . При цьому основне рівняння (3.34) набуде наступного вигляду:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{K_p^p mgn}{n_p h} K_{\text{коч}}; \quad R(0) = R_0, \quad (3.52)$$

а розв'язком цього диференціального рівняння буде функція:

$$R = R_0 - \frac{K_p^p mgn}{n_p h} K_{ков} t. \quad (3.53)$$

2. **Зупинка вантажу на рольгангу.** У випадку вимушеної зупинки вантажу на рольгангу  $V_B=0$ , і отримаємо диференціальне рівняння процесу зношення роликів набуде вигляду:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{K_p^p mgn}{n_p h} K_{ков}; \quad R(0)=R_0, \quad (3.54)$$

а його розв'язком буде функція:

$$R = R_0 - \frac{K_p^p mgn}{n_p h} K_{ков} t. \quad (3.55)$$

3. **Рух вантажу по рольгангу зі сталою швидкістю.** Припустимо, що вантаж рухається відносно рольгангу з деякою сталою швидкістю  $V_s$ . При цьому рівняння (3.34) набуде вигляду:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{K_p^p mgn}{n_p h} \cdot \left[ K_{ков} - \frac{V_s}{2\pi R n} \cdot K \right], \quad R(0)=R_0, \quad (3.56)$$

а його розв'язком буде співвідношення

$$\frac{R_0 - R}{K_{ков}} + \frac{V_s \cdot K \cdot \ln \left( \frac{V_s \cdot K - 2K_{ков} \pi n R_0}{V_s \cdot K - 2K_{ков} \pi n R} \right)}{2\pi n \cdot K_{ков}^2} = -\frac{K_p^p mgn}{n_p h} K \cdot t. \quad (3.57)$$

Значення величини радіуса ролика можна визначити за формулою:

$$R = \frac{n_p \cdot V_a \cdot K \cdot \ln \left( V_a \cdot K \cdot W(x) \cdot \left( \frac{e^{-\frac{z}{n_p \cdot V_a \cdot K}}}{n_p \cdot V_a \cdot K} \right) \right) + z}{2\pi n \cdot n_p \cdot K_{\text{ков}}}, \quad (3.58)$$

$$\text{де } z = 2\pi K_p m g n^2 K_{\text{ков}}^2 - n_p \cdot V_a \cdot K \cdot \left( 1 + \ln(2\pi n K_{\text{ков}} \cdot R_0 - V_a \cdot K) \cdot e^{-\frac{2\pi n K_{\text{ков}} \cdot R_0 - V_a \cdot K}{V_a \cdot K}} \right),$$

$W(x)$  — функція Ламберта, що визначається як  $W(x) \cdot e^{W(x)} = x$ .

Розв'язок рівняння зносу роликів може бути представлений як розклад в ряд по ступеням  $t$  у вигляді

$$R(t) = R_0 + \sum_{i=1}^5 a_i \cdot t^i, \quad (3.59)$$

де  $a_i$  — коефіцієнти розкладу в ряд:

$$a_1 = x_1 \left( \frac{1}{2} - Z \right).$$

$$a_2 = x_2 \left( -\frac{1}{8} + \frac{1}{4} Z \right).$$

$$a_3 = x_3 \left( \frac{1}{16} - \frac{5}{24} Z + \frac{1}{16} Z^2 \right).$$

$$a_4 = x_4 \left( -\frac{5}{128} + \frac{32}{192} Z - \frac{13}{48} Z^2 + \frac{1}{8} Z^3 \right).$$

$$a_5 = x_5 \left( \frac{7}{256} - \frac{21}{128} Z + \frac{17}{48} Z^2 - \frac{77}{240} Z^3 + \frac{1}{10} Z^4 \right).$$

$$X_i = \left( K_p \frac{mgnV_a K}{n_p \pi h} \right)^i \frac{1}{R_0^{2i-1}}.$$

$$z = \frac{\pi \cdot R_0 \cdot n \cdot K_{ков}}{V_B \cdot K}.$$

4. Рух вантажу по рольгангу з прискоренням. Основне рівняння зношення:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{K_p mgn}{n_p h} \cdot \left[ K_{ko} - \left( 1 - \left( 1 - \frac{V_0}{2\pi Rn} \right) \right) \cdot K \cdot e^{-\frac{K_{ko} - gt}{2\pi Rn}} \right], R(0) = R_0. \quad (3.60)$$

Це рівняння в загальному випадку може бути розв'язано чисельними методами, або через розкладання в степеневий ряд. Розклад в ряд розв'язок рівняння (3.60) наведено у додатку А. Рівняння (3.60) для випадку швидкісних рольгангів, тобто коли тривалість перехідного періоду (множник з експонентою в формулі (3.60) менший ніж період обертання ролика  $\frac{1}{n}$ ) може бути спрощено, так як в цьому

випадку  $V_p = 2nRn = const$  Тоді

$$V_a(t) = V_p - (1 - e^{-\frac{Kgt}{V_p}}), \quad (3.61)$$

де  $V_p = 2nR_0n = const$ .

Звідки, виконавши операції перетворення, аналогічні до попередніх, отримаємо диференціальне рівняння зносу у вигляді

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{K_p mgn}{hn_p} \left( K_{ков} + Ke^{-\frac{Kgt}{2nnR_0}} \right). \quad (3.62)$$

При таких самих початкових умовах розв'язком цього рівняння буде



$$R(t) = R_0 - MK_{\text{коч}} t - \frac{2\pi R_0 M}{g} \left( 1 - e^{-\frac{Kgt}{2mR_0}} \right), \quad (3.63)$$

$$\text{де } M = \frac{K_p m g n}{n_p h}.$$

Аналіз вищенаведеного показує, що під час роботи рольгангу основним процесом зношення роликів є зношення внаслідок ковзання, яке зумовлено різницею в розмірах (радіусах) будь-яких суміжних роликів, так як швидкість пересування опоки ніколи не дорівнює лінійній швидкості обертання поверхні ролика (3.51). Серед причин, які зумовлюють різницю в діаметрах роликів слід відмітити наступні ( в порядку їх значимості):

- варіація початкових розмірів діаметрів роликів, обумовлена недосконалістю технологічного процесу їх виготовлення;
- зношення роликів під час нормальної експлуатації модуля транспорту. Так, при переході опоки на наступний ролик попередній вже знаходився деякий час в контакті з опокою, внаслідок чого його радіус вже зменшився;
- зношення роликів під час прискорення руху опоки, який відбувся після її тимчасової затримки на працюючому рольгангу ;
- подача опоки на рольганг, або її зняття з рольгангу, зі швидкістю, яка не відповідає швидкості обертання роликів.

### 3.4 Математична модель інтенсивності відмов рольгангового транспорту

В розділі 2.3 було показано, що інтенсивність відмов рольгангового транспорту суттєво впливає на продуктивність як окремого модуля транспорту, так і цільової лінії в цілому, тому при розробці методу контролю працездатності ЛАЛ необхідно знати закономірності їх виникнення, що вимагає розробки моделі інтенсивності відмов модуля транспорту.

Як і будь-яку складну систему МТ можна представити у вигляді двох функціональних підсистем – привід МТ і, безпосередньо, рольганг, що складаються з окремих елементів. Так привід МТ містить: двигун, редуктор, трансмісію, передаточні зірочки, а рольганг – ролики, їх осі, підшипники та фрикціони.

Відповідно до цього поділу математична модель інтенсивності відмов буде складатися з двох частин: моделі інтенсивності відмов "привода" і моделі інтенсивності відмов "рольганга".

Модуль транспорту можна віднести до нестационарної системи, характеристики якої повільно змінюються в часі. У зв'язку з чим за аргумент математичної моделі інтенсивності відмов приймемо накопичене навантаження на рольганг  $\Phi$ .

Модель інтенсивності відмов має вигляд:

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_H \text{ якщо } \phi \leq \phi_B; \\ \lambda_H + \Delta\lambda(\phi - \phi_B), \text{ якщо } \phi > \phi_B, \end{cases} \quad (3.64)$$

де  $\lambda_H$  – інтенсивність відмов під час нормальної експлуатації,

$\Delta\lambda$  - декремент зростання інтенсивності відмов,

$\phi_B$  – накопичене навантаження на рольганг при перевищенні якого починається процес старіння рольгангового транспорту, як технічної системи. В графічній формі математична модель (3.64) показана на рис 3.18 а.

Якщо розглядати цю модель в координатах часу, то вона переходить в загально відому модель інтенсивності відмов (рис 3.6 б) [67], де  $t_B$  – час старіння.

Відповідно до моделі (3.64) функція щільності розподілу відмов буде:

$$f(\phi) = \begin{cases} \lambda_H e^{-\lambda_H \phi} \text{ якщо } \phi \leq \phi_B; \\ [\lambda_H + \Delta\lambda(\phi - \phi_B)] e^{-[\lambda_H \phi + \Delta\lambda \frac{(\phi - \phi_B)^2}{2}]}, \text{ якщо } \phi > \phi_B \end{cases} \quad (3.65)$$

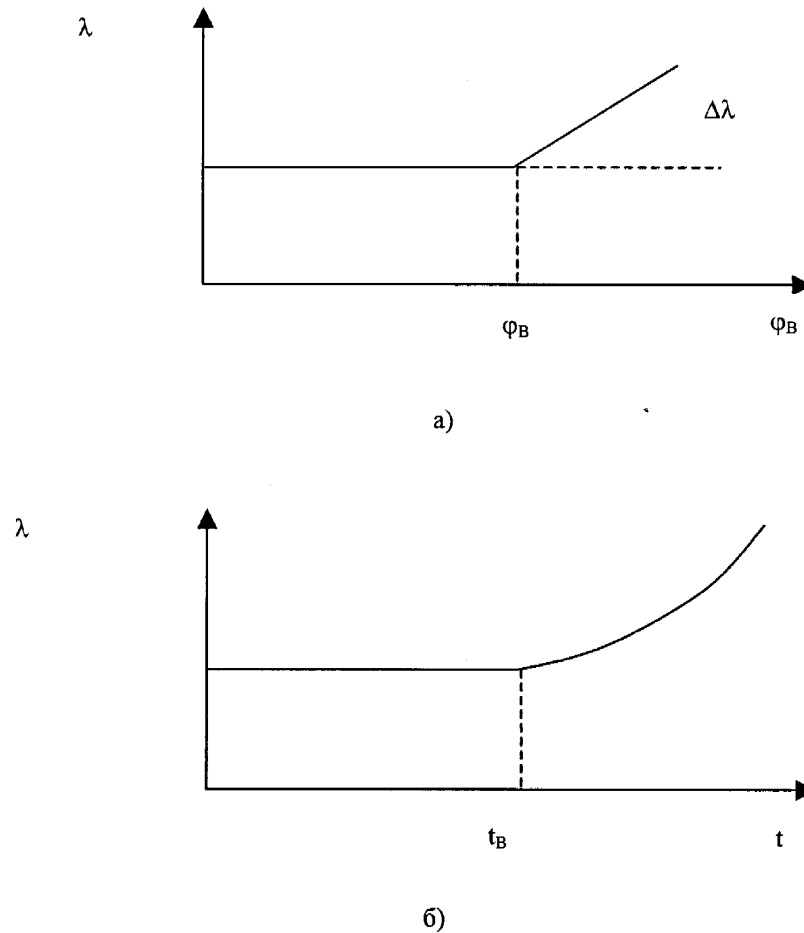


Рис. 3.6 Графічне представлення моделі інтенсивності відмов рольгангового транспорту: а) – в координатах накопленого навантаження, б) – в координатах часу.

Інтегральна функція розподілу відмов (напрацювання на відмову) буде

$$F(\phi) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda_H \phi} & \text{якщо } \phi \leq \phi_B; \\ 1 - e^{-[\lambda_H \phi + \Delta\lambda \frac{(\phi - \phi_B)^2}{2}]} & \text{якщо } \phi > \phi_B \end{cases} \quad (3.66)$$

Енергія, яка споживається приводом рольгангу відповідає роботі по переміщенню опок по рольгангу і визначає навантаження на рольганг. Робота по переміщенню опок по рольгангу складається з двох складових: роботи по переміщенню опок в горизонтальному напрямку  $A_2$  і роботи по вертикальному переміщенню опок ввєрх при русі опок по роликєх різного дієаметру  $A_0$ .

Розглянемо переміщення опоки по двох роликах. Згідно формули (3.51) швидкість переміщення опоки складає

$$V_{\sigma} = \frac{V_{p_1} + V_{p_{2+1}}}{2} = 2\pi n \left( \frac{R_i - R_{i+1}}{2} \right), \quad (3.67)$$

де  $V_{\sigma}$ - швидкість вантажу;

$V_{p_1}, V_{p_2}$ ,-швидкість першого і другого роликів.

Нехай  $Z_i = R_i - R_{i+1}$  - величина різниці радіусів суміжних роликів. Тоді

$$\frac{R_i + R_{i+1}}{2} = R_{i+1} + \frac{Z_i}{2}.$$

Сила опору переміщенню опоки по роликах різного діаметру згідно (3.27) та враховуючи, що  $\delta = \frac{V_B}{V_P}$ , буде

$$F_{on} = K_{ков} + K \cdot \delta = K_{ков} + K \left( 1 - \frac{Z}{2R} \right). \quad (3.68)$$

Робота по горизонтальному переміщенню опоки для однієї пари роликів буде

$$A_r^1 = F_{on} \cdot l_p, \quad (3.69)$$

де  $l_p$  - крок встановлення роликів.

Оскільки величина  $R$  є випадковою (в силу попередніх висновків), то робота переміщення опоки по суміжних роликах буде.

$$\bar{A}_r^1 = \int_0^{\infty} f(z) \left( K_{ков} + K \left( 1 - \frac{Z}{2R} \right) \right) \cdot l_p \cdot dz = \frac{Sl_p}{2} \left( K_{ков} + K \left( 1 - \frac{1}{R\sqrt{\pi}} \right) \right), \quad (3.70)$$

де  $f(z)$  - функція розподілу різниці радіусів роликів.

Інтегрування проводиться для додатніх значень різниці радіусів роликів.

Функція розподілу різниць радіусів роликів має вигляд

$$f(z) = \frac{S}{2\sqrt{\pi}} e^{-\frac{1}{4z^2}}, \quad (3.71)$$

де  $S$  - середньоквадратичне відхилення функції розподілу радіусів роликів.

Ця формула отримана для умови нормального розподілу радіусів роликів. Нормальний закон розподілу радіусів роликів був підтверджений в результаті імітаційного експерименту (розділ 3.6). Функція розподілу різниці радіусів роликів має наступні параметри:

математичне очікування  $M[z]=0$ ,

середньоквадратичне відхилення  $S[z]=2S$ .

Робота по вертикальному переміщенню опоки при переході з ролика меншого радіуса на ролик більшого радіуса дорівнює

$$\bar{A}_B^1 = mg(R_i - R_{i-1}) = mgz \quad (3.72)$$

Звідки середня робота вертикального переміщення

$$\bar{A}_B^1 = mg \int_0^{\infty} f(z)zdz = \frac{mgS}{\sqrt{\pi}} \quad (3.73)$$

Таким чином, робота по переміщенню опоки по двом роликам різного діаметру складає

$$A^1 = A_G^1 + A_B^1 = \frac{SL_p}{2} \left[ K_{\text{ков}} + K \left( 1 - \frac{1}{R\sqrt{\pi}} \right) \right] + \frac{mgS}{\sqrt{\pi}}. \quad (3.74)$$

Вважаючи, що серед пар роликів половина їх задовольняє умові  $R_i > R_{i+1}$ , робота по переміщенню опоки буде дорівнювати

$$A_1 = \frac{n_p - 1}{2} \cdot A^1. \quad (3.75)$$

В деякий момент часу на рольгангу знаходиться  $n_c$  опок. Таким чином, сумарне навантаження за 1 робочий цикл на привод рольгангу дорівнює сумарній роботі по переміщенню опок які знаходяться на рольгангу.

$$A = \frac{n_p - 1}{2} \cdot n_c A_1. \quad (3.76)$$

Навантаження на рольганг, які виникають при розглянутих в розділі 1.1 явищах "утикання" і "падіння", мають ударний характер. Враховуючи періодичності навантажень, що зумовлені проходженням нових опок, вібраційні сили, що виникають при "утиканні" опоки в ролик пропорційні зміні кількості руху опоки при "утиканні".

$$F_y = k\Delta P = kmV_B.$$

Середня сила "утикання" враховуючи, що  $\bar{V} = \frac{L}{\tau_p}$  і  $\bar{V} = \frac{1}{2\pi \cdot n \cdot R}$ ,

$$\bar{F}_y = \frac{kmL}{2\pi \cdot n \cdot R}. \quad (3.77)$$

Якщо всі ролики рольгангу  $n_p$  мають різний розмір то явище "утикання" буде з'являтися  $\frac{n_i}{2}$  для однієї опоки за один робочий цикл. Враховуючи, що кількість

опок на рольгангу складає  $n_c$  (3.92) то навантаження на рольганг при "утиканні" буде складати

$$F_y = \frac{n_p \cdot n_c}{2} \cdot \bar{F}_y. \quad (3.78)$$

Середнє значення сили  $\bar{F}_n$ , що виникає при «падінні» пропорційне різниці потенційних енергій пов'язаних з радіусами роликів. Таким чином:

$$\bar{F}_n = k_n \frac{m \cdot g \cdot S(R)}{\sqrt{\pi}}, \quad (3.79)$$

де  $k_n$  - коефіцієнт пропорційності.

Аналогічно до "утикання" при явищі "падіння" навантаження на рольганг буде складати

$$F_n = \frac{n_p \cdot n_c}{2} \cdot \bar{F}_n \quad (3.80)$$

Таким чином, сумарне навантаження на рольганг рівне

$$F = \frac{n_p \cdot n_c}{2} (\bar{F}_y + \bar{F}_n). \quad (3.81)$$

і залежить від дисперсії радіусів роликів.

Згідно принципу накопичення навантажень інтенсивність відмов по приводу  $\lambda_p$  і рольгангу  $\lambda_r$  пропорційна відповідним накопиченим навантаженням:

$$\left. \begin{aligned} \phi_{np} &= \int_0^L A dt = \sum_{i=1}^{N_y} A \\ \phi_p &= \int_0^L F dt = \sum_{i=1}^{N_y} F \end{aligned} \right\}, \quad (3.82)$$

де  $N_y$  – кількість вироблених відливок на даний момент часу.

### 3.5 Імітаційне моделювання процесу зношення роликів рольгангу

Для визначення закономірностей зносу роликів рольгангу на основі вищевказаних математичних моделей руху опоки по рольгангу і зношення роликів були проведені імітаційні експерименти з використанням ЕОМ.

Існують два процеси, які зумовлюють зношення роликів рольгангу: перший - зношення роликів під час прискорення опоки після її випадкової затримки на рольгангу і другий - зношення під час нормальної роботи рольгангу. Відповідно до вищевказаних процесів були проведені два окремих експеримента.

#### 3.5.1 Зношення роликів рольгангу внаслідок затримок опок.

Основною метою в даному експерименті було поставлено задачу дослідження зміни функції розподілу розмірів роликів рольгангу внаслідок випадкових затримок опок на рольгангу. Після затримки опока починає рухатися з прискоренням внаслідок чого відбувається посилене зношення роликів, що знаходяться під опокою (3.60). Досліджувалися зміни середнього радіуса роликів і дисперсії функції розподілу значень радіусів, а також можливі зміни самої функції розподілу.

В основу імітаційного експерименту було покладено наступні положення:

- під час роботи рольгангу відбуваються тимчасові випадкові затримки інтенсивність яких в часі є величиною сталою;
- місце затримки опоки на рольгангу є рівноімовірним по всій його довжині;
- зношення роликів не залежить від часу затримки.



За фактори, що обумовлюють можливі зміни функції розподілу радіусів роликів прийнято наступні:  $\delta R$  - зменшення радіуса в одному акті зупинка-прискорення (3.30);  $\varphi$  - інтенсивність зупинок.

Приймалися такі рівні варіювання факторів:

$$\delta R = (0,000001; 0,000004; 0,000008);$$

$$\varphi = (0,1; 0,3; 0,7);$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta t} = (5 \cdot 10^{-9}; 5 \cdot 10^{-8}; 5 \cdot 10^{-7}).$$

Імітаційний експеримент проводився за наступною схемою. На початку експерименту радіуси всіх роликів (для забезпечення вірогідності імітаційного моделювання кількість роликів приймалося рівним  $n=100$ ) встановлювалися однаковими. Далі проводилася імітація робочих циклів згідно вищенаведених положень. При цьому вважалося, що під час одного робочого циклу відбувалася одна зупинка опоки. Кількість імітацій приймалося рівною  $N_i = 100000$ .

Динаміка зміни середнього радіуса. Аналіз результатів експерименту показав, що середній радіус ролика в залежності від кількості зупинок  $n$ , змінюється лінійно:

$$\frac{\bar{R}}{R_0} = 1 - b_{cp} \cdot n, \quad (3.83)$$

Значення коефіцієнта  $b_{cp}$  отримані з експерименту а значення коефіцієнту кореляції для моделі (3.83) наведені в таблиці 3.1 Як видно з таблиці 3.8 модель (3.83) адекватно відображає зміну середнього радіуса ролика в залежності від кількості затримок опок. На рис. 3.7 показані результати імітаційного експерименту.

Номери на рис. 3.7 відповідають реалізаціям імітаційного експерименту (рядкам таблиці 3.1).

## Результати імітаційного моделювання зміни середнього радіуса

Номер експерименту	$\delta R \cdot 10^{-5}$	$\varphi$	$b_{cp} \cdot 10^{-9}$	Коеф. кореляції
1	0,01	0,7	-6,96	-0,9999
2	0,4	0,7	-275,37	-0,9999
3	0,8	0,7	-2,91	-0,9999
4	0,1	0,3	-119,61	-0,9998
5	0,4	0,3	-236,56	-0,9999
6	0,8	0,3	-1,001	-0,9999
7	0,01	0,1	-40,10	-0,9997
8	0,4	0,1	-78,92	-0,9998
9	0,8	0,1	-58,94	-0,9993

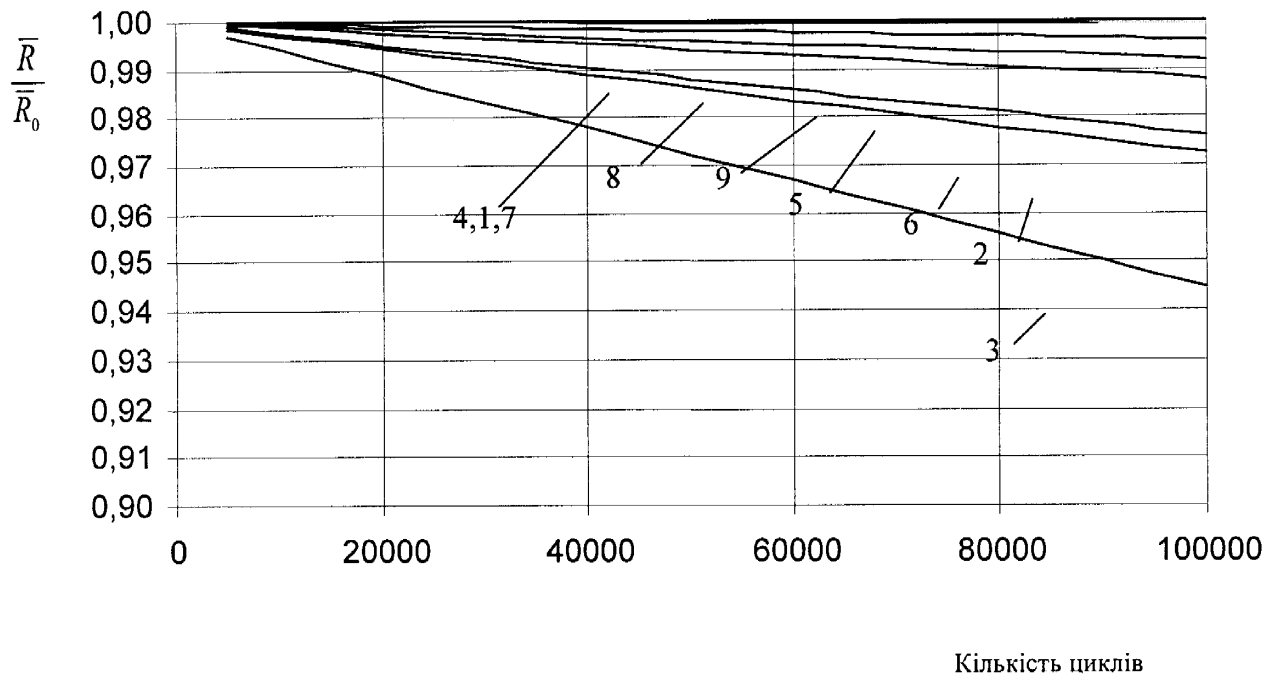


Рис. 3.7 Графіки зміни середнього значення радіуса роликів в залежності від кількості робочих циклів.

Коефіцієнт  $b_{cp}$  може бути визначений за формулою

$$b_{cp} = \frac{\delta R \cdot \varphi}{100}. \quad (3.84)$$

Коефіцієнт кореляції для цієї моделі складає  $r=0.9998$ , що говорить про високу адекватність моделі.

Динаміка зміни дисперсії радіуса роликів. В таблиці 3.2 наведено результати експерименту по визначенню зміни дисперсії радіусів роликів в залежності від кількості затримок опок.

На рис. 3.8 представлені результати імітаційного моделювання зміни дисперсії розподілу радіусів роликів рольгангу.

Залежність дисперсії радіусів роликів від кількості зупинок має характер близький до лінійного рис.3.8 і може бути представлена у вигляді:

$$S(R) = b_o \cdot n_s \quad (3.85)$$

Таблиця 3.2

Зміна дисперсії радіуса роликів.

Номер експерименту	$\delta R$	$\varphi$	$b_{cp}$	Коеф. кореляції
1	0,000001	0,7	1,02288E-15	0,994
2	0,00004	0,7	1,37843E-12	0,996
3	0,00008	0,7	2,98378E-12	0,986
4	0,00001	0,3	3,04018E-16	0,986
5	0,00004	0,3	4,64432E-13	0,995
6	0,00008	0,3	1,59863E-12	0,993
7	0,000001	0,1	9,2495E-17	0,995
8	0,00004	0,1	1,52545E-13	0,989
9	0,00008	0,1	6,2934E-13	0,995

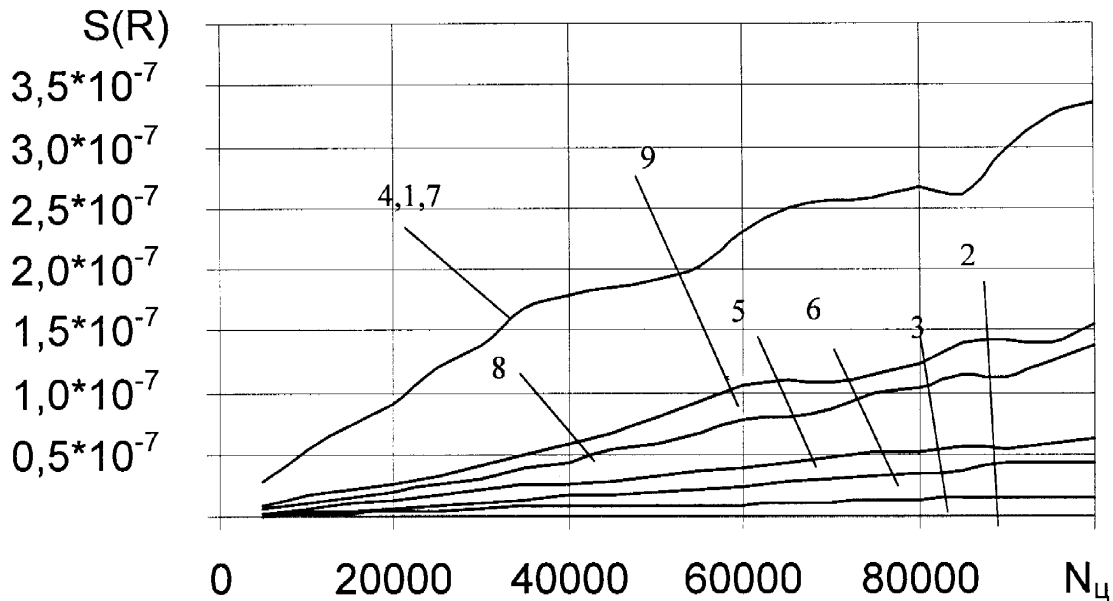


Рис. 3.8 Графіки зміни дисперсії розподілу  $S(R)$  радіусів роликів для всіх реалізацій імітаційного експерименту

Залежність значень коефіцієнта  $b_0$  від факторів  $\delta R$  і  $\varphi$  визначалася методом найменших квадратів. Отримана наступна модель

$$b_0 = a \cdot \delta R^b \varphi^c, \quad (3.86)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - емпіричні коефіцієнти.

Отримані наступні значення коефіцієнтів  $a=0,000586$ ,  $b=7,011621$  і  $c=2,862718$ .

Коефіцієнт кореляції  $R=0,997132$ , що говорить про достатньо високий рівень адекватності моделі.

Функція розподілу діаметру роликів. На цьому етапі досліджувалася зміна функції розподілу діаметрів роликів внаслідок їх зношення під час тимчасових випадкових зупинок опок на рольгангу. Імітаційний експеримент проводився за наступною схемою. На початку розрахунку встановлювався для всіх роликів однаковий діаметр. Кінцевий розподіл порівнювався з нормальним розподілом за критерієм  $\chi^2$ . При цьому кінцевий розподіл, з метою уникнення впливу середнього значення і дисперсії, приводився до стандартного вигляду. Аналіз результатів імітаційного експерименту показав, що із збільшенням кількості

зупинок опок функція розподілу діаметрів роликів наближається до нормального розподілу. Результати експерименту наведено в таблиці. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати дослідження зміни функції розподілу діаметрів роликів.

Номер експерименту	$\delta R$	$\varphi$	$\chi^2$ розрахунковий	$\chi^2$ критичний
1	2	3	4	5
1	0,000001	0,7	0,7869	14,067
2	0,00004	0,7	0,9031	14,067
3	0,00008	0,7	0,6719	14,067
4	0,00001	0,3	0,5124	14,067
5	0,00004	0,3	0,4933	14,067
6	0,00008	0,3	0,9036	14,067
7	0,000001	0,1	0,1313	14,067
8	0,00004	0,1	0,1539	14,067
9	0,00008	0,1	0,0024	14,067

Як видно з таблиці 3.3 розрахункові значення  $\chi^2$  є меншими ніж критичні значення, що говорить про нормальність розподілу діаметрів роликів.

Динаміка зміни функції розподілу в залежності від кількості робочих циклів для найбільш реального випадку  $\delta R=0,000001$  і  $\varphi=0,1$  показано на рис. 3.9.

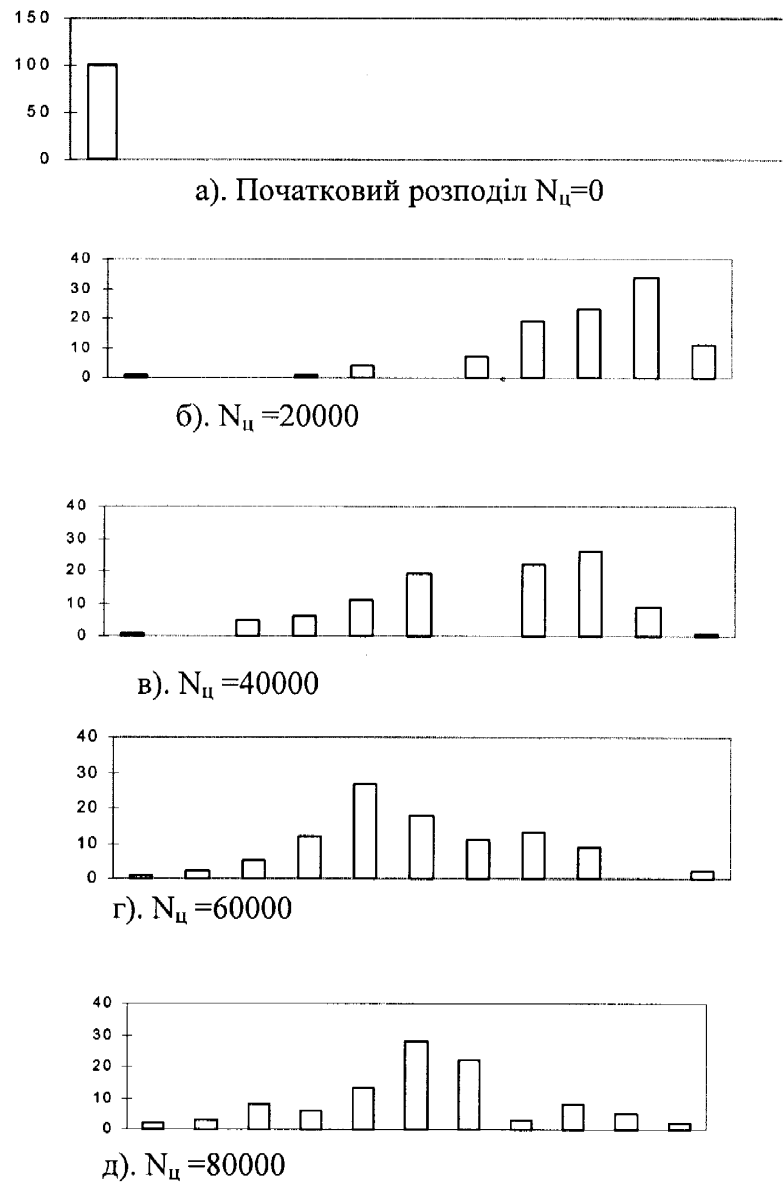


Рис. 3.9 Динаміка змін функції розподілу діаметра роликів.

### 3.5.2 Зношення роликів рольгангу під час нормальної роботи

Основною метою дослідження було вивчення зміни функції розподілу діаметру роликів рольгангу під час його нормальної роботи. Досліджувались зміни параметру функції розподілу (середнє і дисперсію), а також загальний вигляд функції розподілу при умові, що початковий розподіл діаметрів роликів є відомий. Імітаційний експеримент проводився згідно плану факторного експерименту  $3^2$ .

Як фактори прийнято:

$X_1$ —початковий радіус ролика;

$X_2$ —комплексний коефіцієнт  $M$  (3.63);

$X_3$ —початкова дисперсія радіусу роликів.

Інтервали зміни факторів, координати нульової точки експерименту і, відповідні їм, кодовані значення факторів приведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

## Рівні варіації факторів

Фактори	Рівні факторів			Інтервали варіації
	-1	0	+1	
$X_1$	0,1	0,11	0,12	0,02
$X_2$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1.5 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$
$X_3$	$3.3 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$7.5 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$

План факторного експерименту показаний в табл.3.5

Таблиця 3.5.

## План факторного експерименту

Номер експерименту	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1X_2X_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
2	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
4	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1
5	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
6	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1
7	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

Імітаційний експеримент проводився за наступною схемою.

На першому етапі генерувався початковий розподіл радіусів ролика за нормальним законом з математичним очікуванням  $X_1$  і дисперсією  $X_3$ . Далі

розрахунок величини зносу роликів проводився на основі співвідношення (3.24) прямим чисельним інтегруванням з врахуванням формули (3.51) для визначених в плані значень параметра  $M$  ( $X_2$ ). Для кожного рядка плану експерименту проводилося 100 імітаційних розрахунків для різних реалізацій початкового розподілу радіусів роликів. Результати цих розрахунків в подальшому опосередковувалися.

Як показав аналіз результатів імітаційного моделювання в області малих змін радіуса, що характерно для реальних умов роботи рольгангу, середнє значення радіусу роликів може бути з достатньою точністю описаний лінійною моделлю:

$$\frac{\bar{R}}{\bar{R}_0} = 1 - b_{cp} \cdot N_{ч}, \quad (3.87)$$

де  $\bar{R}$  - середній радіус роликів,

$\bar{R}_0$  - середній початковий радіус роликів,

$b_{cp}$  - коефіцієнт зменшення середнього радіуса роликів.

Коефіцієнти кореляції для моделі (3.68) наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Коефіцієнти кореляції для зміни середнього

Номер експерименту	$r'$	$r''$	$r'''$
1	-0,99981	-0,99996	-0,99996
2	-0,99992	-0,99949	-0,99956
3	-0,99578	-0,99949	-0,99956
4	-0,98317	-0,99981	-0,99983
5	-0,99974	-0,99994	-0,99995
6	-0,99990	-0,99998	-0,99998
7	0,98462	-0,99923	-0,99933
8	-0,99859	-0,99974	-0,99979



Досліджувався вплив факторів на коефіцієнт зменшення середнього радіуса ролика  $b_{cp}$  моделі (3.87). Результати трьох паралельних дослідів по кожному рядку матриці планування повного факторного експерименту (ПФЕ)  $2^3$  наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Результати факторного експерименту для коефіцієнта  $b_{cp}$ 

Номер експерименту	Y'	Y''	Y'''
1	-0,000127691	-0,000127096	-0,000141539
2	-9,38722E-05	-8,01424E-05	-8,64758E-05
3	-0,00049196	-0,000469752	-0,000408196
4	-0,000254697	-0,000297997	-0,000286502
5	-0,000165306	-0,000156516	-0,000124424
6	-0,000115839	-9,53219E-05	-7,39361E-05
7	-0,000539727	-0,000560856	-0,000546843
8	-0,000302787	-0,000378189	-0,000260063

За результатами експерименту отримано наступне рівняння регресії:

$$b_{cp} = -0,00026 + 6,39 \cdot 10^{-5} X_1 - 0,00014 X_2 - 1,9 \cdot 10^{-5} X_3 + 3,92 \cdot 10^{-5} X_1 X_2 + 8,37 \cdot 10^{-6} X_1 X_3 - 1,31 \cdot 10^{-5} X_2 X_3 + 6,2 \cdot 10^{-6} X_1 X_2 X_3. \quad (3.88)$$

Перевірка однорідності: значення G-критерію Кохрена дорівнює  $G=0,504183$ .

Критичне значення критерія Кохрена при  $\alpha=0,05$ ;  $f_1=2$ ;  $f_2=8$ ;  $G_{кр}=0,5157$ . Так як  $G < G_{кр}$  — то дисперсії експериментів вважаються однорідними.

Далі: дисперсія експерименту  $S^2(b_{cp}) = 8,87 \cdot 10^{-10}$ ;

дисперсія середнього значення  $S^2(b_{cp}) = 2,96$  1;

дисперсія коефіцієнту регресії  $S^2(b) = 3,7 \cdot 10^{-11}$ .

Так як довірчий інтервал коефіцієнту регресії при  $\alpha=0,05$   $f_1=16$  дорівнює  $\Delta b=1.29 \cdot 10^{-5}$  отримаємо рівняння регресії з значимими коефіцієнтами:

$$\hat{b}_{cp} = -0,00026 + 6,39 \cdot 10^{-5} X_1 - 0,00014 X_2 - 1,9 \cdot 10^{-5} X_3 + 3,9 \cdot 10^{-5} X_1 X_2 \quad (3.89)$$

F-критерій адекватності дорівнює  $F=1.62786$ . Критичне значення F-критерія при  $\alpha=0,05$   $f_1=3$ ;  $f_2=16$ ;  $F_{кр}=3.01$ . так як  $F < F_{кр}$ , то модель (3.89) вважається адекватною і може бути використана для опису впливу факторів на зміну середнього діаметру роликів. Як випливає з моделі (3.89), найбільший вплив на зменшення середнього радіусу роликів має M ( $b_2 = -0.00014$ ). Цей вплив коефіцієнту M є додатнім і з його збільшенням темп зношення роликів збільшується. Другим фактором за ступенем впливу є початковий радіус ролика ( $b_1 = 0.0000639$ ) причому степінь його впливу на порядок менша. Третій фактор має ще менший вплив ( $b_3 = 0.000019$ ). Таким чином, основним фактором який впливає на зношення роликів є коефіцієнт M.

На відміну від середнього діаметру роликів, який зменшується лінійно під час роботи рольгангу, дисперсія зростає і підпорядковується експоненціальному характеру зростання. Аналогічно, як для випадку середнього в області малих змін розмірів роликів, залежність відношення дисперсій розмірів роликів по рольгангу з достатньою точністю може бути описана лінійною моделлю.

$$\frac{S(R)}{S(R_0)} = 1 + b_\sigma \cdot N_y, \quad (3.90)$$

де  $S(R)$  - дисперсія радіусу роликів;

$S(R_0)$  - початкова дисперсія;

$b_\sigma$  — коефіцієнт зміни.

На рис 3.10 приведена одна із реалізацій експерименту.

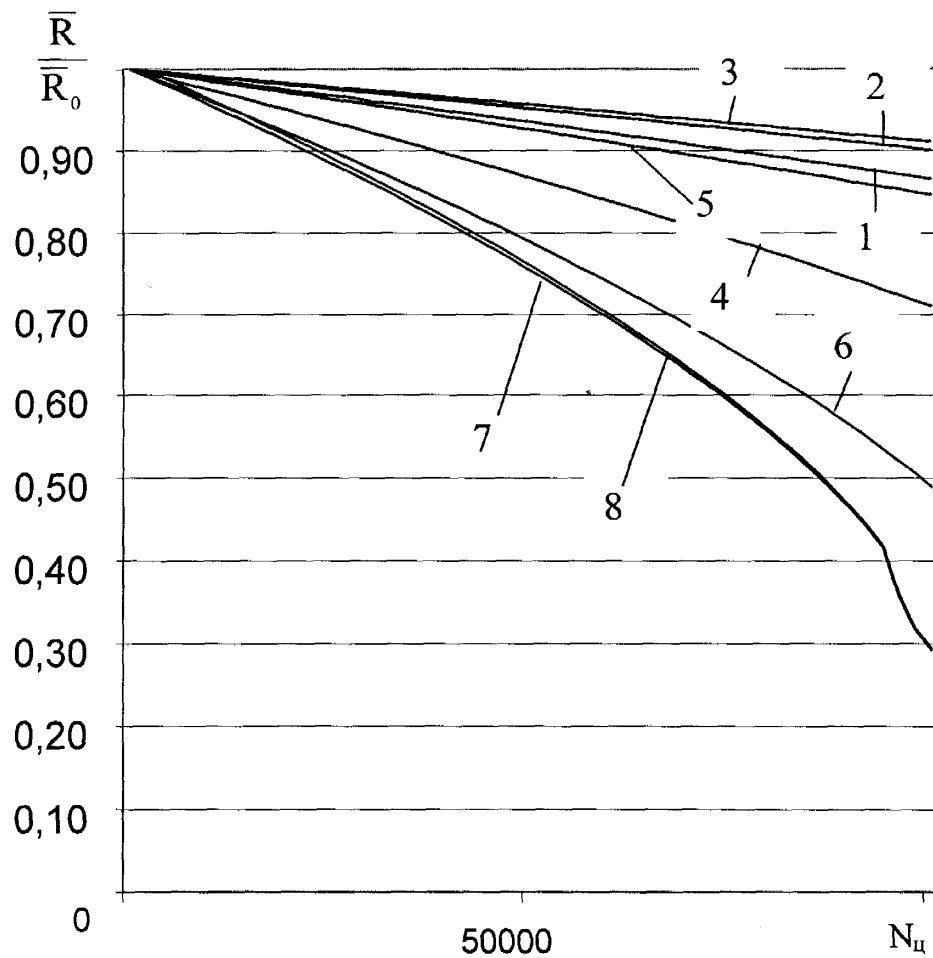


Рис. 3.10- Графіки зміни середнього значення радіуса роликів  $\frac{\bar{R}}{R_0}$  від кількості робочих циклів  $N_{ц}$

Таблиця 3.8.

Коефіцієнти кореляції для зміни дисперсії

Номер експерименту	$r'$	$r''$	$r'''$
1	2	3	4
1	0,998582	0,996484	0,99834
2	0,99954	0,99896	0,999202
3	0,988827	0,989479	0,984603
4	0,995854	0,990716	0,99268
5	0,999103	0,998943	0,99909
6	0,999239	0,999391	0,999524
7	0,988349	0,988102	0,988589
8	0,995678	0,995288	0,994416

Далі досліджувався вплив факторів на значення коефіцієнту зменшення дисперсії ролика ( $b_d$ ), експериментальні дослідження результатів трьох паралельних дослідів по кожному ряду матриці планування повного факторного експерименту (ПФЕ) приведені в табл. 3.9.

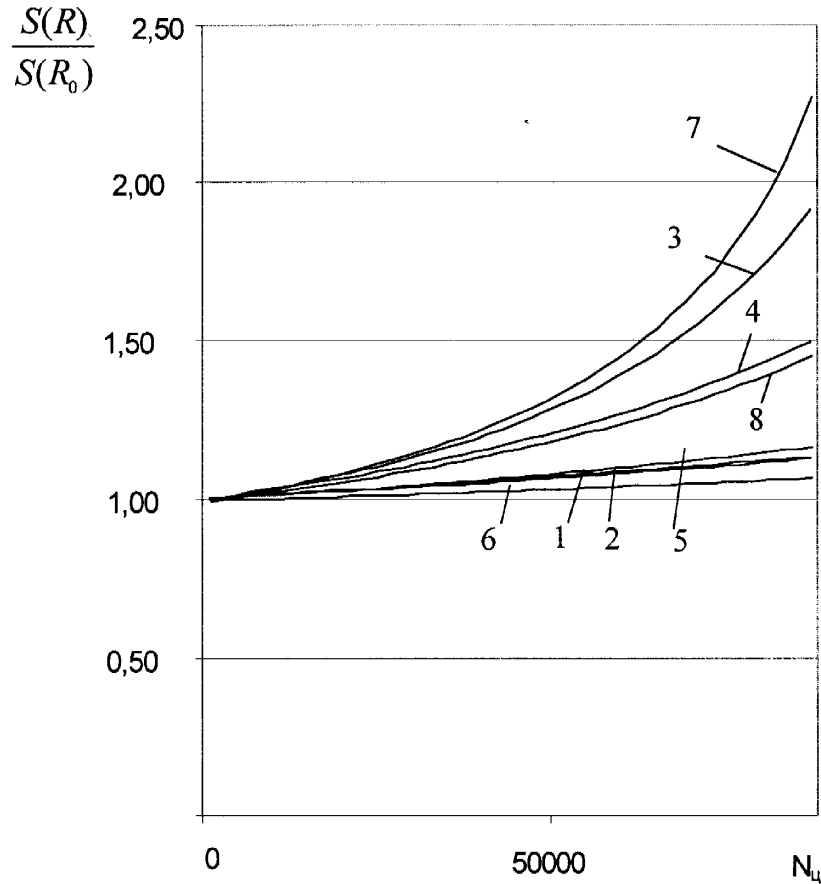


Рис. 3.11 Графіки зміна дисперсії діаметрів роликів  $\frac{S(R)}{S(R_0)}$  від кількості робочих циклів  $N_{ц}$ .

Отримано рівняння регресії

$$b_d = 0.00063 - 0.000X_1 + 0.00047X_2 + 0.000218X_3 - 0.00029X_1X_2 - 0.00019X_1X_3 + 0.000178X_2X_3 - 0.00016X_1X_2X_3. \quad (3.91)$$

Перевіримо однорідність дисперсій за допомогою G-критерія Кохрена  $G=0.5024$  табличне значення при

$\alpha = 0,05$   $f_1=2$ ;  $f_2=8$ ;  $G_{кр}=0.5157$ , так як  $G < G_{кр}$ ; то з довірчою імовірністю 0.95 дисперсії однорідні. Дисперсія експерименту дорівнює

$$S^2(b_d)=1.7 \cdot 10^{-7}.$$

Таблиця 3.9.

Результати факторного експерименту для коефіцієнта  $b_d$

Номер експерименту	Y'	Y''	Y'''
1	0,000169	2,97E-05	0,000178636
2	0,000244	8,34E-05	1,79115E-05
3	0,000968	0,00179	0,000135989
4	0,000777	0,000354	0,00020002
5	1,78E-06	0,000102	0,000679817
6	7,46E-05	7,46E-05	0,000265303
7	0,002756	0,002743	0,001909515
8	0,00042	0,000999	0,000154239

Дисперсія середнього значення  $S^2(b_d)=5.6 \cdot 10^{-8}$ ; дисперсія коефіцієнтів регресії  $S^2(b_d)=7.09 \cdot 10^{-9}$ ; середня квадратична похибка  $S(b_d)=8.42 \cdot 10^{-5}$ ; довірчий інтервал для коефіцієнтів регресії при  $\alpha = 0,05$  і  $f_1=16$  складає  $\Delta b=0,000179$ ; рівняння регресії, яке складається зі значимих ефектів, буде:

$$b_d=0,00063-0,00032X_1+0,00047X_2+0,000218X_3-0,00029X_1 \cdot X_2-0,000X_1 \cdot X_3 \quad (3.92)$$

Визначимо адекватність моделі (3.92) за допомогою F-критерія. Значення статистики F-критерія дорівнює  $F=2,760$ . Табличне значення F-критерія при  $\alpha = 0,05$   $f_1=2$ ;  $f_2=16$ ;  $F_{кр}=9.01$ .

Так як  $F < F_{кр}$  то модель (3.92) є адекватною і може бути використана для визначення залежності коефіцієнту зменшення дисперсії роликів від вказаних вище факторів.

Як впливає з моделі (3.92)—найбільший вплив на зменшення дисперсії діаметра роликів рольганга надає значення коефіцієнту  $M$  ( $b_2=0,00047$ ), причому вплив коефіцієнта  $M$  є додатнім, збільшення  $M$  викликає збільшення темпу зносу роликів. Другим фактором за ступенем впливу на величину зносу роликів є початкова дисперсія ролика ( $b_1=0,00032$ ). Таким чином, чим менший початковий діаметр ролика, тим швидше він зношується. Третій фактор, або початкова дисперсія ( $b_3=0,000218$ ).

Для побудови системи діагностування враховуючи, що середній радіус є основним фізичним параметром, який визначає стан рольгангу (структурна схема рис.3.2) важливим є спосіб використання середнього як індикатора дисперсії радіуса ролика. Вважаючи, що при малих змінах радіуса ролика середнє і дисперсія є лінійними функціями (див. 3.47, 3.49, 3.2) з достатньою ступеню точності можна вважати, що дисперсія є лінійною функцією середнього. Через виключення аргументу кількість циклів з моделі середнього і дисперсії.

$$\frac{S(R_0)}{S(R)} = a + b \frac{\bar{R}_0}{\bar{R}}. \quad (3.93)$$

Таблиця 3.10

Коефіцієнти кореляції для моделі (3.74)

Номер експерименту	$r'$	$r''$	$r'''$
1	2	3	4
1	-0,99916	-0,99742	-0,99898
2	-0,99977	-0,99919	-0,99951
3	-0,99409	-0,99479	-0,99084
4	-0,99781	-0,99385	-0,99551

1	2	3	4
5	-0,99957	-0,99946	-0,99956
6	-0,99954	-0,99962	-0,99973
7	-0,99463	-0,99447	-0,99468
8	-0,99784	-0,99764	-0,99701

Визначимо вплив факторів на коефіцієнт **a** з рівняння (3.93). Результати факторного експерименту для коефіцієнта **a** наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Результати факторного експерименту для коефіцієнта **a**

Номер експерименту	Y'	Y''	Y'''
1	2,119189	1,833206	2,139267018
2	2,792087	2,304089	2,067309614
3	3,463043	4,114727	2,928322869
4	3,154586	2,725488	2,536746895
5	2,326544	2,539518	2,509528777
6	1,855447	2,109364	2,726982754
7	3,45878	3,78912	2,998757
8	2,764687	3,303729	2,544744079

За результатами експерименту отримано наступне рівняння регресії.

$$a=2,7127X_0-0,1389X_1+0,4358X_2+0,312X_3-0,17128X_1 \cdot X_2- \\ -0,054X_1 \cdot X_3-0,03847X_2 \cdot X_3+0,09214X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (3.94)$$

Перевірка однорідності  $G=0,30874$ , критичне значення при  $\alpha=0,05$   $f_1=2$ ;  $f_2=8$ ;  $G_{кр}=0,5157$ , так як  $G < G_{кр}$  – то дисперсії вважаються однорідними.

Так як довірчий коефіцієнт регресії при  $\alpha=0,05$   $f_1=16$ ;  $\Delta b=0,1636$  отримаємо рівняння регресії зі значимими коефіцієнтами

$$a=2,7127X_0+0,4358X_2+0,312X_3-0,17128X_1 \cdot X_2 \quad (3.95)$$

F-критерій адекватності дорівнює  $F=0,739$ , критичне значення F-критерія при  $\alpha=0,05$   $f_1=5$ ;  $f_2=16$ ;  $F_{кр}=2,9$  так як  $F < F_{кр}$  (3.76) вважається адекватною і може бути використана для опису взаємодії середнього і дисперсії. Коефіцієнт ( $X_2=0,4357$ ) мало впливає на коефіцієнт  $a$  – початкову дисперсію.

Визначимо вплив факторів на коефіцієнт в рівнянні (3.104).

Результати факторного експерименту для коефіцієнта  $b$  наведено в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Результати факторного експерименту для коефіцієнта  $b$ 

Номер експерименту	$Y'$	$Y''$	$Y'''$
1	-1,12514	-0,84371	-1,146183611
2	-1,7915	-1,30982	-1,075021235
3	-2,62822	-3,3079	-2,072327606
4	-2,19958	-1,78149	-1,585543599
5	-1,33599	-1,54819	-1,517516678
6	-0,86324	-1,11409	-1,725155929
7	-2,54789	-2,78412	-2,421231
8	-1,81337	-2,36615	-1,59512315

За результатами експерименту отримане наступне рівняння регресії:

$$b=-1,77X_0+0,1091X_1-0,4878X_2-0,319X_3+0,1993X_1 \cdot X_3+0,03583X_2 \cdot X_3-0,0920X_1 \cdot X_2 \cdot X_3. \quad (3.96)$$



Перевірка однорідності  $G=0,3665$ , критичне значення при  $\alpha=0,05$   $f_1=2$ ;  $f_2=8$ ;  $G_{кр}=0,5157$ , так як  $G < G_{кр}$  – то дисперсії вважаються однорідними.

Для визначення значень коефіцієнтів регресії визначимо довірчий інтервал при  $\alpha=0,05$ ;  $f_1=16$ ;  $\Delta b=0,1563$  отримаємо рівняння регресії зі значимими коефіцієнтами

$$b = -1,77X_0 + 0,1091X_1 - 0,4878X_2 - 0,319X_3 + 0,1992X_1 \cdot X_2. \quad (3.97)$$

F-критерій перевірки адекватності  $F=0,4242$ , критичне значення при  $\alpha=0,05$   $f_1=4$ ;  $f_2=16$ ;  $F_{кр}=3,0$  так як  $F < F_{кр}$ , то модель вважається адекватною.

### Висновки до розділу

1. На основі аналізу факторів впливу на показники роботи модуля транспорту встановлено, що цього продуктивність залежить від поточних величин діаметрів роликів, тобто середній діаметр ролика є основним фізичним параметром що визначає технічний стан МТ ЛАЛ, оскільки поточне значення діаметру ролика безпосередньо зв'язане з тривалістю робочого циклу.

2. Розроблена математична модель процесу об'ємного зношення роликів, аналіз якої показав, що основним процесом є зношення внаслідок ковзання, яке зумовлено різницею в розмірах (радіусах) будь-яких суміжних роликів, так як швидкість пересування опоки ніколи не дорівнює лінійній швидкості обертання поверхні ролика.

3. Розроблена узагальнена математична модель процесу зношення роликів підпідочної плити аналіз якої, а також результатів імітаційних експериментів показує, що:

- для зношення рольгангу в цілому основними є два процеси: перший - зношення під час нормальної роботи рольгангу; другий - зношення роликів під час

прискореного руху опок після їх тимчасових і випадкових затримок. Хоча ці два процеси взаємопов'язані, але мають різний вплив на стан роликів рольгангу;

- під час нормальної роботи рольгангу відбувається закономірне і послідовне, в напрямку руху опоки, зношення роликів, яке зумовлено різницею в радіусах суміжних роликів. При зупинках опок і подальшому їх прискоренні зношуються ролики які знаходяться під опокою в наслідок неспівпадання швидкості руху опоки і лінійної швидкості обертання поверхні ролика;

- зношення роликів відбувається в основному за рахунок сил тертя ковзання між поверхнями опоки і роликів;

- в області малих зношень процес зношення з достатньою для практичного застосування адекватністю може бути описаний спрощеними лінійними моделями для обох зазначених вище процесів зношення;

- при нормальній роботі рольгангу відбувається поступове зменшення середнього по рольгангу радіуса роликів. Одночасно дисперсія радіусів збільшується. Характерно, що при зміні параметрів розподілу загальний вигляд (тип) розподілу не змінюється;

- доведено, що з зростанням кількості зупинок МТ-ЛАЛ розподіл розмірів радіусів роликів швидко прямує до нормального закону розподілу.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛАЛ

#### 4.1 Випробувальний стенд для експериментальних досліджень процесів зношування роликів рольгангу та їх технічне забезпечення

З метою експериментальної перевірки отриманих в розділі 3 закономірностей зносу діаметрів роликів, необхідно провести комплекс цілеспрямованих досліджень. З цією метою був розроблений випробувальний стенд рольгангів, структурна схема якого наведена на рис. 3.11.

Досліджувальний стенд рольгангів показаний на рис. 4.1. Стенд для досліджень рольганга складається з двох рольгангів типу Р27 і одного Р15, на які встановлений вантаж масою  $G_v=6000$  кг.

Загальна довжина рольганга складає  $L=2*2,7+1*1,5=6,9$  м.

Схема управління дослідним стендом передбачає здійснення реверса привідних електродвигунів рольгангів для забезпечення пересування вантажу то в один, то в другий бік.

Стенд працює наступним чином. При ввімкненні схеми в мережу і натискаючи на один із кінцевих вимикачів ВК-300 вантаж по роликах починає переміщатися. Коли вантаж досягає крайнього положення, він своїм прапорцем натискає на другий кінцевий вимикач і здійснюється реверс привідних електродвигунів, а вантаж міняє напрямок переміщення. Для фіксації кількості циклів роботи в схему включений лічильник циклів. Один цикл роботи вважається переміщення вантажу на відстань, що рівна двом відстаням між кінцевими вимикачами ВК-300. При проведенні досліджень і вимірюванні параметрів рольганга використовували наступні вимірювальні прилади:

- прилад для вимірювання потужності – К-505

- трансформатор струму

- самописець

– Н-390

- динамометр – ДМ1-05
- мікрометр,
- штангельциркуль,
- прилад для вимірювання твердості по Роквеллу – ТПП-2 (переносний)  
ТК-2М-стаціонарний.

Інтенсивність зносу. Інтенсивність зносу ролика та направляючих визначалася шляхом вимірювання величини його зносу через визначену кількість циклів. До початку проведення досліджень здійснюють вимірювання діаметру ролика і висоти направляючих. Після роботи рольганга  $N_i$  циклів вимірювання повторюють.

Знос ролика і направляючих визначається за формулою:

$$U = d_i^{N_i} - d_{i+1}^{N_{i+1}},$$

де  $U$  – величина зносу;

$d_i^{N_i}$  – попередня величина розміру (ролика, направляючих);

$d_{i+1}^{N_{i+1}}$  – наступна величина розміру (ролика, направляючих).

Після проведення досліджень будували графік зносу ролика і направляючих в координатах  $N_i, U$ .

Визначення тягового зусилля і потужності. Навантажуючи рольганг вантажами, масою рівною вантажепідйомностям гілок рольганга в ливарній автоматичній лінії з допомогою динамометра ДМ1-05 визначили тягове зусилля рольганга. Налагодження фрикціонів при цьому здійснили таким чином, щоб вантаж вільно міг переміщатися із стану спокою після включення приводу. За показами динамометра визначили тягове зусилля. Зусилля стиснення фрикціонів у всіх роликівих вузлах при цьому однакові.

Одночасно здійснювали вимірювання споживаної потужності з використанням приладу К-505 при мінімальному і максимальному зусиллі стиснення фрикціонів.

Результати вимірювання тягового зусилля і споживаної потужності зведені в таблицю 4.1.

## Визначення тягового зусилля і потужності приводу МТ ЛАЛ

№	Наванта- ження, кг	Потужність, кВт		
		мінімальній зтяжці фрикціонів	при максимальній зтяжці фрикціонів	при вантажі, що вільно переміщається
1	1205	0.31	0.57	0.27
2	1403	0.29	0.53	0.31
3	1613	0.25	0.57	0.27
4	1806	0.27	0.65	0.28
5	2013	0.28	0.72	0.27
6	2218	0.40	0.84	0.34
7	2418	0.44	0.80	0.36
8	2606	0.40	0.96	0.36
9	2799	0.40	0.84	0.36
10	3024	0.40	0.90	0.40
11	3174	0.44	1.08	0.40
12	3487	0.44	1.12	0.41
13	3813	0.44	1.10	0.44
14	4132	0.44	1.18	0.44
15	4454	0.44	1.18	0.44
16	4738	0.46	1.12	0.44
17	5013	0.46	1.22	0.44
18	5297	0.46	1.30	0.42
19	5570	0.46	1.22	0.44
20	5800	0.46	1.26	0.44
21	6004	0.48	1.28	0.44
22	6291	0.48	1.36	0.48
23	6613	0.48	1.40	0.46

де  $N$  – вживана потужність привідного електродвигуна;

$P$  – тягове зусилля;

$Q$  – маса вантажу.

Методика розрахунку роликового вузла. Визначення зусилля опору переміщенню

Зусилля опору переміщенню по рольгангу визначається за формулою:

$$W = Q \frac{2\mu + fd}{D_p}, \quad (4.1)$$

де  $Q$  – вага вантажу;

$d$  – діаметр цапфи;

$D_p$  – діаметр ролика;

$\mu$  – коефіцієнт тертя кочення,  $\mu = 0,2 \div 0,4$  мм;

$f$  – коефіцієнт тертя ковзання,  $f = 0,15 \div 0,2$  мм.

Умови передачі крутного моменту фрикціоном.

$$\frac{WD_p}{2} \leq \frac{Nf_1 D_{cp} \beta i}{2}; \text{ або } WD_p \leq Nf_1 D_{cp} \beta i, \quad (4.2)$$

де  $N$  – нормальне зусилля стиснення фрикціонів;

$f_1$  – коефіцієнт тертя ковзання у фрикційній парі;

$D_{cp}$  – середній діаметр фрикціона.

$$D_{cp} = \frac{D_n + D_a}{2};$$

$i$  – кількість стиків фрикціона;

$\beta$  – коефіцієнт запасу кріплення,  $\beta = 1,1 \div 1,2$ .

Необхідне зусилля стиснення фрикціонів.

Із формули (4.2) зусилля стиснення фрикціонів рівне:

$$N = \frac{WDp}{D_{cp} f \beta i}. \quad (4.3)$$

Підставляючи (4.1) в (4.3) отримаємо:

$$N = \frac{Q(2\mu + fd)}{i\beta D_{cp} f_1}. \quad (4.4)$$

Виходячи з конструкції роликів вузла, зусилля стиснення фрикціонів рівне осьовому зусиллю на регульовальному гвинті:

Тоді необхідний момент затяжки регульовального гвинта визначається за формулою:

$$M_{зв} = \frac{Nd_2 \operatorname{tg}(\psi + \varphi_1)}{2n}, \quad (4.5)$$

де  $d_2$  – середній діаметер гвинта;

$\psi$  – кут підйому різьби,  $\psi = 2^\circ 30'$ ;

$\varphi_1$  – кут тертя в різьбі,  $\varphi_1 = 8^\circ 32'$ ;

$n$  – кількість пар роликів, на яких знаходиться вантаж.

З врахуванням (4.4) і (4.5) отримає вид:

$$M_{зв} = \frac{Q(2\mu + fd)}{ni\beta D_{cp} f_1} \cdot \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\psi + \varphi_1). \quad (4.6)$$

Формула (4.6) дає можливість визначити момент закручування регульовального гвинта фрикціона в залежності від ваги вантажу, що переміщається. В ливарних автоматичних лініях кожна гілка рольганга має свою вантажопідйомність, тому налагодження фрикціонів на кожній гілці налаштовується під свою вантажопідйомність.

Визначення точності виготовлення роликів. Точність виготовлення роликів визначали за допомогою мірної лінійки і набору щупів №1, №3.

Прикладаючи мірну лінійку до роликів рольгангів за допомогою щупів визначали зазор між роликом і мірною лінійкою. Точність виготовлення визначали в повздовжньому і поперечному напрямку рольганга.

#### 4.2 Експериментальні дослідження процесів зношування роликів рольгангу модуля транспорту МТ ЛАЛ

Результати вимірювань розмірів роликів в процесі стендових досліджень у відповідності до методики проведення експериментів приведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати експериментальних досліджень процесу зношення роликів рольгангу

Номер ролика	Кількість циклів навантаження								
	0	4610	6307	7784	9314	11286	19127	27970	35700
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,98	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
3	0,95	0,94	0,93	0,92	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
4	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91
5	0,85	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,8	0,8
6	0,99	0,95	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	0,9	0,9
7	0,98	0,94	0,92	0,92	0,92	0,92	0,9	0,9	0,9
8	0,95	0,92	0,91	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,89
9	0,96	0,93	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,89	0,89
10	0,97	0,92	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,89	0,89
11	0,95	0,93	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9





За даними таблиці 4.2 визначаємо середній відносний зношення роликів, значення якого приведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

## Середня відносна величина зносу роликів

Кількість робочих циклів	Величина зносу, мм
0	1
4610	0,982
6307	0,971
7784	0,969
9314	0,966
11286	0,965
19127	0,96
27970	0,958
35700	0,956

Графік відносної зміни середнього радіусу роликів представлений на рис.

4.2.

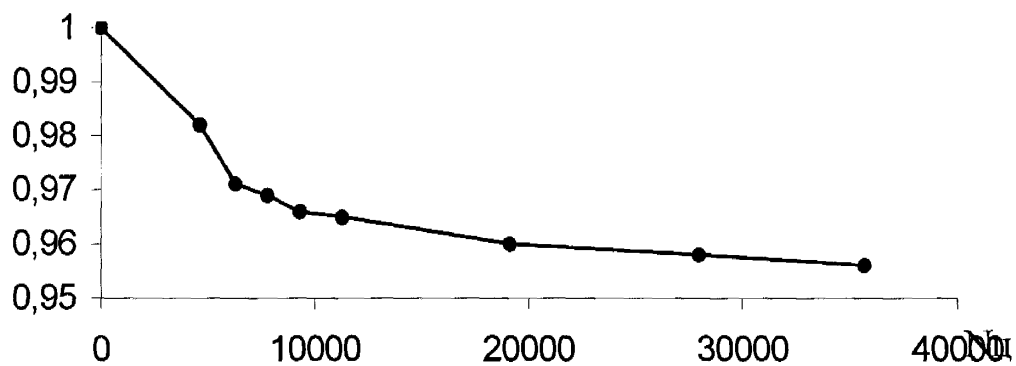


Рис. 4.2 Графік відносної зміни величини середнього радіусу роликів.

Із графіка зношення роликів видно, що на початку робота роляганга до  $N_i = 6300$  циклів інтенсивність зношення роликів досить значна. При  $N_i \geq 11268$  циклів інтенсивність зносу зменшується. Очевидно, що в процесі роботи відбувається ущільнення роликів типа наклепа, в наступному, відбувається більш інтенсивний зношення, до утворення наступного наклепу. При цьому величина зношення роликів не однакова.

Максимальне значення зношення коливається в межах  $0.13 \div 0.21$ , а мінімальне значення —  $0.05 \div 0.08$ . Різні значення зношення роликів можна пояснити режимама термообробки роликів, що обумовлює їх твердість, а також нерівномірністю руху опок по ролягангу внаслідок дисперсії діаметрів роликів, що обумовлено технологічним процесом та виготовленням. Результати вимірювання твердості роликів приведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

## Результати вимірювання твердості роликів

	Ролики з максимальним зношенням.			Ролики з мінімальним зношенням.		
	U=0.13	U=0.2	U=0.21	U=0.06	U=0.05	U=0.06
HRC	40÷42 (38÷40)	22 (22÷25)	25÷28 (32÷37)	25÷28 (32÷37)	30 (32÷37)	48÷51 (47÷50)

Примітка: В дужках вказана твердість роликів до початку досліджень.

В таблиці 4.5 і на рисунку 4.3 приведені результати дослідження зміни середньо квадратичного відхилення радіусу роликів.

Зміна середньоквадратичного відносного відхилення радіусу роликів

Кількість робочих циклів $N_{ц}$	Відносна зміна дисперсії $\frac{S}{S_0}$ радіусів роликів
0	1,000
4610	1,098
6307	1,034
7784	1,326
9314	0,885
11286	0,860
19127	1,224
27970	1,723
35700	1,891

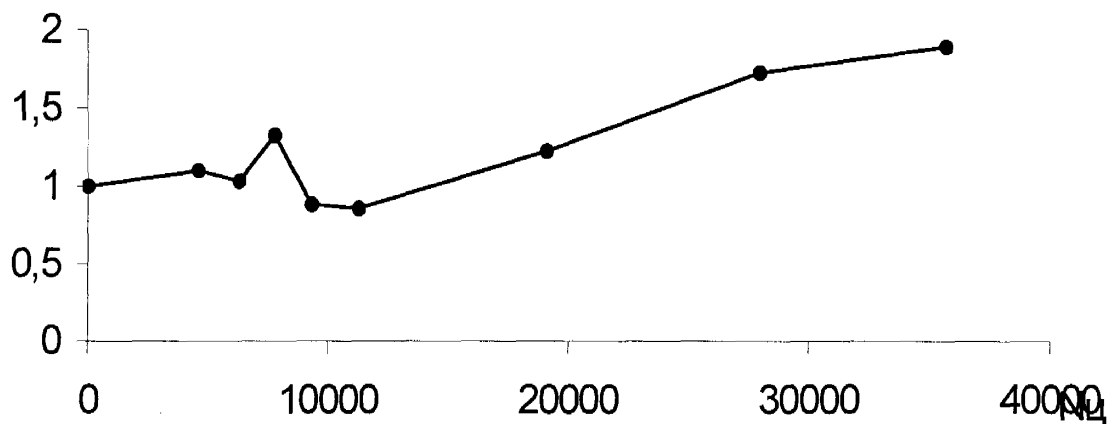


Рис. 4.3 Графік зміни дисперсії значень радіусу роликів.

Результати вимірювань розміру направляючих в процесі досліджень приведені в табл. 4.4. За даними табл. 4.6 визначено знос направляючих, (табл. 4.5), на основі яких побудовано графік (рис. 4.4). З графіка видно, що знос

направляючих, виготовлених з рельс Р18 без термообробки на порядок вищий, ніж роликів.

Таблиця 4.6

## Результати вимірювання розміру зносу направляючих

Кількість циклів, $N_{ц}$	Розмір направляючих, мм	
	Ліва	Права
0	84.50	90.50
4610	84.50	90.50
6307	84.30	90.35
9314	84.20	90.10
11286	84.10	89.60
19127	84.00	89.50

Таблиця 4.7

## Результати визначення величини зносу направляючих

Кількість циклів, $N_{ц}$	Величина зносу направляючих, мм		
	Ліва	Права	Середнє зношення
0	0	0	0
4610	0	0	0
6307	0.2	0.15	0,175
9314	0.1	0.25	0,175
11286	0.1	0.5	0,3
19127	0.1	0.1	0.1

Результати вимірювань потужності приводу приведені в табл. 4.1. З таблиці видно, що потужність, яка використовується електроприводом при мінімальній затяжці фрикціонів з наявністю відсікача і при вантажі, який вільно рухається однакова.

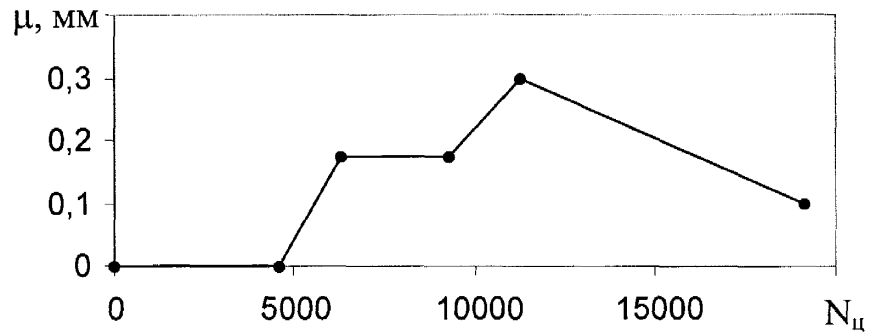


Рисунок 4.4 Графік зносу направляючих ролюгангу

При наявності відсікача максимально споживаєма потужність при максимальній вантажопідемності рівна  $N=1.4$  кВт.

#### 4.2.1 Перевірка адекватності математичної моделі зношування роликів ролюгангу на експериментальних даних

Модель відносної зміни середнього значення радіусів роликів (3.97) була застосована до експериментальних даних. Отримі значення коефіцієнта  $b_{cp} = -3,80343E-09$  і коефіцієнта кореляції  $R = -0,985719023$  свідчать про достатню адекватність математичної моделі (3.97) реальним даним.

На рис. 4.3 показано застосування моделі (3.97) до експериментальних значень радіуса роликів.

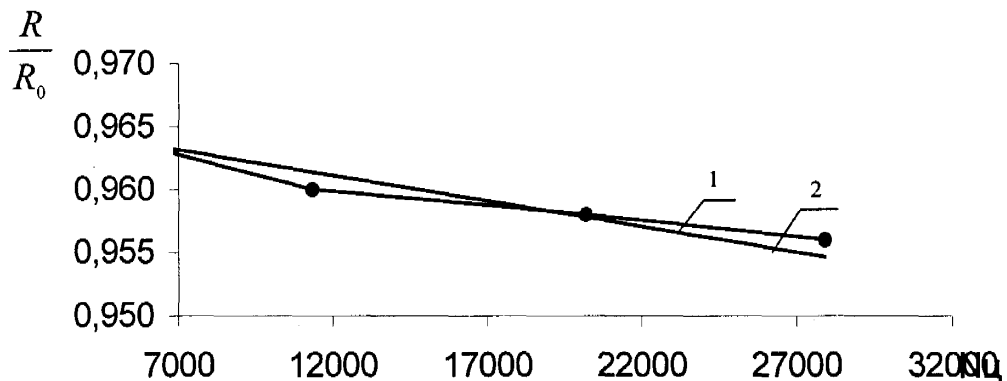


Рис. 4.5 Графіки залежності середнього радіуса роликів  $\frac{R}{R_0}$  від кількості циклів  $N_k$  отримані 1 – експериментальним, 2 – розрахунковим шляхом.

Застосування моделі (3.99) для дисперсії радіусів роликів дало наступні результати:  $b_0 = 4,484 \cdot 10^{-5}$  при коефіцієнті кореляції  $R = 0,988$ , що свідчить про високу степінь адекватності математичної моделі (3.99) експериментальним даним. На рис. 4.6 показано застосування моделі зміни дисперсії експериментальних даних.

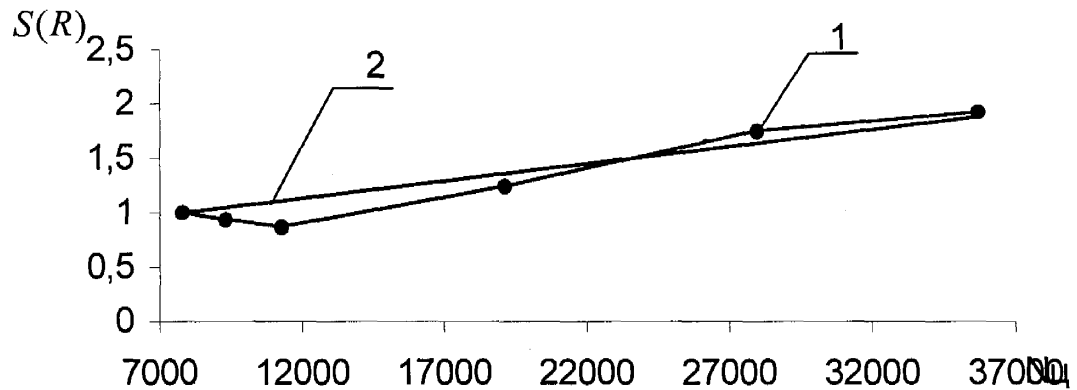


Рис. 4.6 Графіки залежності дисперсії радіуса роликів  $S(R)$  від кількості циклів  $N_c$  отримані 1 – експериментальним і 2 – розрахунковим шляхом.

На рис. 4.7 наведені гістограми розподілу радіусів роликів на початку та при завершенні експерименту.

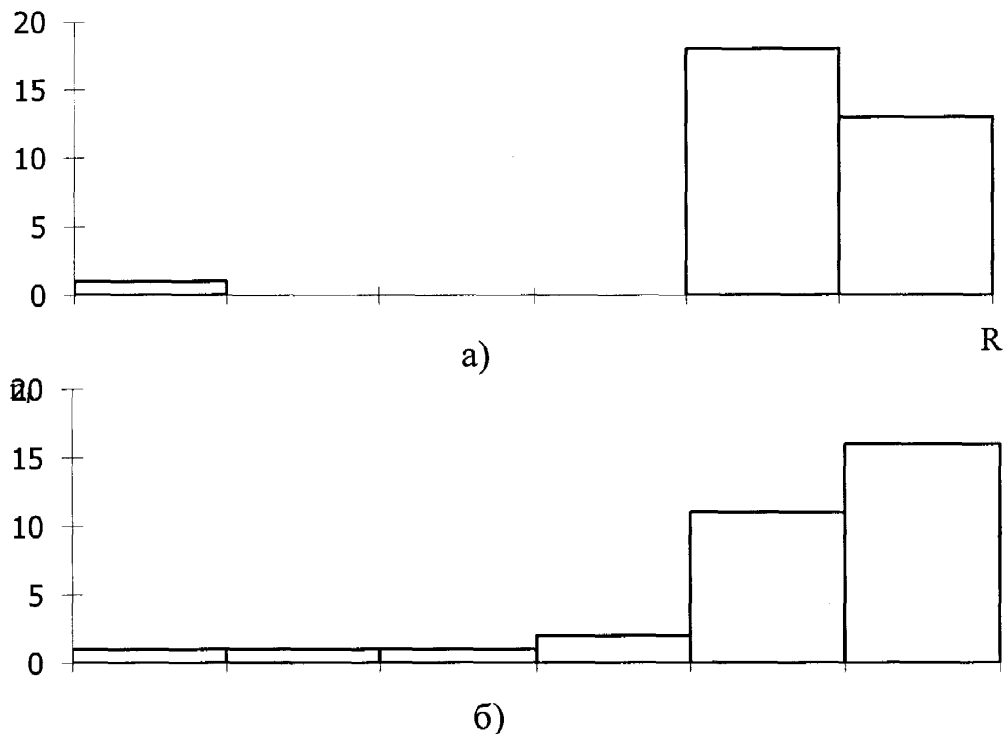


Рис. 4.7 Гістограми розподілу радіусів роликів а) – на початку, та б) – при завершенні експерименту.

### 4.3 Аналіз методів контролю об'єктів циліндричної форми та вибір робочого циклу за діагностичну ознаку працездатності модуля транспорту ЛАЛ

Вище було показано, що основним фізичним, параметром який зумовлює робочий стан МТ-ЛАЛ є середній радіус ролика та його дисперсія, зміни цього параметру зумовлюють зміни інших, що, як наслідок, призводять до зниження працездатності.

Визначення, поточного робочою стану лінії потребує вибору, з усієї множини робочих параметрів МТ-ЛАЛ такого параметру – діагностичної ознаки, який би інтегрально представляв його технічний стан. Оскільки радіус ролика є основним фізичним параметром, то доречно його обрати за діагностичну ознаку. Використання будь-якого параметру за діагностичну ознаку в тому числі і радіуса ролика, виводить на перший план вибір методу його контролю.

Вибір методу контролю зумовлюється такими чинниками:

- необхідною точністю контролю параметрів;
- конструктивними особливостями об'єкту контролю;
- умовами, в яких, відбувається процес контролю;
- витратами пов'язаними із засобами контролю.

Оскільки радіус ролика відноситься до лінійних величин, розглянемо методи контролю радіусу циліндричних об'єктів, стосовно рольгангового транспорту.

Відомі прямі і опосередковані методи контролю циліндричних об'єктів. До прямих методів контролю, які використовуються в промисловості, відносяться:

- Важільні скоби,
- Важільний мікрометр,
- Індикаторні скоби,
- Штангенциркулі різних типів,
- Стрілові індикатори і інш.



До опосередкованих методів контролю геометричних розмірів відносяться різні методи а саме:

- оптико-електронного ощупування;
- порівняння світлових променів;
- оптико-механічні;
- поверхневої активації;
- штучних баз;
- роликові щупи;
- іонізуючого випромінювання;
- телевізійної камери, і інш.

Розглянемо опосередковані методи окремо:

– метод оптико-електронного ощупування, при даному вимірюванні діаметру вимірювальні головки, переміщуються по колу об'єкту контролю, який вимагає перевірки можливості встановлення вимірювального обладнання (вимірювальної головки, або вимірювального приладу). Одна або дві кромки об'єкту контролю оптично проектується на фотоприймач або на декілька фотодіодів. При цьому використовується або власне випромінювання, або тінь підсвічуваного позаду об'єкту контролю. Вимірюється інтервал часу між вхідними сигналами приймача або кількістю перекритих зображенням, об'єкту фотодіодів. Кожен раз, коли пара об'єктів проходить перед парою фотоприймачів, послідовні приймають підсвічений сигнал з другої сторони об'єкту контролю і видають електричний імпульс тривалість якого відповідає розміру діаметру об'єкту контролю.

– метод порівняння світлових променів

Система контролю складається з лампи, і фокусуючих лінз, яка формує два паралельних, пучка променів що поступають в фотоприймач. Один пучок променів служить в якості порівняльного сигналу, другий пучок перекривається об'єктом контролю. В залежності від діаметру об'єкту контролю змінюється інтенсивність світлового потоку. Заданий діаметр встановлюють

механічним способом за допомогою мікрометричного задавача який змінює січення світлового потоку.

–метод оптико-механічний об'єкт освітлюється в напрямку, перпендикулярно його повздовжньої осі. Вимірюється ширина тіні від, об'єкту шляхом механічного переміщення фотоелементу. Тривалість сигналу є мірою діаметру. На об'єкт контролю можна направляти також світло лазерного джерела через дзеркало, яке обертається. Привід дзеркала здійснюється від генератора сигналу, який: в період тінеутворення формує імпульси для оцінки величини тіні в електронному лічильнику. Число зареєстрованих імпульсів і буде результатом контролю.

– метод за допомогою телевізійної камери

Рядки, телевізійної камери рухаються паралельно підсвіченому об'єкту контролю, число незасвічених рядків є мірою діаметру.

– метод за допомогою роликів щупів

Поверхність об'єкту контролю проганяється ролик відомого діаметру. Число обертів прямо пропорційно діаметру контролю.

– метод за допомогою іонізуючого випромінювання

Об'єкт контролю проходить між джерелом радіоактивного випромінювання і приймачем. Інтенсивність випромінювання вибирають такою, щоб об'єкт випромінювання його повністю охоплював. Вимірюванню підлягає потік неослаблених променів, які пройшли повз об'єкт.

– метод поверхневої активації

Активацію вибраної ділянки робочої поверхні об'єкту проводять в циклотронах пучком прискорених заряджених частинок (протонів, альфа-частинок). Глибина активованого шару повинна відповідати передбаченій величині лінійного зношення деталі.

– метод штучних баз

На поверхні об'єкту утворюють заглиблення і діаметр визначають по різниці глибини відбитку, до і після зношення деталі.

Прямі методи контролю вимагають присутності людини в процесі, контролю, що зумовлює неможливість проводити вимірювання під час технологічного процесу виготовлення відливок в зв'язку з вимогами техніки безпеки. Контроль радіусу роликів за допомогою ручних механічних засобів можливий лише тоді, коли лінія знаходиться в ремонті. З другого боку, контроль середнього радіусу вимагає вимірювання кожного ролика окремо, що потребує досить великих витрат, як часу так і трудових ресурсів.

Метод іонізуючого випромінювання потребує встановлення біля кожного ролика джерела радіоактивного випромінювання, що є цілком неприйнятним. Метод поверхневої активації також заснований на активації поверхні роликів також неприйнятний в зв'язку з тим, що ролик сам стає джерелом іонізуючого випромінювання. Метод штучних баз вимагає, по перше витрат па створення контрольних заглибин. Таким чином в умовах ЛАЛ використання цього методу тільки збільшує витрати на контроль без підвищення точності і ефективності контролю. Метод порівняння світлових променів, оптико-механічний метод, оптико-електронного оцупування, а також метод телевізійної камери, є по своїй сутності оптичними методами, які потребують досить дорогого устаткування і складних методів налаштування. Крім того оптична апаратура потребує для своєї ефективної роботи специфічних (відсутність запилення повітря віброзахист, і інш.). Перевагою даних методів є те, що вони не потребують присутності людини в процесі контролю. Дозволяють передавати вимірювальну інформацію на центральний пункт для подальшої їх обробки. Досить привабливим є метод роликівих щупів, цей метод немає вищерозглянутих недоліків, крім витрат на встановлення системи вимірювання пов'язану з необхідністю оснащення кожного ролика системою контролю (роликові щупи, лічильники обертів, лінії зв'язку).

Аналіз розглянутих методів, з врахуванням вищезазначених критеріїв показав, що ні один із методів в повній мірі не задовільняє вищезазначеним критеріям вибору методу контролю. Тому пропонується опосередкований метод визначення радіусу ролика за контролем робочого циклу МТ-ЛАЛ, який

полягає, в вимірюванні проміжку часу від моменту подання опоки на рольганг до моменту її зняття. Будемо називати його методом “часового проміжку”. В деякому сенсі цей метод подібний до методу контролю діаметру циліндричних об’єктів “роликівими щупами”, ця подібність полягає в принципі обкатування об’єкту контролю щупом наперед заданого фіксованого розміру. В нашому випадку, на відміну від методу роликівих щупів, обкатування здійснюється не роликівим щупом фіксованого діаметру, а плоским щупом фіксованої довжини і вимірюється не кількість обертів роликівого щупа а час переміщення лінійного щупа. За виміряним проміжком часу, за формулою, може бути визначений середній радіус ролика  $\bar{R}$ .

$$\bar{R} = \frac{L}{2\pi n t}$$

Запропонований метод має наступні переваги:

- простота використання;
- відносно малі витрати ресурсів, так як в якості давачів системи, контролю можуть бути використані існуючі кінцеві вимикачі. МТ-ЛАЛ, таким чином для побудови системи контролю можна використати існуючі лінії зв'язку;
- відсутність шкідливих впливів на обслуговуючий персонал.

Основним недоліком запропонованого методу є те, що робочий час МТ-ЛАЛ не завжди співпадає з часом переміщення опоки, по рольгангу внаслідок випадкових затримок. Затримки збільшують значення робочого циклу і тим самим зменшують, відносно фактичного, значення радіуса ролика. Ці недоліки можуть бути компенсовані двома шляхами:

- вдосконаленням технологічного процесу;
- застосуванням спеціального алгоритму.

Вимірювальним щупом може бути, як стандартна опока, так і її масогабаритний еквівалент. Використання масогабаритного еквіваленту дає

більшу точність контролю, але його використання обмежується втручанням в технологічний процес виготовлення відливок, або необхідністю його зупинки для контролю.

Аналіз зношення торцевих поверхонь опок показав, що коли це зношення і відбувається то воно є досить незначним. Результати аналізу зношення торцевих поверхонь опок отримані під час експерименту на дослідницькому стенді наведені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Кількість циклів, $N_{ц}$	0	10000	20000	30000	40000
Зношення опок, мм	0	0,1	0,15	0,23	0,31
1	2	3	4	5	6
0,7	0,000001	10	10	10	10
	0,00002	5	9	10	10
	0,00004	4	7	8	10
	0,00006	3	5	6	8
	0,00008	2	3	4	5

Розкид довжини опок викликаний технологією їх виробництва також є незначним. (згідно ГОСТ 24017-81 допуск довжини опоки складає  $\pm 2$  мм). Згідно вищенаведеного можна зробити висновок, що в якості контрольного об'єкту може бути використана реальна працююча опока, або підпочна плита.

#### 4.4 Математична модель робочого циклу рольгангу

В умовах руху опоки по роликах різного діаметру швидкість вантажу не буде співпадати з лінійною швидкістю обертання роликів, згідно (3.51) швидкість вантажу буде дорівнювати

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (4.7)$$

Формула (4.7) отримана при умові, що час встановлення сталої швидкості є менший ніж час взаємодії опоки з вантажем. Середня швидкість переміщення вантажу по рольгангу буде

$$\bar{V}_B = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{N_{p-1}} V_{B_i} \cdot l_i \quad (4.8)$$

Враховуючи, що  $V_{p_i} = \pi \cdot n \cdot (R_i + R_{i+1})/2$ , середня швидкість переміщення опоки буде

$$\bar{V}_B = \frac{\pi \cdot n \cdot l_p}{L} \sum 2R_i + R_1 + R_{N_{p-1}},$$

так як  $l_p = \frac{L}{N_{p-1}}$  і  $R_i \approx R_{N_p}$ .

Отримаємо формулу для середньої швидкості вантажу:

$$\bar{V} = 2\pi \cdot n \cdot \frac{1}{N_{p-1}} \sum_{i=1}^{N_{p-1}} R_i \approx 2\pi \cdot n \bar{R}. \quad (4.9)$$

Звідки робочий цикл

$$\tau = \frac{L}{\bar{V}}. \quad (4.10)$$

Основним фізичним параметром, який визначає поточний стан МТ-ЛАЛ є радіус ролика. Діагностичний параметр, який пов'язаний безпосередньо з фізичним параметром є тривалість робочого циклу. Ці параметри пов'язані наступним співвідношенням.

$$\bar{R} = \frac{L}{2\pi \cdot n \cdot \tau}, \quad (4.11)$$

де  $\bar{R}$  - середній по рольгангу радіус ролика,

$n$  - частота обертання роликів,

$\tau$  - робочий цикл МТ-ЛАЛ.

Таким чином, для визначення значення фізичного параметру  $\bar{R}$  достатньо виміряти діагностичний параметр  $\tau$ .

Вище було відмічено, що, під час роботи рольгангу відбуваються короточасні і випадкові затримки опок на рольгангу. Ці затримки зумовлені багатьма факторами серед яких можна визначити наступні:

- наявність сторонніх предметів під час роботи МТ - ЛАЛ;
- зношенням роликів внаслідок утикання;
- встановленням черги опок через відмову механізмів, які знаходяться поза рольгангом;
- зношення направляючих (перекос, заїдання);
- збій положення, або вихід з ладу замикаючого прапорця давачів положення, а також їх відмови.

Зокрема це відноситься до рольгангів накопичувачів де затримки зумовлені випадковістю затримок як на самому МТ, так і внаслідок роботи агрегату, що знаходиться після рольгангу.

Таким чином, вимірний робочий цикл (як різниця часу зняття опоки з рольгангу і часу подачі її на рольганг) буде вмещувати в себе деяку випадкову величину. Вимірювання робочого циклу без врахування випадкової складової буде спотворювати значення робочого циклу, і таким чином приводити до помилок в визначенні фізичного параметру стану рольгангу.

Враховуючи затримки робочий цикл можна представити як

$$\tau = \tau_p + \tau_s, \quad (3.12)$$

де  $\tau_p$  - час пересування опоки по рольгангу;

$\tau_3$  - час затримки опоки.

Враховуючи стохастичний характер  $\tau_3$  можна вважати, що і  $\tau$  буде імовірнісною величиною. Для опису величини  $\tau$  можна використати імовірнісну модель виду [78]

$$f(\tau) = \begin{cases} \lambda_3 \cdot e^{-\lambda_3(\tau-\tau_p)} & \text{якщо } \tau \geq \tau_p, \\ 0 & \text{якщо } \tau < \tau_p, \end{cases} \quad (4.13)$$

де  $\lambda_3$  - інтенсивність затримок.

Вибір функції розподілу такого типу зумовлений тим, що подібна функція найбільш часто використовується для опису часу тривалості технологічних операцій [78]

Параметри функції розподілу (3.89) визначаються за формулами:

$$M[\tau] = \frac{1}{\lambda_3} + \tau_p,$$

$$D[\tau] = \frac{1}{\lambda_3^2}.$$

Враховуючи співвідношення (3.87) для визначення  $\bar{R}$  необхідно визначати  $\tau_3$ . Цей параметр не можна визначити безпосередньо без спостереження за кожною окремою опокою. Однак його можна визначити опосередковано за кількома вимірними значенням  $\tau$  за формулами

$$\tilde{\tau}_3 = \tau_{\min}(n) - \frac{\bar{\tau} - \tau_{\min}(n)}{n}, \quad (4.14)$$

де  $\tau_{\min}(n) = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$ ;

$$\bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i;$$



$$\lambda_3 = \frac{1}{\bar{\tau} - \tilde{\tau}};$$

$n$  - деяка кількість вимірів робочого циклу.

В розділі 3.2 було показано, що кількість опок які одночасно знаходяться на рольгангу суттєво впливає на продуктивність МТ-ЛАЛ. Серед чинників, що визначають кількість опок, можна виділити наступні

- інтенсивність потоку опок на вході рольгангу  $\mu_{ax}$ ;
- робочий цикл рольгангу  $\tau$ , на величину якого впливає час переміщення опоки  $\tau_p$ , безпосередньо пов'язаний з середнім радіусом роликів рольгангу, інтенсивністю наступлення зупинок і їх тривалістю.

Для визначення середньої кількості опок на рольгангу, враховуючи імовірнісний характер затримок, скористаємося положеннями теорії дослідження операцій, зокрема теорії масового обслуговування (теорія черг) [30]. Представимо МТ-ЛАЛ, як одноканальну систему масового обслуговування без повернення.

Вважаючи вхідний потік опок Пуасонівським з інтенсивністю  $\mu_{ax}$  отримаємо функцію розподілу опок, що подаються на МТ ЛАЛ у вигляді:

$$P\{v = x\} = \frac{\mu_{ax}^x}{x!} \cdot e^{-\mu_{ax}}, \quad (4.15)$$

$$x=0,1,2,\dots,n$$

де  $x$  – кількість опок поступаючих на рольганг в одиницю часу.

Виходячи з рівнянь Ерланга отримаємо формулу для кількості опок на рольгангу

$$n_c = \frac{\mu_{ax}(1 + \lambda_3 \tau_p)}{\lambda_3 - \mu_{ax}(1 + \lambda_3 \tau_p)}. \quad (4.16)$$

Як видно з цієї формули кількість опок на рольгангу  $n_c$  в основному залежить від радіуса роликів (через  $\tau_p$ ) і середнього часу затримок опок (через  $\lambda_s$ ).

#### 4.5 Оцінка параметрів робочого циклу інтенсивності відмов

Модель інтенсивності відмов (розділ 3.4) це – кусково-лінійна функція, що визначається трьома параметрами  $\lambda_n$ ,  $\Phi_e$ ,  $\Delta\lambda$ . При цьому параметр  $\Phi_e$  є переключальним параметром, для визначення значення якого слід застосувати особливий алгоритм.

Для визначення вищезазначених параметрів моделі розроблено спеціальний алгоритм, в якому використовується принцип "ковзуючого вікна" і критерій стаціонарності Аббе [78].

Динаміка відмов в координатах  $n_B$  – кількість відмов,  $\Delta t$  – час між відмовами представлена на рис.4.8. В даному випадку ширина "ковзуючого вікна"  $n'_B$  не є лімітуючим за точністю фактором і може бути прийнята рівною кількості відмов за визначений період (наприклад, 2 місяці).

Для останніх  $n'_B$  відмов застосовується критерій Аббе:

$$\gamma^{(n)} = \frac{q^2(n)}{S^{1/2}(n)}, \quad (4.17)$$

$$\text{де } q^2(n) = \frac{1}{2 \cdot (n_B - 1)} \cdot \sum_{i=1}^{n_B-1} (x_{i+1} - x_i)^2;$$

$$S^{1/2}(n) = \frac{1}{n_B - 1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}(n))^2;$$

$$\bar{x}(n) = \frac{1}{n_B} \cdot \sum_{i=1}^{n_B} x_i.$$

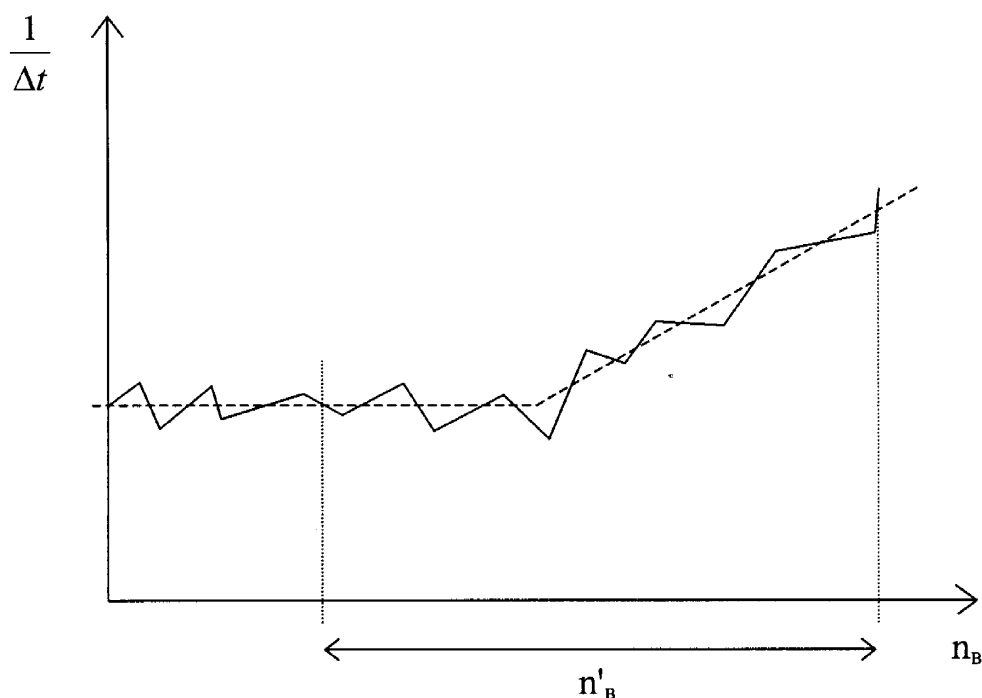


Рис.4.8. Графік динаміка відмов

Якщо

$$\gamma^n \leq 1 + \frac{u_\alpha}{\sqrt{n_B + \frac{1+u_\alpha^2}{2}}}, \quad (4.18)$$

де  $u_\alpha$  - квантіль стандартного нормального розподілу,  
то гіпотеза про стаціонарність результатів відкидається.

Якщо підтверджується стаціонарність, то  $n_B$  результатів використовуються для розрахунку  $\lambda_n$ .

Алгоритм визначення параметрів моделі інтенсивності відмов працює наступним чином. На початковому етапі коли рольганг працює в нормальному режимі за накопленими даними з відмов визначається оцінка  $\lambda_n$  і паралельно проводиться перевірка стаціонарності за критерієм Аббе. Уточнення  $\lambda_n$  проводиться до тих пір поки даний критерій не покаже нестаціонарність  $\lambda$ . Тоді на інтервалі "ковзуючого вікна"  $\Phi \in [\Phi_1, \Phi_2]$  (рис. 4.9) проводиться пошук значення  $\Phi_B$  за допомогою мінімізації наступної формули

$$\tilde{\phi}_B = \min \sum_{i=1}^{n_B} [\lambda_i - \lambda_H - \Delta\tau(\phi_i - \phi_B)] W_i, \quad (4.19)$$

де  $W_i = \frac{\phi_i - \phi_B}{\phi_2 - \phi_i}$  - ваговий коефіцієнт, який забезпечує більший вплив

останніх значень інтенсивності відмов.

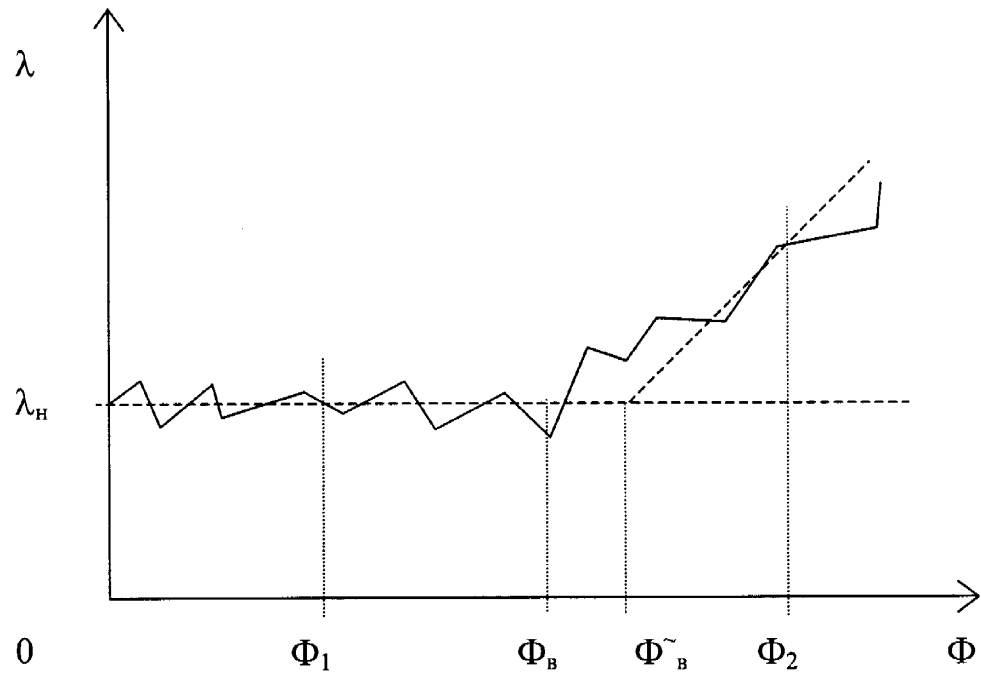


Рис. 4.9 Графік до розрахунку  $\Phi_B$

Після визначення  $\tilde{\phi}_B$  виконується оцінка  $\Delta\lambda$  згідно співвідношення

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_i - \lambda_{i-1}}{\phi_i - \phi_{i-1}}, \quad (4.20)$$

а оцінка стаціонарності процесу відмов вже не проводиться.

#### 4.6 Взаємозв'язок діагностичної ознаки з показниками роботи МТ-ЛАЛ

Взаємозв'язок розглянутих вище показників роботи МТ-ЛАЛ, які обумовлюють зміну діагностичної ознаки, і відповідно, продуктивність ЛАЛ, можна представити у вигляді наступної схеми рис 4.9.

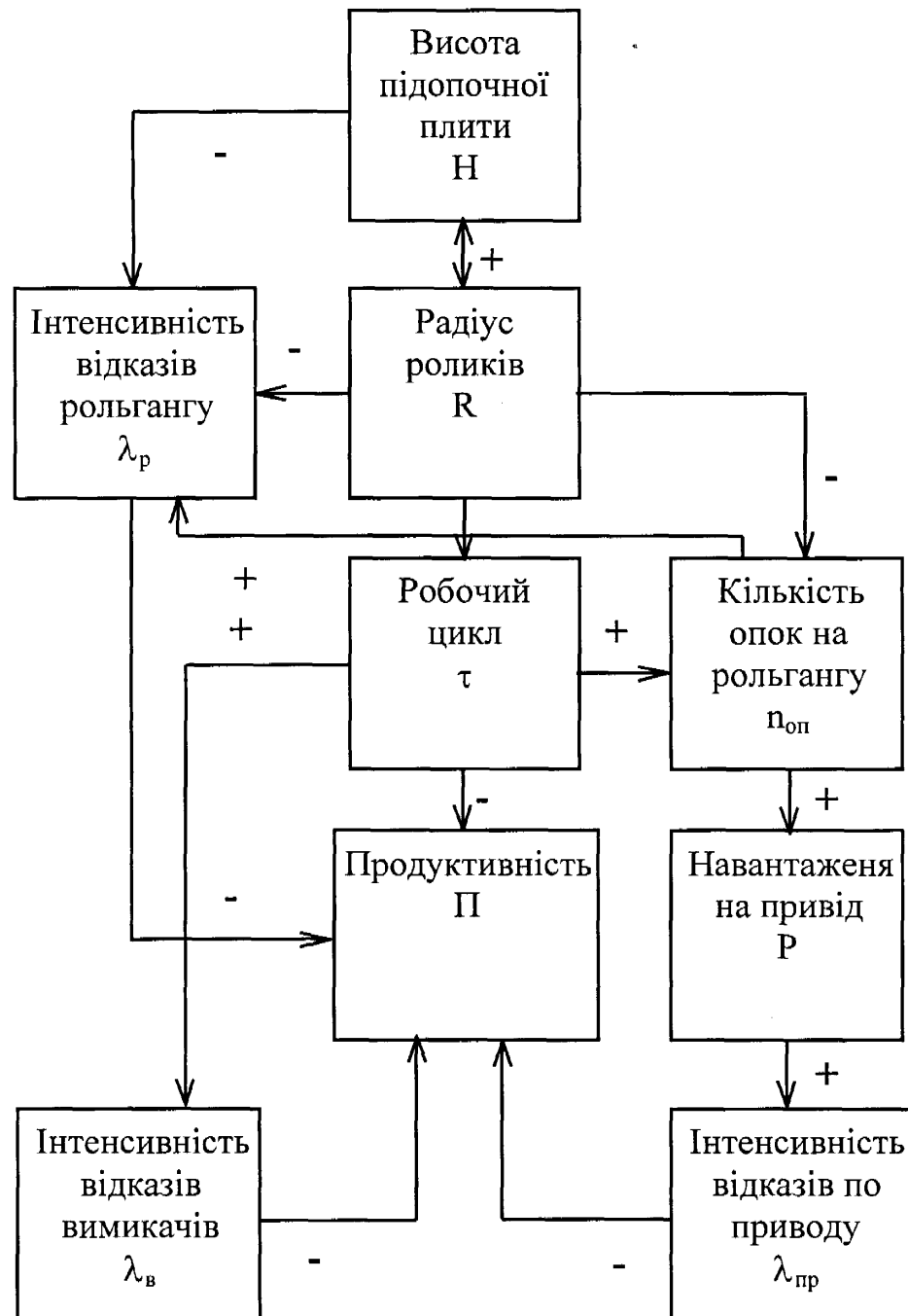


Рис 4.9 Взаємозв'язок діагностичної ознаки з показниками роботи МТ-ЛАЛ

Виходячи з попередньо викладеного продуктивність залежить від поточних значень радіусу роликів, що наочно видно з рис 4.9. На рисунку 4.9 знаками + або - показано напрямок впливу одного з факторів на другий, причому знак + означає прямий вплив, знак -, відповідно, зворотній. Так, наприклад, збільшення значення робочого циклу  $\tau$  викликає збільшення кількості опок  $n_{оп}$ , які одночасно знаходяться на рольгангу, що призводить до збільшення навантаження по приводу  $P$ , збільшення інтенсивності відмов по приводу  $\lambda_{пр}$ , інтенсивності відмов по рольгангу  $\lambda_p$  і відповідно до зміни продуктивності  $\Pi$ . Збільшення робочого циклу  $\tau$  впливає на збільшення інтенсивності відмов давачів  $\lambda_v$ .

Під час роботи МТ-ЛАЛ відбувається поступове зношення роликів  $R$ , що приводить до зменшення його радіусу, зростання діагностичної ознаки  $\tau$  і зменшення продуктивності. Із зменшенням радіусу роликів, одночасно змінюється висота підпочної плити  $H$ , що негативно впливає на технологічний процес і призводить до збільшення інтенсивності відмов по рольгангу  $\lambda_p$  і зміни продуктивності  $\Pi$ .

Виходячи з попередньо викладеного продуктивність залежить від поточних значень радіусу роликів, що наочно видно з рис 4.9. Таким чином середній радіус ролика є основним фізичним параметром який визначає технічний стан МТ-ЛАЛ, так як поточне значення середнього радіуса  $R$  зв'язане з тривалістю робочого циклу (3.1), який прийнятий за основну діагностичну ознаку МТ-ЛАЛ.

#### **4.7 Вибір границі зміни робочого циклу модуля транспорту ЛАЛ**

Поняття "працездатність" містить деяку невизначеність пов'язану з тим, що між абсолютною працездатністю об'єкта коли всі діагностичні ознаки (параметри чи характеристики) мають номінальні значення, і абсолютною непрацездатністю, коли об'єкт зовсім не здатний працювати, лежить кінцеве

число проміжних станів при яких він здатен виконувати деяку роботу але з погіршеною продуктивністю, чи погіршенням якості, чи витратою надлишкових ресурсів, тощо. В зв'язку з цим важливе значення має питання визначення граничного значення діагностичної ознаки стану об'єкту не лише з точки зору його працездатності, але і економічної доцільності подальшої експлуатації.

Виходячи з викладеного, в роботі розглядається задача визначення граничного стану модуля транспорту (МТ) ливарних автоматичних ліній (ЛАЛ), надійність якого визначає ефективність функціонування ЛАЛ [6], з врахуванням запропонованих економічних критеріїв:

- критерія технічної ефективності виробництва  $K_{TE}$  - відношення поточної продуктивності до номінальної;
- критерія економічної доцільності виробництва  $K_{ед}$  - відповідного співвідношення прибутку і видатків (рентабельність виробництва). Запропоновані критерії не враховують збитки від недовиробленої продукції та ряд інших економічних показників виробництва. Розглянемо критерій технічної ефективності

$$K_{TE} = \frac{\Pi}{\Pi_0}, \quad (4.21)$$

де:  $\Pi_0$  і  $\Pi$  відповідно початкова (номінальна) та поточна продуктивності.

Поточна продуктивність визначається за формулою:

$$\Pi = \frac{(T - T_{np})}{\tau}, \quad (4.22)$$

де  $T$ - загальний час експлуатації МТ;  $T_{np}$ - час простоїв МТ;  $\tau$  - тривалість робочого циклу-діагностична ознака стану МТ-ЛАЛ [2]

Номінальна продуктивність визначається як

$$P_0 = \frac{T}{\tau_0}, \quad (4.23)$$

де  $\tau_0$  – початковий робочий цикл.

Враховуючи вищенаведене

$$K_{TE} = \frac{(T - T_{np}) \cdot \tau_0}{\tau \cdot T} = \frac{\tau_0}{\tau} \cdot \frac{T - T_{np}}{T} = \frac{\tau_0}{\tau} \cdot K_z, \quad (4.24)$$

де  $K_z = \frac{T - T_{np}}{T}$  - коефіцієнт готовності,

звідки

$$\tau_{zp} = \tau_0 \cdot \frac{K_z}{K_{TE}}; \quad (4.25)$$

Таким чином граничне значення діагностичної ознаки з одного боку є наперед заданим значенням коефіцієнта технічної ефективності, а з іншого - коефіцієнта готовності.

Коефіцієнт готовності  $K_z$ , визначається відношенням сумарного часу перебування ЛАЛ в працездатному стані до тривалості її експлуатації (за виключенням зупинки ЛАЛ з метою проведення планових ремонтів і технічного обслуговування).

Формула (4.25) отримана з умови, що  $K_z$  вважається сталим протягом всього періоду експлуатації МТ-ЛАЛ. Проведені нами дослідження показали, що  $K_z$  змінюється в процесі експлуатації лінії. На рис. 4.10 наведена динаміка зміни коефіцієнта готовності для трьох типів ліній -ІФЛ-225, ІФЛ-265, В7-15. Зміна  $K_z$  під час експлуатації МТ-ЛАЛ зумовлена зміною інтенсивності відмов.



Таким чином, граничне значення діагностичної ознаки не є сталою величиною, як це прийнято в діагностиці, а змінюється в часі відповідно до стану МТ-ЛАЛ. Виходячи з цього, формулу (5) можна представити у вигляді

$$\tau_{кр}(t) = \tau_0 \frac{K_z(t)}{K_{TE}}. \quad (4.26)$$

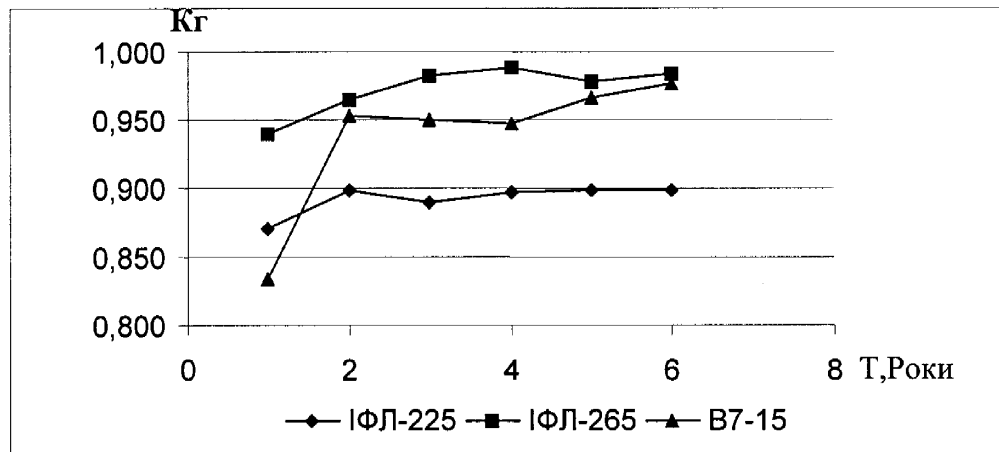


Рис. 4.10 – Графіки коефіцієнту готовності  $K_z$  в часі  $T$

Враховуючи, що такі параметри роботи МТ-ЛАЛ, як  $\tau$ ,  $\bar{R}$  (середнє значення радіусу роликів рольгангу [9]), у загальному випадку є монотонними функціями часу  $t$ , тому зміну  $\tau_{кр}$  можна розглядати як функцію від зазначених параметрів. Покажемо зміну  $\tau_{кр}$  для лінії типу ІФЛ-225.

Таблиця 4.9

Динаміка зміни коефіцієнту готовності  $K_z$  для ЛАЛ типу ІФЛ-225

Роки	Коефіцієнт готовності
1	0,870944
2	0,894242
3	0,899502
4	0,900066
5	0,898739
6	0,896475

Стандартний підхід при використанні  $K_z$  який за своєю сутністю має імовірнісний характер, вимагає апроксимації результатів отриманих в процесі спостережень тому значення коефіцієнту готовності, що наведені в табл. 4.9 були апроксимовані функцією виду

$$y = \frac{a + vx}{1 + cx + dx^2}, \quad (4.27)$$

де параметри функції мають наступні значення:

$$a \approx 0; v = 14,2611; c = 15,3009; d = 0,0734.$$

Вибір апроксимаційної функції відбувався за умови мінімуму середньоквадратичного відхилення.

Експериментальні дані і їх апроксимація наведені на рис.4.11.

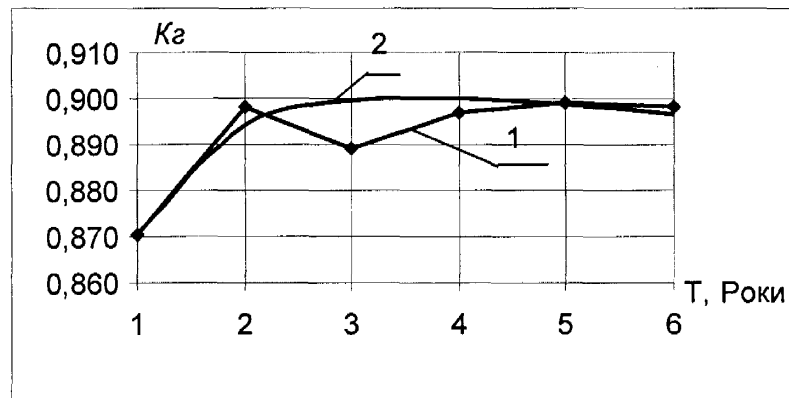


Рис. 4.11 – Графіки зміни в часі T 1-експериментальних та 2-розрахункових значень  $K_z$  для ЛАЛ типу ІФЛ-225.

На рис. 4.12 наведена динаміка зміни граничного значення діагностичної ознаки згідно апроксимації  $K_z$  для різних значень  $K_{TE}$  по роках, а на рис. 4.13 наведена динаміка зміни  $\tau_{gr}$  для  $K_{TE}=0,55$ .

Аналіз отриманих результатів показує, що із зменшенням  $K_{TE}$  середнє значення  $\tau_{gr}$  зростає нелінійно, на початку експлуатації МТ-ЛАЛ, граничне значення (протягом перших двох років стрімко зростає), що пояснюється періодом припрацювання, в подальшому  $\tau_{gr}$  майже не змінюється (етап

нормальної роботи). Етап старіння неврахований. На рис. 4.14 наведена залежність  $\tau_{gr}$  від середнього радіусу роликів. Динаміка зміни граничного значення  $\tau_{gr}$  від часу  $T$  і від значення основного фізичного параметру в загальному подібні, що підтверджують результати теоретичних досліджень наведених вище.

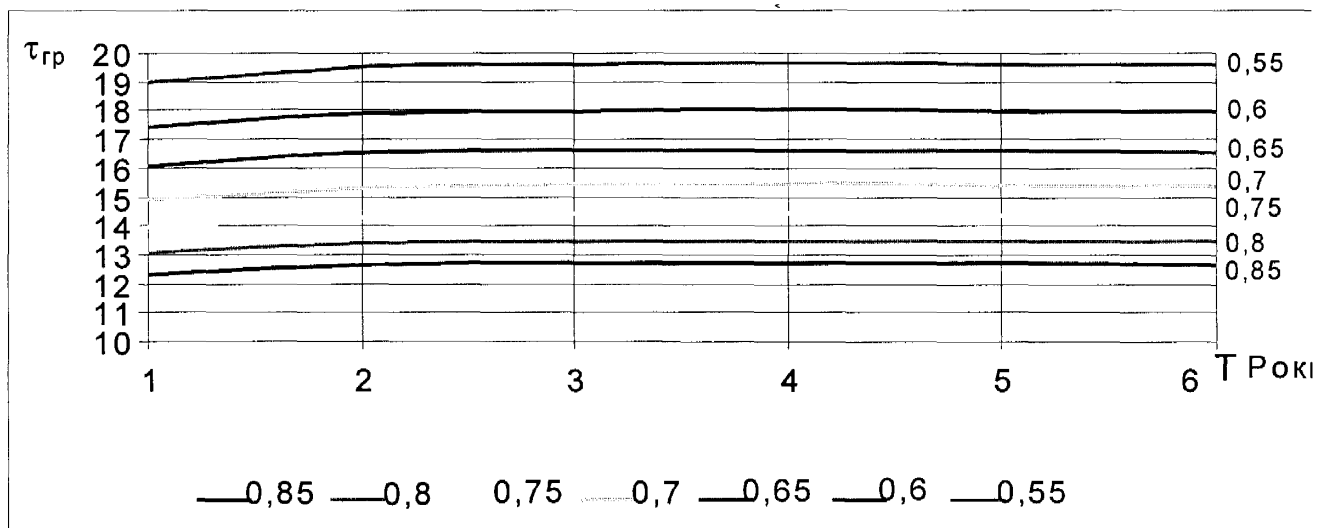


Рис. 4.12 – Динаміка зміни  $\tau_{gr}$  в часі  $T$  для різних значень  $K_{TE}$

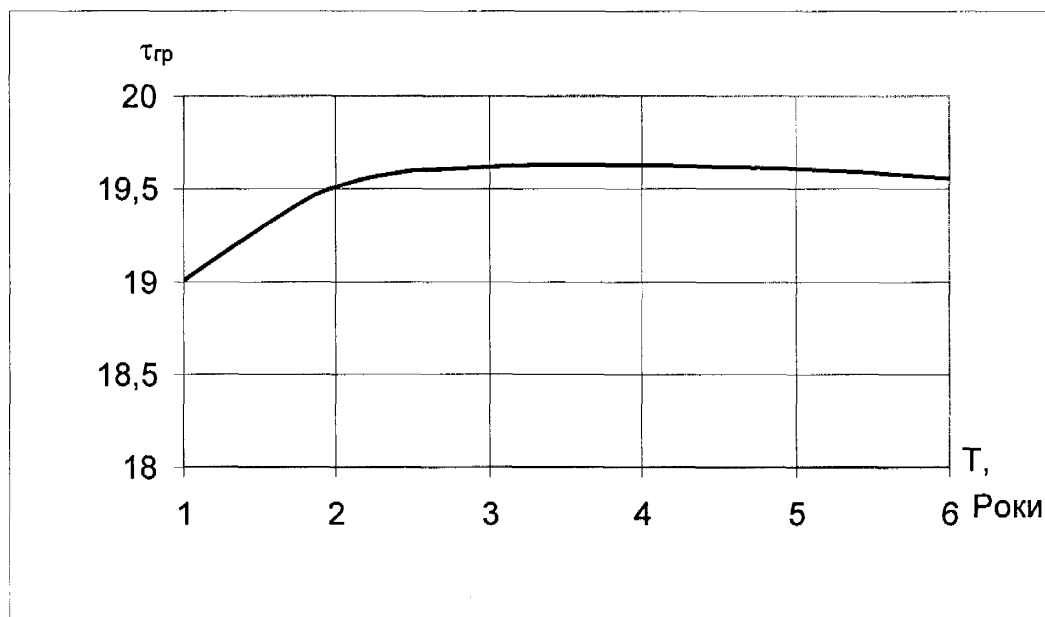


Рис. 4.13 – Динаміка зміни  $\tau_{gr}$  в часі  $T$  для  $K_{TE} = 0,55$ .

На рис. 4.15 наведено графік залежності граничного значення діагностичної ознаки від коефіцієнтів готовності і технічної ефективності. Слід зауважити, що для визначення значення коефіцієнту технічної ефективності необхідно враховувати прогнозоване значення коефіцієнту готовності таким чином щоб їх відношення було більшим за одиницю.

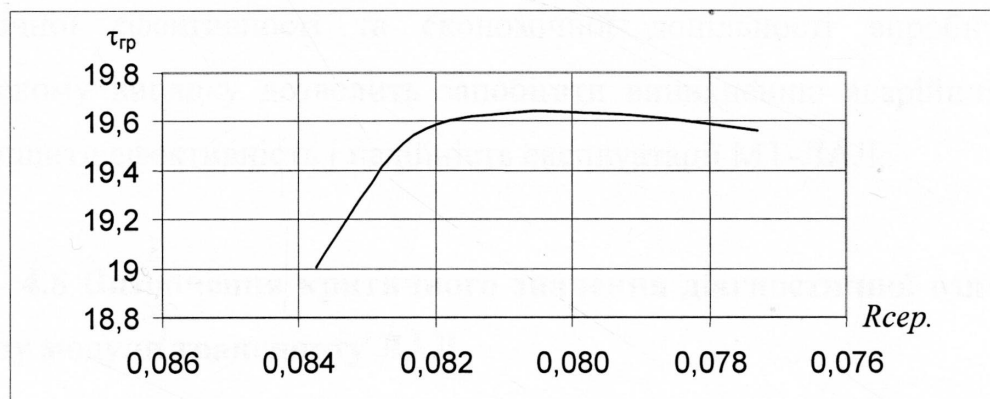


Рис. 4.14 – Динаміка зміни  $\tau_{гр}$  в залежності від середнього значення  $R_{сер}$  радіусу ролика МТ ЛАЛ

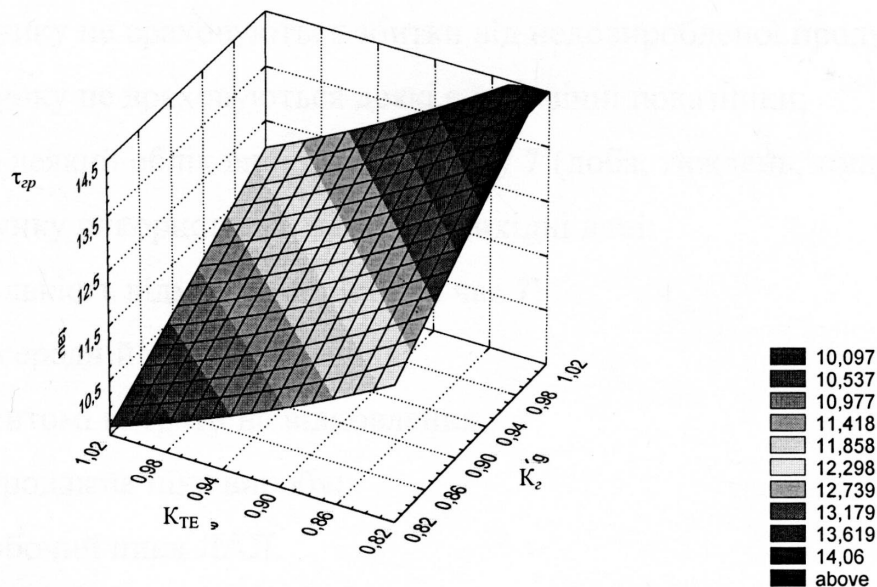


Рис. 4.15 – Залежність  $\tau_{гр}$  від  $K_2$  і  $K_{ТЕ}$ .

У випадку використання критерію економічної доцільності виробництва граничне значення діагностичної ознаки може бути визначено за формулою

$$\tau_{zp} = \tau_0 \frac{C_g}{C_p} \cdot \frac{(1 - K_z)}{K_{TE}} \quad (4.28)$$

де  $C_g$ - відпускна ціна однієї відливки;  $C_p$ -витрати на відновлення.

Використання отриманих вище результатів дозволить визначати граничні значення діагностичних ознак станів МТ-ЛАЛ з врахуванням критеріїв технічної ефективності та економічної доцільності виробництва, що в кінцевому випадку дозволить запобігати виникненню аварійних ситуацій та підвищити ефективність і надійність експлуатації МТ-ЛАЛ.

#### 4.8 Визначення критичного значення діагностичної ознаки робочого циклу модуля транспорту ЛАЛ

Визначення критичного значення діагностичної ознаки (визначення часу руху опоки по рольгангу) проведемо виходячи з наступних умов:

1. Інтенсивність настання відмов вважається сталою;
2. В розрахунку не враховуються збитки від недовиробленої продукції;
3. В розрахунку не враховуються деякі економічні показники;

Приймаємо деякий обліковий інтервал часу  $T$  (доба, тиждень, тощо).

Для розрахунку використаємо наступні вихідні дані:

$N$  – кількість відмов за обліковий час  $T$ ;

$T_{від}$  – середній час відновлення;

$C_p$  – питомі витрати на відновлення;

$C_g$  – продажна ціна виробу;

$T$  – робочий цикл ЛАЛ.

1. Час простою ЛАЛ складає  $T_{np} = N \times T_{від}$ .
2. Збитки від простоїв ЛАЛ складають  $Z = T_{np} \times C_p$ .
3. Чистий час роботи ЛАЛ буде  $T_p = T - T_{np}$ .
4. За час  $T$  буде оброблено опок  $\Pi = \frac{T_p}{\tau} = \frac{T - T_{np}}{\tau}$ .

5. Виручка отримана від реалізації вироблених відливок буде складати  $V = \Pi \times C_v$ .

Критична умова економічної доцільності експлуатації ЛАЛ полягає в співвідношенні  $Z = V$  (нульовий прибуток). Якщо враховувати різні рівні рентабельності виробництва  $P$ , то умова доцільності виробництва буде мати такий вигляд  $Z = (1 - P) \times V$ . Відповідно до цих рівнів отримуємо набір критичних значень діагностичної ознаки.

З умови доцільності  $T_{np} \times C_p = \frac{T - T_{np}}{\tau_{кр}} \times C_v$  отримуємо критичне значення діагностичної ознаки  $\tau_{кр} = \frac{C_v}{C_p} \times \frac{T - T_{np}}{T_{np}}$ .

При використанні відомого коефіцієнту готовності  $K_2$  остання формула набуде вигляду  $\tau_{кр} = 2 \times \frac{C_v}{C_p} \times K_2$ .

Аналогічно можна безпосередньо визначити і значення коефіцієнта якості згідно формули

$$K_y = \frac{\Pi_n}{\Pi_n} = \frac{1}{\Pi_n} \times \frac{C_p}{C_v} \times T_{np},$$

де  $\Pi_n$  – номінальне виробництво за той же час.

#### 4.9 Оцінка точності визначення тривалості робочого циклу модуля транспорту ЛАЛ

В літературних джерелах відсутні результати досліджень точності визначення працездатності (запасу працездатності) МТ-ЛАЛ. Розглянемо питання оцінки точності визначення запасу працездатності в рамках вищенаведеної моделі.

Точність визначення запасу працездатності складається з двох складових:

- точність вимірювання робочого циклу (інструментальна похибка),
- точність визначення діагностичної ознаки (методологічна похибка).

Згідно запропонованої схеми робочий цикл вимірюється шляхом порівняння сигналів вхідних і вихідних кінцевих вимикачів МТ-ЛАЛ з сигналами системного таймера. Враховуючі, що частота системного таймера складає 12 Гц, точність визначення робочого циклу буде

$$\Delta_i = 2 \cdot \frac{1}{12} = 0,17c.$$

Водночас з проведенням імітаційного експерименту по визначенню оптимальної ширини "ковзуючого вікна" визначалася і відповідна до ширини вікна похибка визначення діагностичної ознаки.

Аналіз результатів імітаційного експерименту показав, що розподіл відхилень ширини вікна від оптимальної близький до нормального, тому для оцінки методичної похибки визначення діагностичної ознаки можна використати стандартну методику:

$$\Delta_m = t \cdot \sigma_d,$$

де  $t$  – критичне значення критерію Студента при рівні надійності  $\alpha$  і об'ємі вибірки  $N$ ,

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення ширини вікна.

Значення середньоквадратичного відхилення ширини вікна отримано в процесі імітаційного експерименту по визначенню оптимальної ширини вікна і приведені в табл. 4.10.

Враховуючи, що при проведенні імітаційного експерименту кількість реалізацій для кожного набору параметрів складала 10000, то для критичного значення критерію Студента можна взяти його асимптотичне значення, наприклад для рівня надійності  $\alpha=0,5$   $t$  складає значення порядку 1,6479.

Так як мінімальне значення робочого циклу МТ-ЛАЛ є величина порядку 14 с., а максимальне значення середньоквадратичного відхилення визначення діагностичної ознаки величину порядку 0,598 с точність визначення запасу працездатності не буде перевершувати величину порядку

$$\Delta = \frac{\Delta_i + \Delta_m}{\tau} \cdot 100\% = \frac{0,17 + 1,6479 \cdot 0,598}{14} \cdot 100\% = 6,71\%,$$

що є цілком достатнім, виходячи з загальної тривалості операції по виготовленні однієї відливки ЛАЛ.

Таблиця 4.10

Середньоквадратичне відхилення визначення  $\tau_p$

φ	b <sub>ср</sub>	λ			
		0.5	0.1	0.05	0.02
0.1	0.000001	0,416	0,423	0,433	0,438
	0.000002	0,408	0,418	0,428	0,435
	0.000004	0,401	0,413	0,421	0,430
	0.000006	0,399	0,408	0,415	0,428
	0.000008	0,396	0,402	0,411	0,426
0.3	0.000001	0,452	0,489	0,499	0,526
	0.000002	0,448	0,482	0,498	0,521
	0.000004	0,432	0,465	0,481	0,497
	0.000006	0,429	0,453	0,476	0,485
	0.000008	0,412	0,432	0,471	0,480
0.7	0.000001	0,576	0,581	0,590	0,598
	0.000002	0,522	0,558	0,578	0,584
	0.000004	0,511	0,517	0,534	0,567
	0.000006	0,481	0,492	0,524	0,542
	0.000008	0,425	0,471	0,488	0,521



## Висновки до розділу

– Розроблена повномасштабна модель стендової установки – модуля транспорту ЛАЛ, яка дозволяє провести комплекс експериментів по дослідженню процесу зношення роликів рольгангу.

– Розроблено методичне забезпечення стендових досліджень (методика визначення тягового зусилля і потужності та точності виготовлення рольгангів).

– Проведені результати експериментальних досліджень зносу діаметра роликів, які дозволили встановити закономірності їх зносу обумовлених твердістю роликів, режимами роботи рольгангу, розмірами направляючих.

– Проведена перевірка на адекватність математичної моделі процесу зношення роликів з результатами експериментальних даних по зносу роликів підтвердила її працездатність.

– Обгрунтовано вибір умови працездатності діагностичної ознаки – середнього діаметру роликів МТ виходячи з визначених умов (інтенсивність настання відмов вважається сталою, не враховуються збитки від недовиробленої продукції, тощо), що дозволило врахувати основні економічні показники роботи ЛАЛ-її продуктивність.

– Виходячи з лінійної зміни параметрів розподілу радіусів роликів в залежності від кількості циклів доказано, що середнє значення радіуса роликів виступає як індикатор стану рольгангу.

– Розроблені процедури визначення критичного значення діагностичної ознаки та її точності, врахування яких дозволяють уникнути аварійних ситуацій, обумовлених зміною технічного стану МТ.

## РОЗДІЛ 5

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ МОДУЛЯ ТРАНСПОРТУ ЛАЛ

В розділі приводиться аналіз і характеристика систем контролю і управління транспортними засобами і механізмами ЛАЛ, розглянуто функціональні схеми систем управління модулем транспорту ЛАЛ. Розроблений алгоритм контролю модуля транспорту на основі запропонованої в розділі 3 математичної моделі та алгоритмів визначення параметрів модуля транспорту. Розглянуто функціонування розробленої системи контролю і управління, її конструкцію та приведена оцінка похибок системи контролю.

#### **5.1 Загальна характеристика систем контролю і управління транспортними засобами і механізмами ЛАЛ**

Проблема забезпечення надійності модулів автоматичних ліній зводиться, в основному, до впровадження розроблених оптимальних систем контролю технічного стану (КТС) транспортних засобів і інших модулів ЛАЛ.

Тенденція розвитку сучасних систем КТС ЛАЛ направлена на збільшення кількості контролю виконавчих функцій, та перехід до більш жорстких і точних режимів. Вона обумовлена неперервною інтенсифікацією технологічних процесів, що, в свою чергу, призводить до ускладнення системи управління і збільшення кількості взаємопов'язаних елементів, а також підвищення відповідальності до виконання системою функцій. Внаслідок цього підвищуються вимоги до безвідмовності системи та її ефективності контролю.

Задача правильного вибору варіанту контролю технологічних параметрів і управління транспортними засобами і механізмами сьогодні займає особливе

значення, так як від вибору оптимальної системи залежить забезпечення надійності ЛАЛ в цілому.

Вибраний варіант системи контролю і управління, як транспортними засобами так і механізмами повинен забезпечувати:

- контроль технологічних параметрів МТ-ЛАЛ;
- виконання команд з високою точністю;
- мобільність при зміні об'єкту виробництва;
- синхронізацію переміщень в різних циклах;
- високу надійність роботи;
- виконання значного числа технологічних функцій.

Системи контролю і управління транспортними засобами і механізмами ЛАЛ можна класифікувати за різними ознаками: за принципом впливу збурюючих параметрів, числом контрольованих показників; числом потоків інформації; видом інформації і інших ознаках.

За ступенем централізації системи контролю поділяються на централізовані і децентралізовані. Централізовані, або незалежні, системи контролю характеризуються тим, що контроль технологічних параметрів всім циклом транспортної системи виконуються з центрального командного пристрою (пульта), незалежно від дії і положення виконавчих механізмів і робочих органів. До числа недоліків подібних систем можна віднести складність ідентифікації контрольованого параметру і вибору виконавчого механізму.

Децентралізовані системи контролю характеризуються тим, що кожний наступний крок одного виконавчого елементу може відбуватися лише після позитивного завершення попереднього. Їх перевагою є відсутність складного блокування переміщень так як команди подаються лише після закінчення попередньої операції. Такі системи є більш простими в експлуатації, обслуговуванні і надійні в роботі. Для побудови будь-якої складності системи контролю обладнання МТ-ЛАЛ використовують технічні засоби як електромеханічні так і електронного типу.

Розробка нових і вдосконалення діючих систем контролю технологічних параметрів транспортними засобами повинна відповідати досягнутому рівню технології, складності виробництва та іншим вимогам. В останні роки, як в нашій країні так і за її межами поряд з системами контактного варіанту все більше знаходять застосування безконтактні системи контролю (БС), побудовані на базі інтегральної мікросхемотехніки [19,22,8,53,54,58]. Відсутність новітніх розробок системи контролю транспортними засобами які забезпечують економічну роботу як самих транспортних засобів так і ЛАЛ в цілому поставило задачу до створення нових систем контролю модулем транспорту ЛАЛ.

## **5.2 Аналіз систем контролю модулем транспорту ЛАЛ**

Розглянуті вище системи контролю використовуються в різних галузях, зокрема в металургії і можуть бути використані для контролю технічного стану транспортних систем, наприклад, в ливарному виробництві при транспортуванні опок, форм та напівформ.

Відомі системи для контролю ритмічної роботи обладнання [80], в які входять давачі робочого циклу, реле часу, виконавчі механізми, перемикачі, відповідно з'єднані між собою і призначені для вимірювання фактичної тривалості визначеного робочого циклу агрегату, або тривалості окремих переходів циклу з їх фіксацією інформації на відеоблоці. Система призначена лише для контролю і реєстрації часу роботи агрегату і тому не ефективна при використанні для контролю параметрів транспортної системи. Її застосування вимагає додаткових запобіжних пристроїв, що в свою чергу знижує продуктивність транспортної лінії.

Вищевказаних недоліків позбавлено систем контролю і управління транспортною системою (ЛАЛ) [22] яка складається з первинних давачів, логічних елементів "І", "І-НЕ", "АБО-НЕ" тощо, запам'ятовуючого пристрою на RS-тригері, інтерфейсів, порівняльних логічних елементів.

Недоліком даної системи є низька експлуатаційна надійність, через неможливість забезпечення оптимального режиму контролю в автоматичному режимі і аварійної зупинки рольганга при перевантаженні.

В умовах експлуатації виникають ситуації, коли не забезпечується безперервна подача номінальної кількості опок, а так як пристрій контролює появу першої опоки і її вихід, тобто система не реагує на номінальну кількість опок на рольгангу, а лише на появу опоки на вході і, відповідно, на виході, не забезпечується контроль безперервної подачі номінальної кількості опок. Аналізуючи існуючі системи бачимо, що використання будь-якої із них має ряд недоліків, які не дозволяють застосувати їх для контролю МТ-ЛАЛ.

### **5.3 Розробка алгоритму функціонування системи контролю стану модуля транспорту ЛАЛ**

Алгоритм контролю стану модуля транспорту ЛАЛ ґрунтується на математичній моделі розглянутій в розділі 3 та на алгоритмах визначення параметрів модулів викладених в розділі 4.

Система контролю стану транспорту модуля, реалізована на основі розглянутого алгоритму (рис. 5.1). Переваги системи полягають в тому, що вона є:

- системою контролю реального часу , так як визначення параметрів роботи модуля транспорту ЛАЛ відбувається під час його роботи ;
- статистичною, так як застосовуються алгоритми оцінки параметрів моделей засновані на методах математичної статистики;

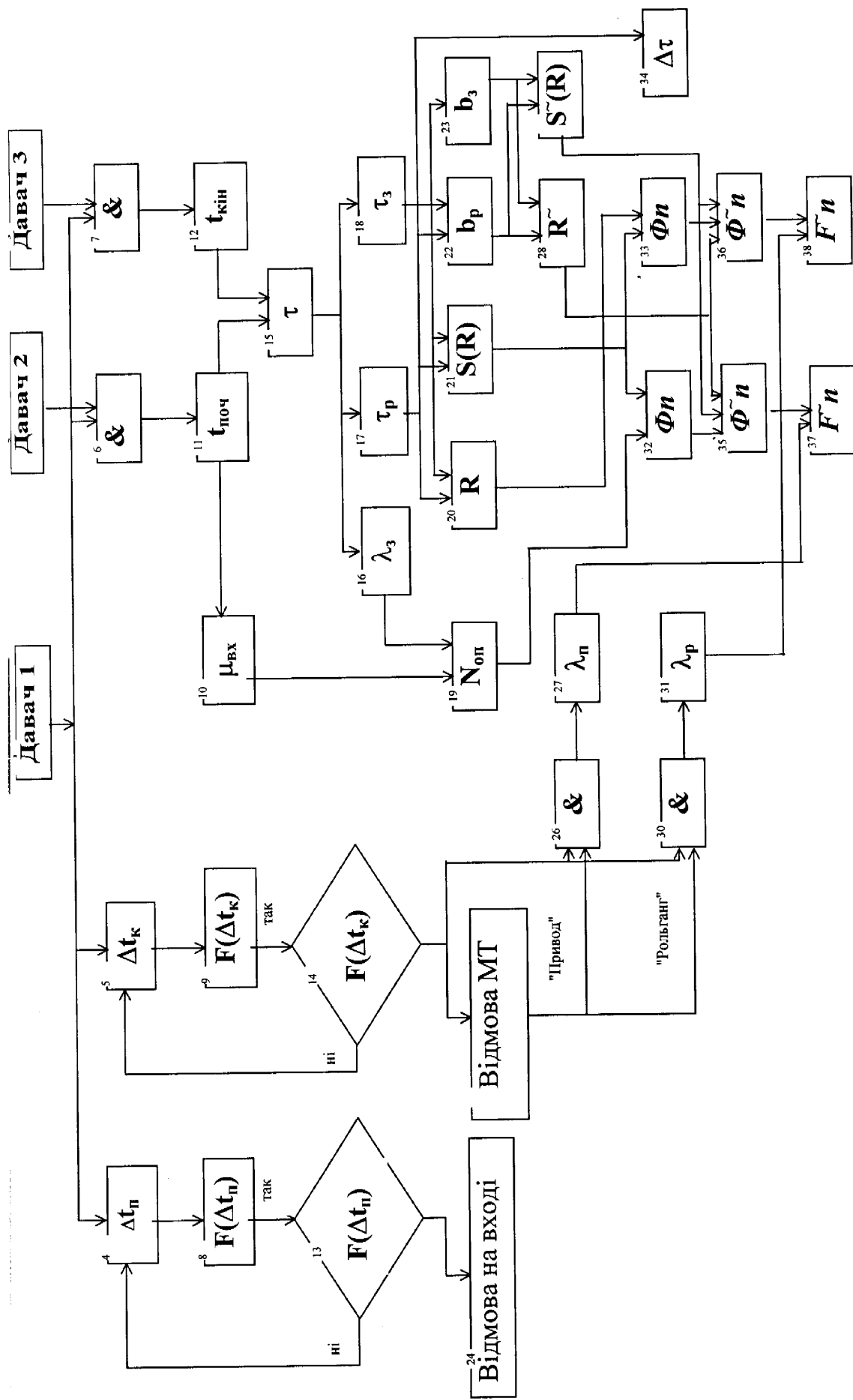


Рис. 5.1 Алгоритм функціонування системи контролю працездатності модуля транспорту ЛАЛІ

- адаптивною, так як параметри моделей уточнюються під час роботи модуля транспорту ЛАЛ.

Джерелом інформації для системи є три первинних давача: давач реального фізичного часу 1, давач поступлення опоки на рольганг 2 і давач зняття опоки з рольгангу 3.

Система працює наступним чином. Давач 1 з частотою (10Гц) фіксує значення фізичного часу. В момент спрацювання давача 2 відповідне значення часу поступлення опоки на рольганг заноситься у відповідний буфер "Вхід" типу FIF. Аналогічно при спрацюванні давача 3 час зняття опоки з рольгангу заноситься у відповідний буфер "Вихід" типу FIFO.

Різниця між останніми значеннями буфера "Вихід" і "Вхід" дає значення робочого циклу  $\tau$ . Одночасно розраховуються значення часу очікування поступлення опоки на рольганг, як різниця між значенням фізичного часу, яке видає давач 1 і перше значення буфера "Вхід". Оскільки вхідний потік опок на рольганг підпорядковується пуасонівському, то час очікування буде визначатися як експоненціальна функція розподілу.

$$F = 1 - e^{-\mu x} . \quad (5.1)$$

Тому задаючи деякий рівень надійності  $\alpha$  можна розрахувати час очікування, який свідчить про збій на подачі опок на рольганг (блоки алгоритму 4,8,13,24). При перевищенні допустимого значення часу очікування система видає обслуговуючому персоналу повідомлення про невідповідність технологічного циклу роботи.

Аналогічно за значеннями фізичного часу виходу останнього елемента із буфера "Вихід" розраховується поточне значення робочого циклу (час перебування опоки на рольгангу). Якщо час перебування опоки на рольгангу перевищує критичне значення визначене при наперед заданому рівні надійності  $\alpha$  згідно функції розподілу значень робочого циклу (3.89), то система робить повідомлення про імовірну відмову модуля транспорту (блоки 5, 9, 14).

Досліджували ситуацію, що склалася у відповідності до результатів контролю інформує система про причини перевищення критичного значення тривалості робочого циклу (блоки 25, 26, 60). Результати перевірки запам'ятовуються. Таким чином система контролю підтримує журнал відмов в електронному варіанті, інформація з якого використовується для визначення і уточнення параметрів моделі інтенсивності відмов (3.64) (блоки 26, 27, 30, 31). За декількома значеннями робочого циклу  $\tau$ , які отримані за значеннями часу поступлення опоки на рольганг і часу зняття опоки з рольгангу (відповідні значення елементів буферів "Вхід" і "Вихід") визначаються значення робочого циклу  $\tau$ , часу переміщення опоки по рольгангу  $\tau_p$ , часу затримки опок  $\tau_z$  і інтенсивності затримок  $\lambda_z$  згідно алгоритму (3.90) (блоки 15, 16, 17, 18).

Середні значення кількості опок на рольгангу (3.92) (блок 19), поточні значення середнього радіусу роликів  $\bar{R}$  (3.87) (блок 20,28) і значення дисперсії радіусів роликів  $S(R)$  (блоки 21,29) розраховуються і уточнюються значення коефіцієнтів моделей зміни радіусів роликів (3.97) (блок 22) у випадку нормальної роботи і (3.93) (блок 23) у випадку затримки опок на рольгангу.

Одночасно підраховуються накопичені навантаження на "рольганг" і "привід" (3.82) (блоки 32 і 33). За розрахунковими даними визначається запас працездатності (3.109) (блок 34) і степінь працездатності рольгангу (3.110) (блок 37) та визначаються прогнозовані значення імовірностей відмов по рольгангу і приводу (блоки 35, 36, 38, 39).

Результати розрахунків видаються обслуговуючому персоналу, який приймає відповідні рішення щодо підтримання ділянки МТ-ЛАЛ в робочому стані. Такі операції виконуються паралельно для всіх ділянок модуля транспорту ЛАЛ.



#### **5.4 Функціональна схема і принцип роботи системи контролю і управління технологічними параметрами модулем транспорту ЛАЛ**

Система призначена для дистанційного контролю за переміщенням опок і може бути використана для поточних спостережень за зміною часу переміщення опоки на рольгангу і тривалістю циклу, а також передачі даних про зміну параметрів технологічного обладнання.

Дана система дає можливість контролювати:

- окремий об'єкт технологічного процесу рольгангової системи ;
- всю рухому систему рольгангу.

На відміну від аналогів даної системи, які дають можливість визначати положення окремої опоки лишень через контроль всієї мережі, запропонована система може автономно використовуватися для визначення положення і часу переміщення як окремої опоки так і всього технологічного циклу контролю.

Розроблена система контролю – це сукупність первинних перетворювачів і вторинного пристрою, які зв'язані з мікро ЕВМ.

Перевагою системи є те, що вона не потребує визначення зміни часу перебування окремої опоки на рольгангу через складні обчислення всього циклу, а дає можливість отримувати будь-який контролюючий параметр на протязі всього технологічного циклу.

В системі перевіряється цикл переміщення кожної із опок, та проводиться порівняння з наперед заданим циклом.

Відмінністю запропонованої системи є те, що первинні давачі використовуються для визначення зміни часу переміщення опоки, а також абсолютний час знаходження опоки на рольгангу під час технологічного циклу, що дає можливість контролювати тривалість окремої операції і порівнювати її з іншими на протязі технологічного циклу.

Структурна схема системи контролю працездатності модуля транспорту ЛАЛ приведена на рис. 5.2.

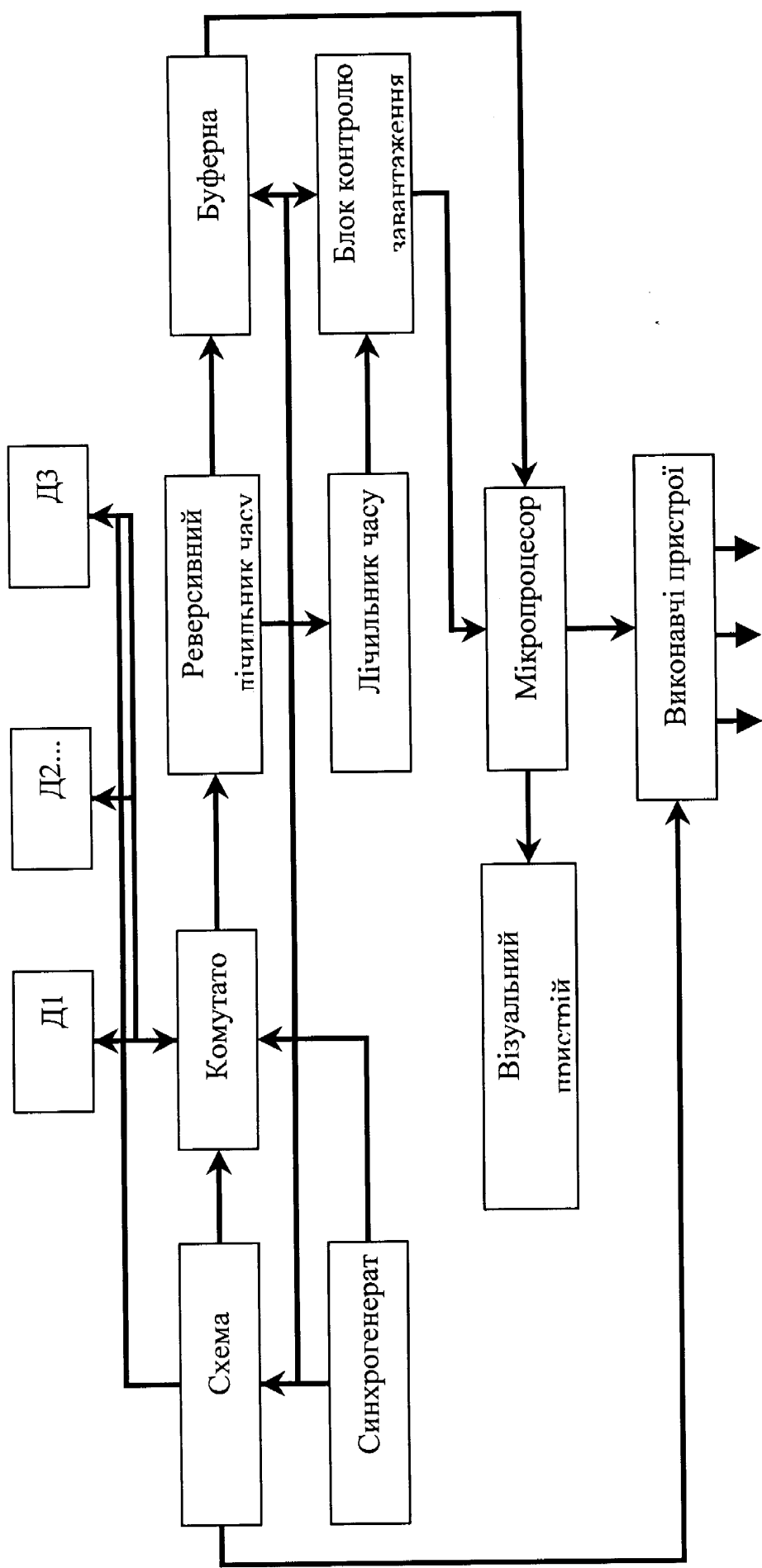


Рис. 5.2 Структурна схема системи контролю працездатності модуля транспорту МТ-ЛДЛ

Система контролює час переміщення опоки на рольгангу з визначенням напрямку його зміни в більшу чи в меншу сторони.

Призначення блоків системи: вимірювальні первинні перетворювачі в вигляді світло і фотодавачів, розміщених по різні сторони рольгангу, служать елементом первинної інформації, завдяки якій фіксується час знаходження опоки на рольгангу. Комутатор призначений для підключення первинних перетворювачів до схеми контролю, а також кожного елементу для визначення зміни напрямку переміщення. Схема управління призначена для управління блоками системи, черговості їх включення, а також синхронізації обробки сигналу.

Запам'ятовуючий буферний пристрій призначений для запам'ятовування номеру первинного перетворювача, який включений в процес контролю і запам'ятовує, чи на даному етапі підключається до контролю вся система, чи окремий перетворювач або блок перетворювачів. Синхрогенератор видає сигнали в певній послідовності на блоки пристрою для роботи технологічного обладнання за певним алгоритмом і для автономного їх керування. Частота повторення реверсивного лічильника визначає можливість зміни тривалості циклу чи окремої операції. Блок контролю завантаження містить декілька обчислювальних блоків і призначений для обробки отриманого інформаційного сигналу визначення величин тривалості циклу і напрямку його зміни. Лічильник часу визначає номер перетворювача і абсолютний час переміщення окремої опоки і представляє собою запам'ятовуючий пристрій, який, отримавши сигнал з комутатора, визначає номер перетворювача і початок відліку, що є фактично вимірювальною величиною. Візуальний блок служить для візуалізації інформації на протязі всього технологічного циклу. Мікропроцесорний пристрій побудований на мікро ЕОМ серії АТ89С55, додаткових мікросхем портів, оперативної запам'ятовуючої пам'яті та аналого-цифрового перетворювача, призначений для обробки отриманих результатів при визначенні тривалості операції як елементів рольгангу, так і технологічного

процесу в цілому. Виконавчі пристрої призначені для проведення в певній послідовності команд в реальному масштабі часу.

Робота пристрою полягає в наступному. Синхронізуючий сигнал поступає на відповідні блоки в режимі внутрішньої синхронізації через запропоновані періоди часу. В режимі зовнішньої синхронізації сигнал з схеми керування поступає на задану схему, що є початком опитування всіх вимірювальних перетворювачів технологічної операції або окремо взятого перетворювача. Схема управління із системою давачів, в основі якої покладено патент на винахід є окремим функціональним блоком.

На рис.5.3 зображена функціональна схема пристрою.

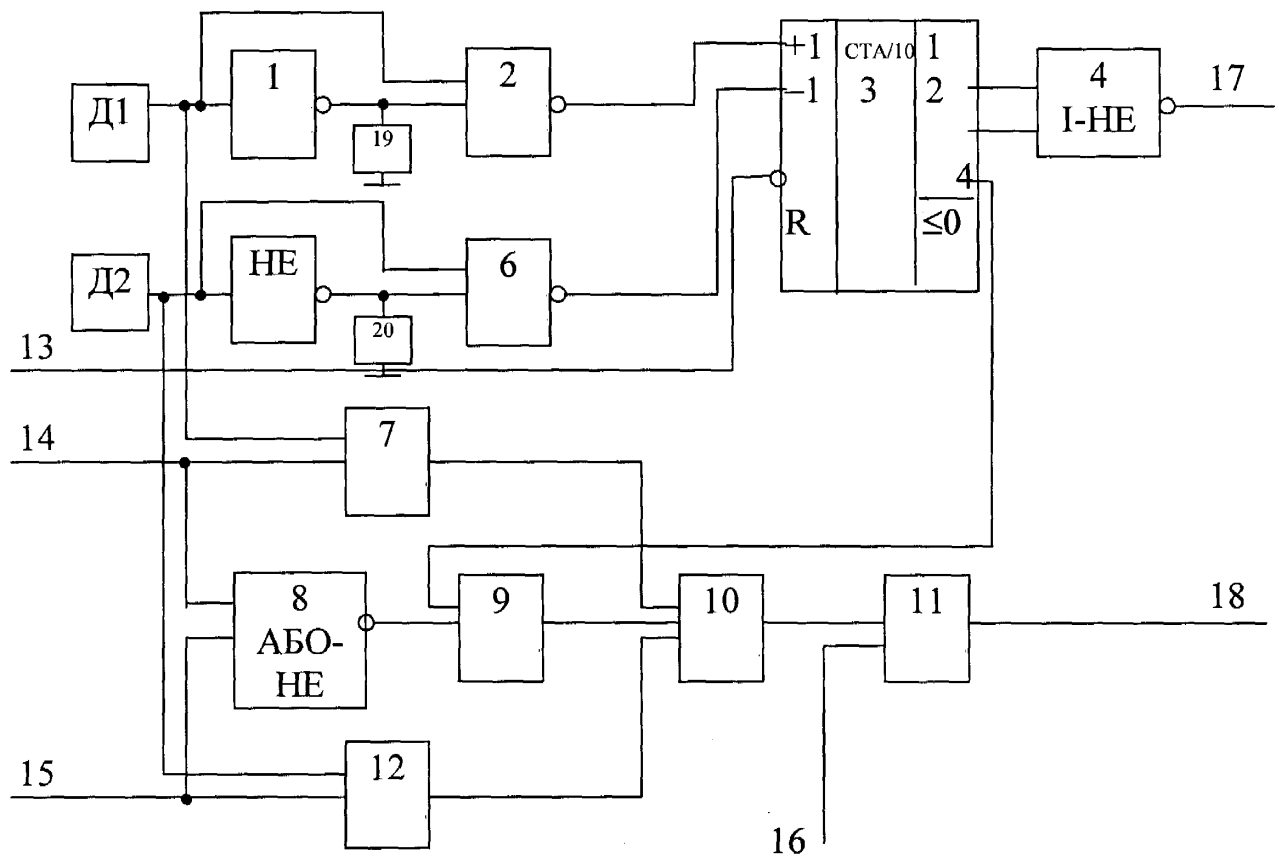


Рис. 5.3 Пристрій контролю і управління стану працездатності модуля транспорту ЛАЛ

В основу запропонованого пристрою контролю і управління покладено логічний блок аналізу завантаженням транспортної системи, шляхом введення додаткових елементів, що дозволило підвищити її експлуатаційну надійність,

при цьому забезпечити оптимальний режим транспортування безперервною подачею опок, а також аварійну зупинку двигунів приводу рольгангів.

Пристрій містить [10] перший Д1 і другий Д2 давачі положення, перший і другий елементи "НЕ" 1, 5, перший, другий і третій елементи "І–НЕ" 2, 6, 4, перший, другий, третій і четвертий елементи "І" 7, 12, 9, 11, елемент "АБО" 10, елемент "АБО–НЕ" 8, реверсивний лічильник "СТ2/10" 3, першу, другу, третю і четверту входні шини 13, 14, 15, 16 та першу і другу вихідні шини 17, 18, а також елементи блокування С1 і С2 19, 20. Пристрій працює наступним чином.

Перший давач положення Д1 встановлений на вході в рольганг. При поступленні опоки на рольганг замикається давач Д1 і видає сигнал логічної одиниці ("1"), яка поступає на перші входи: першого елемента "І–НЕ" 2, першого елемента "І" 7, а також на перший елемент "НЕ" 1, вихід якого з'єднаний з другим входом першого елемента "І–НЕ" 2. Другий давач положення Д2 встановлений на виході з рольганга. При поступленні опоки на рольганг давач Д2 замикається і видає сигнал логічної одиниці ("1"), який подається на перші входи другого елемента "І–НЕ" 6, другого елемента "І" 12, а також на другий елемент "НЕ" 5, вихід якого з'єднаний з другим входом другого елемента "І–НЕ". Вихідний сигнал першого елемента "І–НЕ" 2 подається на лічильний вхід "+1" реверсивного лічильника. При подачі кожного наступного імпульса на даний вхід, лічильник підраховує число входних імпульсів і видає на виходи 1, 2, 4 сигнал про кількість імпульсів, які прийшли на вхід лічильника, у двійковому коді. Рахунок здійснюється в наростаючому порядку. Вихідний сигнал другого елемента "І–НЕ" 6 подається на вхід "-1" реверсивного лічильника. При подачі кожного наступного імпульсу на цей вхід, лічильник, аналогічно по входу "+1" підраховує число входних імпульсів. При цьому рахунок здійснюється в зворотному порядку. Таким чином, якщо на вхід "+1" прийшло п'ять імпульсів, а на вхід "-1" прийшло три імпульси, то на виході лічильника буде двійковий код числа  $5-3=2$  (010). Виходи 2 і 4 реверсивного лічильника заведено на вхід третього елемента "І–НЕ" 4. Тільки при наявності на обох входах цього елемента рівнів логічної "1" (це відповідає

наявності на рольгангу у даний момент шести опок – двійковий код 110) на виході цього елемента буде рівень логічного "0". Цей низький рівень сигналу використовується як керуючий на попередню транспортну ступень перед рольгангом для повідомлення про те, що рольганг уже заповнений номінальною кількістю опок, і до його розвантаження подальша подача опок на рольганг заборонена. До R-входу підключена вхідна шина 13, що забезпечує повернення лічильника в початковий стан при подачі логічного "0". Подача логічного "0" на вхід R лічильника використовується при початковій ініціалізації пристрою в момент включення системи. Вхідна шина 14 використовується для реалізації крокового режиму роботи пристрою управління транспортною системою. Шина 14 підключена до другого входу першого елемента "Г" 7 та до першого входу елемента "АБО-НЕ" 8.

У випадку приходу одиничного імпульсу на шину 14 система може працювати за двома варіантами:

– якщо на вході рольганга стоїть опока, тобто давач Д1 видає сигнал логічної "1", то при наявності "1" на шині 14 на виході першого елемента "Г" 7 рівень логічної одиниці. Цей сигнал подається на один з трьох входів елемента "АБО" 10 і далі у вигляді логічної "1" на вхід четвертого елемента "Г" 11. Вихід четвертого елемента "Г" 11 здійснює формування сигналу вмикання транспортної системи рольганга. Але таке вмикання системи буде здійснюватись лишень при наявності високого логічного рівня сигналу "1" на другому вході четвертого елемента "Г" 11. Сигнал на цей вхід подається з наступної ступені транспортної системи. Тобто, якщо наступна ступень не розвантажена, то дозволу на вмикання транспортної системи рольгангу не має, навіть при наявності дозволяючого сигналу покрокового режиму роботи на вхідній шині 15.

– якщо на вході рольганга відсутня опока, тобто давач Д1 видає сигнал логічного "0", то при наявності "1" на шині 14 на виході першого елемента "Г" 7 рівень логічного "0". Тобто, на цьому каналі дозволу на вмикання транспортної системи не має. Але цей же сигнал з шини 14 подається на один з входів

елемента "АБО–НЕ" 8. Логічна "1" на шині 14 призведе до появи логічного "0" на другому вході третього елемента "І" 9, тому на виході елемента "АБО" 10 також буде "0", що не дозволяє вмикання транспортної системи. Таким чином, здійснюється захист від перенавантаження рольганга навіть при реалізації ручного крокового режиму.

Третя вхідна шина 15 використовується для звільнення рольганга від опок в ручному режимі шляхом подачі на неї логічної "1". Шина 15 з'єднана з другим входом елемента "І" 12 та з другим входом елемента "АБО–НЕ" 8. Коли на виході транспортної системи стоїть опока, тобто давач Д2 видає сигнал логічної "1" і на другому вході елемента "І" 12 рівень логічної "1", то це призведе до появи логічної "1" на виході елемента "АБО" 10 і, якщо існує дозвіл з наступної ступені транспортної системи, то на виході четвертого елемента "І" 11 буде рівень логічної "1" і рольганг вмикається для очистки від опок. В момент подачі високих рівнів сигналів по шині 14 або 15 канал реверсивного лічильника не використовується для реалізації управління.

Вихідні сигнали першого і другого елементів "І" 7, 12 поступають, відповідно, на перший та третій входи елемента "АБО" 10. Сигнали з виходу " $\leq 0$ " реверсивного лічильника та вихідний сигнал елемента "АБО–НЕ" 8 подаються, відповідно, на перший і другий входи третього елемента "І" 9. Вихідний сигнал цього елемента "І" подається на другий вхід елемента "АБО" 10. Вихід останнього під'єднаний до першого входу четвертого елемента "І" 11, а до його другого входу під'єднана четверта вхідна шина 16 — дозволу вмикання транспортної системи з наступної ступені рольганга. Виходи "2", "4" реверсивного лічильника з'єднані з відповідно першим та другим входами третього елемента "І–НЕ" 4. Вихід останнього є першою вихідною шиною 17, а вихід четвертого елемента "І" 11 — другою вихідною шиною 18. Таким чином, вихідними є дві шини. Перша шина — шина 17 формує сигнал керування на попередню ступень, дозволяючи її роботу. Вона формує сигнал керування для попередньої ступені рольганга аналогічний сигналу керування по четвертій

вхідній шині 16 для даної ступені транспортної системи. Друга шина — шина 18 забезпечує вмикання двигуна рольганга транспортної системи.

При подачі опоки на рольганг на виході давача Д1 появляється сигнал логічної "1". Це призводить до формування двійково – десяткового коду 001 на цифрових виходах реверсивного лічильника "СТ2/10" 3, а на виході " $\leq 0$ " формується сигнал логічної "1", який вмикає двигун рольганга. Проходження другої опоки призводить до появи на цифровому виході лічильника двійково – десяткового коду 010 (дві опоки на рольгангу) і так далі. По мірі виходу опок з рольгангу спрацьовує давач Д2 і на виході реверсивного лічильника 3 значення цифрового коду зменшується на одну одиницю. Двигун продовжує обертатись до тих пір, поки на рольгангу присутня хоча б одна опока. При відсутності опок на рольгангу на виході " $\leq 0$ " лічильника появляється сигнал логічного "0", тоді і на виході третього елемента "І" 9 буде сигнал логічного "0", що призведе до появи логічного "0" на виходах елемента "АБО" 10 і четвертого елемента "І" 11 — двигун зупиняється.

Отримана інформація поступає через реверсивний лічильник на буферну пам'ять, де запам'ятовується і даліше обробляється за певним алгоритмом в мікропроцесорному блоці. В випадку, коли лінія недовантажена з певних причин видається сигнал про незавершеність технологічного циклу.

## **5.5 Аналіз похибок розробленої системи контролю працездатності ливарних ліній**

### **Інструментальна похибка**

Інструментальна похибка складається із затримки спрацювання давачів Д1, Д2, Д3 (рис. 5.4), час затримки яких дорівнює 0,1 мкс. Відносна похибка часу спрацювання давачів буде дорівнювати:



$$\delta_D = 3 \cdot \frac{t_{3D}}{\tau} \cdot 100 \% = 21 \cdot 10^{-6} \% , \quad (5.2)$$

де  $t_{3D}$  – час затримки спрацювання давачів.

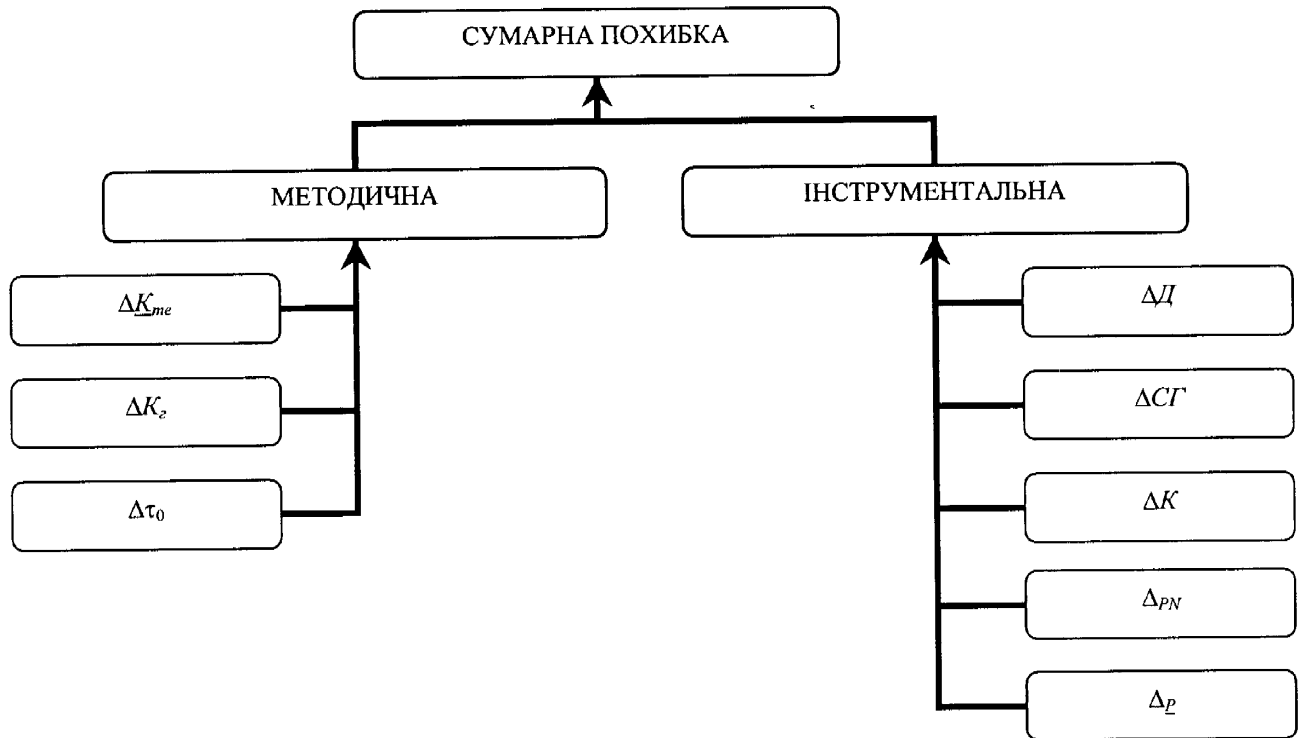


Рис. 5.4 Схема накопичення сумарної похибки.

Похибка спрацювання синхрогенератора дорівнює 1 мкс, (складається із похибок елементів схеми),

відносна похибка визначається як:

$$\delta_{CG} = \frac{t_{CG}}{\tau} \cdot 100 \% = 1 \cdot 10^{-4} \% , \quad (5.3)$$

де  $t_{CG}$  – час спрацювання синхрогенератора.

Похибка спрацювання комутатора дорівнює 80 нс, а відносна похибка рівна:

$$\delta_K = \frac{t_K}{\tau} \cdot 100 \% = 6 \cdot 10^{-7} \% , \quad (5.4)$$

де  $t_K$  – затримка спрацювання комутатора.

Похибка реверсивного лічильника часу  $\tau_{rn}$ , та лічильника часу  $\tau_p$  дорівнює найменшій поділці відліку, що складає 1 мс, відносні похибки будуть дорівнювати:

$$\delta_{pn} = \delta_p = \frac{t_{nod}}{\tau} \cdot 100 \% = 7 \cdot 10^{-3} \% , \quad (5.5)$$

де  $t_{nod}$  – час найменшої поділки відліку часу.

Сумарна інструментальна похибка дорівнює:

$$\delta_{инст} = \delta_D + \delta_{CG} + \delta_K + \delta_{pn} + \delta_p = 0,0071 \% . \quad (5.6)$$

### Методична похибка

При оцінці запасу працездатності за допомогою розробленої методики порівнюється отримане значення часу затримки проходження опоки по рольгангу  $\tau_3$  із критичним значенням  $\tau_{кр}$ .

Аналітично значення методичної похибки можна отримати диференціальним методом із (5) за допомогою формули:

$$\Delta\tau_{сум} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial\tau}{\partial l_i} \Delta l_i . \quad (5.7)$$

де  $N$  – кількість членів в рівнянні (5),

$i$  – індекс змінної в рівнянні (5),

$l$  –  $i$ -й аргумент залежності (5),

$\Delta l_i$  – значення абсолютної похибки вимірювання  $i$ -го параметру.

З урахуванням (5.7) отримаємо наступні залежності для розрахунку сумарної методичної похибки:

$$\Delta K_{me} = \frac{\partial \tau_{кр}}{\partial K_{me}} \Delta_{кр} = -\tau_0 K_2 \frac{1}{K_{me}^2} \Delta_{кр} \quad (5.8)$$

$$\Delta \tau_0 = \frac{\partial \tau_{кр}}{\partial \tau_0} \Delta_{\tau_0} = \frac{K_2}{K_{me}} \Delta_{\tau_0} \quad (5.9)$$

$$\Delta K_2 = \frac{\partial \tau_{кр}}{\partial K_2} \Delta_{K_2} = \tau_0 \frac{1}{K_{me}} \Delta_{K_2} \quad (5.10)$$

Значення абсолютних похибок вимірювання визначимо як:  $\Delta_{кр} = 0.001$ ,  $\Delta_{\tau_0} = 0.1$ ,  $\Delta_{K_2} = 0.02$ .

Отже, відносна методична похибка, враховуючи (5.8)-(5.10), буде рівною 3.2%.

Сумарна похибка з врахуванням формул (5.6) та (5.8)-(5.10) дорівнюватиме:

$$\delta_{сум} = \delta_{інст} + \delta_{мет} = 3.2 \% . \quad (5.11)$$

## Висновки до розділу

1. Розглянута загальна характеристика системи контролю працездатності транспортними засобами і механізмами ЛАЛ показала тенденцію на застосування сучасної елементної бази (мікросхем з великою ступеню інтеграції) при їх побудові та спрямованість на забезпечення економічної роботи як самих транспортних засобів, так і ЛАЛ в цілому.

2. Проведений аналіз сучасного стану систем контролю модулем транспорту ЛАЛ показав відсутність в таких системах операції по оцінці технічного стану (степені працездатності) модуля транспорту.

3. Запропоновано алгоритм функціонування системи контролю стану модуля транспорту ЛАЛ, побудований на базі математичної моделі процесу зношення роликів та алгоритмах визначення параметрів модулів, який дозволяє побудувати адаптивну систему, що працює в режимі реального часу і дозволяє оперативно і з великою вірогідністю визначити технічний стан модуля транспорту.

4. Розроблений блок контролю і управління модулем транспорту (БКУ-МТ) ЛАЛ, який є функціональною і невід'ємною частиною системи контролю стану модуля транспорту і дозволяє: підвищити експлуатаційну надійність системи керування; визначити робочий цикл, забезпечити оптимальний режим транспортування; підтримати номінальне завантаження рольгангів шляхом заповнення і підрахунком кількості опок в реальному масштабі часу та забезпечує аварійну зупинку елементів електроприводу.

5. Розроблено функціональну схему системи контролю і управління МТ-ЛАЛ, яка представляє собою сукупність первинних перетворювачів і вторинного БКУ-МТ, схемні рішення якого захищені патентом України.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На основі аналізу сучасного стану контролю працездатності ЛАЛ встановлено, що модулі ЛАЛ, виходячи з їх конструктивної і функціональної структури відрізняються: типом приводів, принципом дії, функціональним призначенням, показниками надійності, а конструктивні особливості окремих модулів не відповідають вимогам контролепридатності, у зв'язку з чим технічна діагностика ЛАЛ не відповідає сучасному рівню машинобудування і запропоновано проводити розробку методу контролю її працездатності у два етапи:

– на першому етапі, базуючись на використанні основних положень теорії надійності і методу експертних оцінок, вибрати і розрахувати показники надійності модулів ЛАЛ та на основі їх аналізу виявити модуль з низьким рівнем надійності, який вибрати за об'єкт подальших досліджень;

– на другому етапі розробити методологічні принципи (моделі, алгоритми, метод і технічні засоби) контролю працездатності вибраного модуля ЛАЛ.

2. Проведений аналіз статистичних даних по надійності модулів ЛАЛ, отриманих на основі запропонованої схеми досліджень, дозволив виявити вплив конструктивних особливостей і умов експлуатації модулів ЛАЛ на їх відмови.

3. Обгрунтовано вибір і визначено основні показники надійності модулів ЛАЛ: імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , середній час напрацювання на відмову  $T$ , середній час відновлення працездатності  $T_v$  та коефіцієнт готовності  $K_g$ , аналіз яких показав, що найбільш низький рівень надійності (по трьох лініях) мають модуль вибивки ( $T_{ср}=27,3$  год.,  $T_v.сер=3,83$  год.,  $K_g.сер.=0,982$ ) та модуль транспорту і накопичення ( $T_{ср}=27,7$  год.,  $T_v.сер=2,6$  год.,  $K_g.сер.=0,892$ ), однак враховуючи вагомість модуля транспорту і накопичення в реалізації технологічного процесу виготовлення виливок останній був обраний за об'єкт дослідження з метою розробки методу контролю його працездатності.

4. На основі аналізу факторів впливу на показники роботи модуля транспорту встановлено, що цього продуктивність залежить від поточних величин діаметрів роликів, тобто середній діаметр ролика є основним фізичним параметром що визначає технічний стан МТ ЛАЛ, оскільки поточне значення діаметру ролика безпосередньо зв'язане з тривалістю робочого циклу, який прийнятий за основну діагностичну ознаку його стану.

5. Розроблена узагальнена математична модель процесу зношення роликів підопічної плити аналіз якої, а також результатів імітаційних експериментів показує, що:

- під час нормальної роботи рольгангу відбувається закономірне і послідовне, в напрямку руху опоки, зношення роликів, яке зумовлено різницею в радіусах суміжних роликів. При зупинках опок і подальшому їх прискоренні зношуються ролики які знаходяться під опокою в наслідок неспівпадання швидкості руху опоки і лінійної швидкості обертання поверхні ролика;

- при нормальній роботі рольгангу відбувається поступове зменшення середнього по рольгангу радіуса роликів. Одночасно дисперсія радіусів збільшується. Характерно, що при зміні параметрів розподілу загальний вигляд (тип) розподілу не змінюється;

- з зростанням кількості зупинок МТ-ЛАЛ розподіл розмірів радіусів роликів швидко прямує до нормального закону розподілу;

- виходячи з лінійності зміни параметрів розподілу радіусів роликів в залежності від кількості циклів доказано, що середнє значення радіуса роликів виступає як індикатор стану рольгангу.

6. Розроблена повномасштабна модель стендової установки – модуля транспорту ЛАЛ, та методичне забезпечення стендових досліджень (методика визначення тягового зусилля і потужності та точності виготовлення рольгангів), що дозволило провести весь комплекс експериментів по дослідженню процесу зношення роликів рольгангу.

7. Отримані результати експериментальних досліджень зносу діаметра роликів, які дозволили встановити закономірності їх зносу обумовлених

твердістю роликів, режимами роботи рольгангу, розмірами направляючих, а перевірка на адекватність математичної моделі процесу зношення роликів з результатами експериментальних даних по зносу роликів підтвердила її працездатність.

8. Обґрунтовано вибір умови працездатності діагностичної ознаки – середнього діаметру роликів МТ виходячи з визначених умов (інтенсивність настання відмов вважається сталою, не враховуються збитки від недовиробленої продукції, тощо), що дозволило врахувати основні економічні показники роботи ЛАЛ-її продуктивність і покласти вибрану ознаку в основу методу контролю працездатності МТ та розробити процедури визначення її критичного значення і точності.

9. Запропоновано алгоритм функціонування системи контролю стану модуля транспорту ЛАЛ, побудований на базі математичної моделі процесу зношення роликів та алгоритмах визначення параметрів модулів, який дозволяє побудувати адаптивну систему, що працює в режимі реального часу і дозволяє оперативно і з великою вірогідністю визначити технічний стан модуля транспорту.

10. Розроблений пристрій управління модулем транспорту ЛАЛ, який є функціональною і невід'ємною частиною системи контролю стану модуля транспорту і дозволяє: підвищити експлуатаційну надійність системи керування; забезпечити оптимальний режим транспортування; підтримати номінальне завантаження рольгангів шляхом заповнення і підрахунком кількості опок в реальному масштабі часу та забезпечує аварійну зупинку елементів електроприводу. Схемні рішення пристрою захищені патентом України.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. - М.: "Машиностроение", 1978, с.248
- 2 Долішній Б.С. Діагностування модуля транспорту ливарно-автоматичних ліній.// Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ. 1999. №4. 82-85с.
- 3 Долишний Б.С., Городинский М.В., Костирко Я.-В.И., Ожоган В.А., Галушак И.Д. Методологические вопросы исследования надежности автоматических формовочных линий. В УКР. НИИНТИ 27.04.89, №1181 - Ук89.
- 4 Долішній Б.С., Л.М.Заміховський. перспективи підвищення експлуатаційної надійності ливарних автоматичних ліній. Тез. доп. наук.-техн. конф. проф.-викл. складу ІФДТУНГ
- 5 Долішній Б.С, Заміховський Л.М. Проблеми діагностування ливарних автоматичних ліній. Тез. доп. наук.-техн. конф. "Сучасні прилади, матеріали та технології для технічної діагностики та неруйнівного контролю нафто-газового, хімічного та енергетичного обладнання. Сучасний підхід до підготовки фахівців з НК і ТД. м.Івано-Франківськ 1996.56-57с.
- 6 Долішній Б.С, Заміховський Л.М. Оцінка надійності модулів ливарно-автоматичних ліній під час експлуатації.//Методи та прилади контролю якості.Івано-Франківськ.1997.№1.84-89с.
- 7 Долішній Б.С, Заміховський Л.М. Математична модель зношення привідних роликів модуля транспорту ливарно-автоматичних ліній// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ.1997.№34.(том 6). 211-214с.
- 8 Долишний Б.С., Городинский М.В., Ожоган В.А., Галушак И.Д. Эксплуатационная надежность схемы управления литейных автоматических линий на основе анализа статических данных об ее отказах. Журнал "Надежность и контроль качества", 1989, №4. - с.51-54.
- 9 Долішній Б.С. Діагностика зношення роликів модуля транспорту ливарно-автоматичних ліній.//Методи і засоби технічної діагностики.: Збірник праць міжнар. міжвуз. школи-семінару під ред. Л.М. Заміховського, В.П. Калявіна. Івано-Франківськ, 1999, XIV. С.177-186.
- 10 Патент № 99020940, МПК6405ВІІ/01 Пристрій управління транспортною системою/ Б.С. Долішній, Л.М. Заміховський, 22.12.1999р.
- 11 Отчет. ВНИИЛИТМАШ.Определение перспективных направлений развития литейного оборудования по номенклатуре Ивано-Франковского ПО "Карпатпресмаш".-М:1989.-87с.
- 12 Беликов О.А., Панкратов А.И. Надежность и производительность формовочных линий. "Механизация и автоматизация производства", 1970, №12.



- 13 Красников В.Ф. Формовочные автоматы и функциональные устройства литейных автоматических линий. - М.: НИИМаш, 1975, с.88.
- 14 Шаумян Г.А. Основы теории проектирования станков-автоматов и автоматических линий. - М.: Машгиз, 1979, с.426.
- 15 Куликов Б.П., Смирнов А.Ф., Вернигора А.А. Тактовые системы управления формовочными линиями. - "Технология и оборудование литейного производства." - М.: НИИМаш, 1984, вып. 11, с. 6-11.
- 16 Куприянов А.П. Эффективность применения гибких связей на автоматических формовочных линиях.// Науч.-техн. реф. сб. НИИМАШ. Литейное машиностроение. - 1968, №4-5, с.9-11.
- 17 Рациональная организация эксплуатации - основное направление повышения эксплуатационной надежности и производительности автоматических линий./ Липгарт А.Д., Кузнецов А.А. и др. - Литейное производство, 1974, с.3-10.
- 18 Бутузов А.В., Воробейчук Ю.Г. Пути повышения надежности автоматического формовочного оборудования. Литейное машиностроение, 1970, №2.
- 19 Красников В.Ф. Системы управления литейных автоматических линий. - М.: НИИМаш, 1981.
- 20 Баладин Г.Ф., Беликов О.А. Теоретические методы исследования автоматических формовочных линий. В сб. "Технология изготовления заготовок в машиностроении". - М.: Машиностроение, 1971, с. 127-139.
- 21 Красников В.Ф. Транспорт линейных автоматических линий. - М.: НИИМаш, 1978, с.64.
- 22 Бабийчук В.И. Устройство управления транспортной системой Авт.свид. №1280566G05 В 11/01.
- 23 Беликов О.А., Панкратов А.И. Надежность автоматических формовочных линий. - "Литейное производство", 1969.
- 24 Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства.-М: Машиностроение, 1978.-551с.
- 25 Кутовой С.В. Некоторые направления повышения надежности работы автоматических линий.//Науч.-техн. реф. сб. НИИМАШ. Литейное машиностроение. - 1968, №4-5, с1-8.
- 26 Волчкевич Л.Й. Определение требований к надежности механизмов и станков в автоматических линиях. "Вестник машиностроения", №4, 1965.
- 27 Волчкевич Л.Н. Надежность автоматических линий. - М.: "Машиностроение", 1969, с.309.
- 28 Ерпшер Ю.Б. Надежность и структура автоматических станочных линий. - М.: "Машгиз", 1962.
- 29 ГОСТ 27.203.-83. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности.-М: Изд-во стандартов, 1983г.
- 30 Проников А.С. Надежность машин. - М.: "Машиностроение", 1978, с.592.

- 31 Огородник В.Н., Кремнев Л.А. Основные тенденции автоматизации литейного производства за рубежом. - М.: НИИмаш, 1974, с.99.
- 32 Семенов Н.Л., Онуфриев Й.А. и др. Формовочное оборудование - "Литейное машиностроение". - М.: НИИмаш, 1981 ,обзор.с.52.
- 33 Березин Н.А., Беликов О.А. Повышение производительности и надежности автоматических литейных линий на основе оптимизации их структурных схем. "Литейное машиностроение".-М.: НИИмаш, 1978, вып.9, 10-12с.
- 34 Комплекс технических средств для двухуровневых систем децентрализованного управления (КТСДУ):Справочный материал.-Черновцы-1990.-49с.
- 35 Куликов Б.П, Смирнов А.Ф, Вернигора А.А.Тактовые системы управления формовочными линиями. НИИмаш. Технология и оборудование литейного производства (экспрес информация).выпуск 11.М-1984.6-11.
- 36 Элементы управления серии "логика-И">// Информэлектро.-М –1981.19с.
- 37 Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства. - М.: Наука, 1985, 225с.
- 38 Кутовой С.В. Некоторые направления повышения надежности работы автоматических линий.//Науч.-техн. реф. сб. НИИМАШ. Литейное машиностроение. - 1968, №4-5, с1-8.
- 39 Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий. - М.: "Машиностроение", 1978, с.248
- 40 Надежность и диагностика технологического оборудования. Под редакцией Фролова К.В., Нахапетяна Е.Г. - М.: "Наука", 1987, с.239.
- 41 Фихман Б Я. Методы и средства диагностирования узлов и механизмов литейного оборудования. ит - М.: 1990,48с. 1 Зил - Машиностроительное пр-во. Технология и оборудование литейного пр-ва. Обзор информации./ВНИИТЕМР. Вип 5.
- 42 Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. /М.А. Балицкий. М.А. Иванова, А.Г. Соколова. - М.: Наука, 1984,119с.
- 43 Квалиметрия диагностирование механизмов. /Отв. ред. Е.Г.Нахапян. - М.: Наука, 1979, 135с.
- 44 Технические средства диагностирования. Справочник под. общ. редакцией В.В. Ключева. - М.: Машиностроение, 1989. - 672с.
- 45 Кудинов В.А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1968, 480с.
- 46 Явленский К.Н, Явленский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование механических систем. - Л.: Машиностроение, 1983, 239с.
- 47 Балицкий М.А., Иванова М.А., Соколова А.Г.и др. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. - М.: Наука, 1984, 119с.
- 48 Большая энциклопедия транспорта - в 8 Т./ Гл. ред. Калявин В.П. Ред. сов .Крижановский (пред.) и др. - М.: Восточный Банк коммерческой информации,1994. - (В пер.) Т 1 Общие вопросы / Бавикин Г.В. и др. с.394.

- 49 Суворов А.Г. Особенности диагностирования гибких автоматизированных производств. Сб. материалов 9-ой Межвузовской школы-семинара "Методы и средства технической диагностики". - Ивано-Франковск: Облполиграфиздат, 1992.
- 50 Нахапетян Е.Г. Определение критериев качества и диагностирования механизмов. - М.: Наука, 1977, 140с.
- 51 Панкратов А.И., Беликов О.А. Требования к надежности агрегатов автоматических формовочных линий. Литейное машиностроение, 1974, №9, с.6-9.
- 52 Калявин В.П., Мозгалеvский А.В. Технические средства диагностирования. - Л.: Судостроение, 1984, 208с.
- 53 Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. - М.: Машиностроение, 1985, 228с.
- 54 Экспериментальное исследование и диагностирование роботов. / Под.ред. Б.Г. Нахапетана, - М.: Наука, 1981, 184с.
- 55 Мозгалеvский А.В., Калявин В.П. Системы диагностирования судового оборудования. - Л.: Судостроение, 1987.284с.
- 56 Каталог изделий фирмы Idgarpess (Италия). - 1988, 8с.
- 57 Каталог изделий фирмы Asea (Швеция) "industrial Robot System IRB 6/2", 1988, 7с.
- 58 Каталог изделий фирмы Italpress (Италия). - 1988, 16с.
- 59 Каталог изделий фирмы Iialpre88 (Италия). - 1988, 16с.
- 60 Каталог изделий фирмы Buhler, Buhler-Miag (Швейцария),1988, Datacess+Processtrol, - 16с.
- 61 Каталог изделий объединения Strojimport (ЧССР), 1988. - 2с.
- 62 Каталог изделий фирмы Weingarben (ФРГ),1988. - 35с.
- 63 Каталог изделий фирмы Fresh (ФРГ), 1988. - 19с.
- 64 Надежность машиностроительной продукции: Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению.-М: Издательство стандартов.1990.-328с.
- 65 ГОСТ 11.008-75. Графические методы обработки данных.Метод вероятностных сеток.-- М: Изд-во стандартов, 1975г.
- 66 ДСТУ-3004-95. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними Київ. 1995р.
- 67 Капур К., Ламберсон Л. Надежность и проектирование систем/Пер.с англ.-М.:Мир,1980.-605с.
- 68 Дружынин Г.В, Надежность систем автоматики.-М: Энергия, 1980.-605с.
- 69 Кацев П.Г, Статистические методы исследования режущего инструмента.-М:Машиностроение.1974.-239с.
- 70 Беляев Ю.К, БогатыревВ.А, Болотин В.В.и др.Надежность технических систем: справочник/Под.ред.Ушакова И.А.-М:Радио и связь,1985.608с.
- 71 Обеспечение ремонтпригодности нефтепроводов,сооружаемых в районах западной сибирии.-Обзорная информация.Серия: Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов-М: 1987.вып.11.59с.

- 72 Беккер М.Г. Введение в теорию систем "Местность-машина". М.: Высшая школа. 1974. 286с.
- 73 Городынский М.В, Поляков Д.И. и др. О надежности технологических модулей автоматических модулей формовочных линий. // Вестник машиностроения. - М.: 1989, №1, 51-53с.
- 74 Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. / Под совет. В. С. Авдеевский (пред.) и др. - М.: "Машиностроение", 1987.
- 75 ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
- 76 ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1983.
- 77 Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. - М.: Издательство стандартов, 1989, с.248.
- 78 Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное изд. - М.: Финансы и статистика, 1983. - 471с.
- 79 Сологубов Н.Ф, Черпаков Б.И. Устройство для контроля и регистрации времени работы оборудования. Авторское свидетельство № 635502 G07 C3/02.
- 80 Технические и экономические основы литейного производства. Под ред. В.М. Шестопада. - М., "Машиностроение", 1974, с.304.
- 81 Исследование направлений повешения надежности устройств и систем автоматического управления линиями формовки в литейном производстве" , часть 1, 304-66, Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности, техническое управление, Харьковский филиал НИИЛИТМАШ, Харьков, 1968, с.264.
- 82 Гаскаров Д.В. Методы контроля и прогнозирования электронных приборов в процессе производства. ЛЕТИ, 1976, 103с.
- 83 Беляев Ю.К., Богатирев В.А., Болотин В.В. и др. Надежность технических систем: Справочник / Подред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и свалевин В.П. Мозгалевский, А.В. Технические средства диагностирования, 1985, с.608.
- 84 Диагностирование оборудования комплексно-автоматизированного производства/ Под ред. Е.Г. Нахапетяна. - М.: Наука, 1984, 175с.
- 85 Владзиевский А.П., Белоусов А.П. Устройство автоматических линий. - М.: "Машгиз, 1964.
- 86 Надежность в машиностроении: Справочник/Под. общ. ред. В.В. Шашкина, Г.П Карзова. - СПб.: Политехника, 1992.
- 87 ГОСТ 26656-85. Контролепригодность. Общие требования.-- М: Изд-во стандартов, 1983г.
- 88 ГОСТ 24016-80. Машины литейные. Общие требования к методам и средствам контроля точности.-- М: Изд-во стандартов, 1980г.

- 89 Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства. - М.: Наука, 1985, 225с.
- 90 ГОСТ 27.204-83. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности.-- М: Изд-во стандартов, 1983г.
- 91 Кутовой С.В. Формовочно-прессовой автомат конструкции тракторсельхозмаши. Механизация и автоматизация изготовления литейных форм методом прессования под высоким удельным давлением. - М.: ГОСИНТИ, 1960,с.3
- 92 Никкель Г.Г., Фиголь Я.Б., Хламов Ю.П., Ткаченко П.М., Берин В.Е. "Литейное машиностроение". - М.: НИИмаш, 1980,вып. 4, с.16.
- 93 Исследования эксплуатационной надежности автоматических формовочных линий, АМ-534, Министерство высшего образования РСФСР, МВТУ им.Н.Е. Баумана, М., 1968, с. 207.
- 94 Браун В.А., Будинский, Системы автоматизации станков М - Л, изд.. Машгиз, 1968.
- 95 Динамические методы испытаний и диагностирования машин-автоматов и автоматических линий./ Под ред. Е.Г. Нахапетяна. - М.: Наука, 1981, 143с.
- 96 Добринин С.А., Розенберг Д.Е. Некоторые принципы организации и реализации программных систем обработки экспериментальных данных. /Исследования динамики машин на ЕВМ. М.: Наука, 1980,с.41-44.
- 97 Замиховский Л.М. Некоторые вопросы разработки методологических принципов вибродиагностики УЕЦН с колонной насосно-компрессорных труб в процессе эксплуатации. Ивано-Франковский институт нефти и газа. - Ивано-Франковск, 1987, Дип. в Укр НИИНТИ 10.02.88, №412-Ук88.
- 98 Замиховский Л.М., Задков В.М., Иванов М.П. и др. Анализ причин аварийности УЕЦН и перспективы развития метода их технической диагностики. Сб. Материалов 9-ой Межвузовской школы-семинара "Методы и средства технической диагностики". Кн. 2, Ивано-Франковск, Облполиграфиздат, 1990г.
- 99 Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник в 2-х книгах. К1/ Под ред. В.В. Ключева. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986, 488с., ил.
- 100 Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник в 2-х книгах. К2/ Под ред. В.В. Ключева. - 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1986, 352с., ил.
- 101 Беликов О.А., Харитонов О.В. Технологическая надежность автоматических формовочных линий.// Науч.-техн. реф. сб. НИИМАШ. Литейное машиностроение, 1968, №4-5, с.28-34.
- 102 Беликов О.А., Панкратов А.И. Надежность автоматических формовочных линий.// Науч.-техн. реф. сб. НИИМАШ. Литейное Машиностроение, 1968, №4-5, с.82.

- 103 Биховский М.Л. Чувствительность и динамическая точность систем управления. Техническая кибернетика. Вып. 6, изд. АН СССР, 1964.
- 104 Боданский И.М., Бутовский Е.Л., Винокуров И.Г. Стабилизация температуры масла в гидроприводах литейного оборудования. Литейное машиностроение, 1979, №6, с.17-19.
- 105 Высоцкий А.В., Курочкин А.П., Пневматические средства измерений линейных размеров в машиностроении. М.: Машиностроение, 1979. 206с.
- 106 Иванов А.Г. Измерительные приборы в машиностроении.М., Изд-во стандартов, 1981.495с.
- 107 Бурдун Г.Д. Линейные и угловые измерения М.: Изд-во стандартов, 1983. 424с.
- 108 Средства измерения линейных и угловых размеров в машиностроении.Каталог.М.: Каталог.М.:НИИМаш, 1980.350с.
- 109 Цидулко Ф.В. Специальные приборы для линейно-угловых измерений и их проверка М.: Изд-во стандартов,1983.160с.
- 110 Профос П. Измерения в промышленности. Справ.изд.ВЗ-х кн.КН1.Теоретические основы.Пер.с нем./-2-е изд., перераб.и доп.-М.: металлургия, 1990.492с.
- 111 Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник.-М.: Машиностроение, 1987.-386.,
- 112 Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник.-М.: Машиностроение, 1987.-386.,
- 113 Коган Б.М и др. Цифровые вычислительные машины и системы.М.: Энергия, 1974, с.115.
- 114 Авторское свидетельство СССР № 993200, кл G 05 в 11/01, 1981.
- 115 Авторское свидетельство СССР № 954925, кл G05 в 11/01, 1980.
- 116 ГОСТ 23554.2-81. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Обработка значений экспертных оценок качества продукции.-- М: Изд-во стандартов, 1981г.
- 117 ГОСТ 20911-89-Техническая диагностика. Термины и определения.-- М: Изд-во стандартов, 1989г.
- 118 Богдан К.С. Горбенко В.Н. и др. Средства и системы автоматизации литейного производства.-М: Машиностроение, 1981.-272с.

## Типи ЛАЛ випуску ВАТ "Автолившаш" (м. Івано-Франківськ)

№ п/п	Тип ЛАЛ	Призначення	Розмір опок, мм	Місце експлуатації
1	2	3	4	5
1	ІЛ225	Комплексна автоматична лінія формувочна, пресо́ва	900×600	Братський завод опалювального обладнання (Росія)
2	АЛ91265СМ	Комплексна автоматична лінія виготовлення відливо́к	800×700	Одеський завод "Центроліт", Бердичівський верстатобудівний завод (Україна), Гомельський завод "Центроліт" (Білорусь), Рязанський завод "Центроліт" (Росія)
3	В44М, ІЛ225	Автоматична формувочна лінія	800×600	Пінський чавуноливарний завод (Білорусь)
4	ІКЛ91265СМ	Комплексна автоматична лінія виготовлення відливо́к	800×700	Уфалейський завод по ремонту металургійного обладнання (Росія)
5	4АЛ1012М	Автоматична лінія стопочної формовки	500×400	Ленінський судоремонтний завод (Україна)
6	ІЛ225	Автоматична формувочна лінія	900×600	Харківський тракторний завод (Україна)
7	АЛ1012М	Автоматична ливарна лінія стопочної формовки	500×400	Таганрогський комбайновий завод (Росія)
8	4ІЛ225; 19ІЛ225; 30ІЛ225; 41ІЛ225; 42ІЛ22543ІЛ225	Комплексна автоматична лінія, пресо́ва формувочна	900×600	Назаровський завод "Сільгоспмаш", завод ім. І.І.Лепсе, Павлодарський тракторний завод і завод тракторних запчастин, м.Павлодар (Росія)

## Продовження додатку А1

1	2	3	4	5
9	2КЛ91265СМ 3КЛ91265СМ 5КЛ91265СМ	Комплексна автоматична лінія виготовлення відливок	800×700	Волжський завод "Торглодмаш", Орловський завод "Текстильмаш" (Росія), Кишинівський завод харчового обладнання (Молдова)
10	9ІФЛ70С, 3ІФЛ71С, 1ІФЛ71С, 11ІФЛ70С	Комплексна механізована лінія	×	м. Санкт-Петербурга, м.Москви і заводі КАМАЗ (Росія)
11	11КЛ91265СМ	Комплексна автоматична лінія	800×700	м. Торжок, ремонтно-механічний завод (Росія)



Склад механізмів модулів ЛАЛ (у відповідності до табл. 1.2)

I модуль формовки:

- 1.1– автомат формовки верхніх півформ;
- 1.2– автомат формовки нижніх півформ;
- 1.3– поворотно-витяжна машина;
- 1.4– установка ливарна формовочна;
- 1.5– розпаровщик;
- 1.6– пресово-формовочний автомат;

II модуль зборки форм:

- 2.1– механізм простановки стержнів;
- 2.2– механізм установки півформ на підпочну плиту;
- 2.3– механізм спарювання півформ;
- 2.4– зборщик півформ;

III модуль заливки форм:

- 3.1– механізм підйому підопічних плит;
- 3.2– механізм навантаження, притиску і пригрузки форм;

IV ділянка транспорту і накопичення опок :

- 4.1– механізм передачі залитих форм;
- 4.2– підйомні механізми;
- 4.3– механізм розподілу опок;
- 4.4– механізм очистки штирів і втулок;
- 4.5– розпаровщик.

V модуль вибивки:

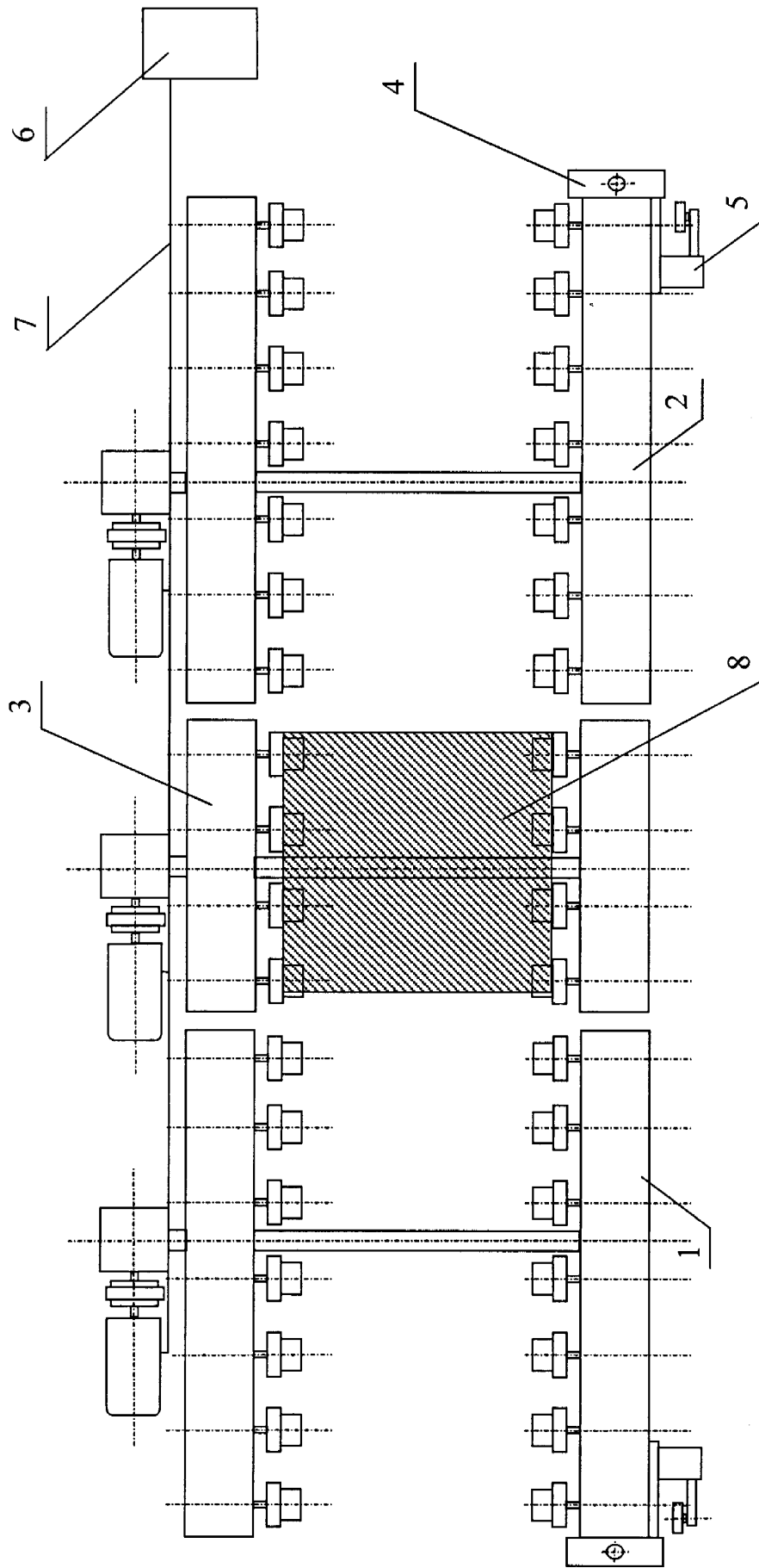
- 5.1– механізм видавлювання кома;
- 5.2– вибивна решітка;
- 5.3– механізм опускання.

VI схема управління :

- 6.1– електропривід і схема управління ним;
- 6.2– гідропривід і схема управління ним;
- 6.3– пневмопривід і схема управління ним.

### ДОДАТОК Б

Схема дослідного стенду.



1, 2 – рольганг Р27; 3 – рольганг Р15; 4 – обмежувач; 5 – кінцевий вимикач, 6 – шафа управління; 7 – кабель живлення; 8 – імітуючий вантаж



## ДОДАТОК А

### Рішення диференціального рівняння (3.60)

F4 рух вантажу з змінною швидкістю( прискорення)

Кр -коєф. руйнування

m - маса вантажу

n - к-ть обертів

g - прискорення земного тяжіння

Kkov - коєф. тертя ковзання KK - Kkov-Kkos

Kkos - коєф. тертя кочення

Vb - швидкість вантажу

~~np - к-ть роликів в контакті з вантажем~~

R - радіус ролика

Ro - радіус ролика початковий

M - Kpmg/np

> ys1 :=

```
{ (D) (R) (t)=-M*n*(Kkov-(1+(1-Vo/(2*pi*n*R))*exp(-KK*g*t/(2*pi*n*R))) * (KK) ), R(0)=Ro}:
```

```
s1:=dsolve(ys1, {R(t)}, type=series);
```

$$s1 := R(t) = Ro + \frac{1}{2} \frac{M\%1}{\pi Ro} t - \frac{1}{8} \frac{M KK \%2}{\pi^2 n Ro^3} t^2 + \frac{1}{6} \left( M \left( \frac{1}{8} \frac{KK^2 g (-4 M n^2 Ro Kkov \pi + 8 M n^2 KK \pi Ro - 2 M n KK Vo + KK g Ro) Vo}{\pi^2 n^2 Ro^3} + \frac{1}{4} \frac{Kkov M KK \%2}{\pi Ro^3} - \frac{1}{2} \frac{KK^2 M \%2}{\pi Ro^3} - \frac{1}{2} \frac{KK^2 g M \%1}{Ro^2 \pi} + \frac{1}{4} \frac{KK^2 g (-4 M n^2 Ro Kkov \pi + 8 M n^2 KK \pi Ro - 2 M n KK Vo + KK g Ro)}{\pi n Ro^2} \right) / \pi + \frac{3}{8} \frac{M^2 KK \%2 \%1}{\pi^3 n Ro^4} \right) / Ro t^3 - \frac{1}{384} M KK (2 KK^3 g^3 \pi n Ro^4 - 24 KK^2 g^2 M \pi^2 n^3 Ro^4 Kkov + 48 KK g M^2 \pi^3 n^5 Ro^4 Kkov^2 - 192 KK^2 g M^2 \pi^3 n^5 Ro^4 Kkov + 192 KK^3 g M^2 \pi^3 n^5 Ro^4 + 60 KK^3 g^2 M \pi^2 n^3 Ro^4 + 48 Vo M^3 n^6 Ro^3 Kkov^3 \pi^3 - 72 Vo KK g M^2 n^4 Ro^3 Kkov^2 \pi^2 + 380 Vo KK^2 g M^2 n^4 Ro^3 Kkov \pi^2 + 576 Vo M^3 n^6 Ro^3 Kkov \pi^3 KK^2 - 288 Vo M^3 n^6 Ro^3 Kkov^2 \pi^3 KK - 384 Vo M^3 n^6 KK^3 \pi^3 Ro^3 - 104 KK^2 g M^2 n^3 Ro^2 Kkov \pi Vo^2 - 416 M^3 n^5 Ro^2 Kkov \pi^2 KK^2 Vo^2 + 70 M^3 n^4 Ro Kkov \pi KK^2 Vo^3 + 416 M^3 n^5 KK^3 \pi^2 Ro^2 Vo^2 + 15 M^3 n^3 KK^3 Vo^4 + 244 KK^3 g M^2 n^3 Ro^2 \pi Vo^2 + 104 M^3 n^5 Ro^2 Kkov^2 \pi^2 KK Vo^2 - 35 KK^3 g M^2 n^2 Ro Vo^3$$

$$\begin{aligned}
& - 140 M^3 n^4 KK^3 \pi Ro Vo^3 + 18 Vo KK^2 g^2 Mn^2 Ro^3 Kkov \pi - 68 Vo KK^3 g^2 Mn^2 Ro^3 \pi \\
& - Vo KK^3 g^3 Ro^3 - 472 Vo KK^3 g M^2 n^4 Ro^3 \pi^2 + 16 KK^3 g^2 Mn Ro^2 Vo^2) / (\pi^4 n^3 Ro^7) t^4 + \\
& \frac{1}{3840} M KK (32 Vo KK^3 g^3 Mn^2 Ro^4 Kkov \pi - 288 Vo KK^2 g^2 M^2 n^4 Ro^4 Kkov^2 \pi^2 \\
& + 768 Vo KK g M^3 n^6 Ro^4 Kkov^3 \pi^3 - 384 Vo M^4 n^8 Ro^4 Kkov^4 \pi^4 \\
& - 630 M^4 n^5 Ro Kkov \pi KK^3 Vo^4 - 105 M^4 n^4 KK^4 Vo^5 - 566 KK^3 g^2 M^2 n^3 Ro^3 Kkov \pi Vo^2 \\
& + 315 KK^4 g M^3 n^3 Ro Vo^4 + 1848 KK^2 g M^3 n^5 Ro^3 Kkov^2 \pi^2 Vo^2 \\
& + 1360 KK^3 g M^3 n^4 Ro^2 Kkov \pi Vo^3 - 1360 M^4 n^6 Ro^2 Kkov^2 \pi^2 KK^2 Vo^3 \\
& - 1232 M^4 n^7 Ro^3 Kkov^3 \pi^3 KK Vo^2 + 43 KK^4 g^3 Mn Ro^3 Vo^2 - 232 KK^4 g^2 M^2 n^2 Ro^2 Vo^3 \\
& - 8540 KK^3 g M^3 \pi^2 n^5 Ro^3 Kkov Vo^2 + 3072 KK^4 g M^3 \pi^4 n^7 Ro^5 \\
& - 3020 KK^4 g M^3 \pi n^4 Ro^2 Vo^3 + 14400 KK^3 g M^3 \pi^3 n^6 Ro^4 Kkov Vo \\
& - 384 KK g M^3 \pi^4 n^7 Ro^5 Kkov^3 + 2304 KK^2 g M^3 \pi^4 n^7 Ro^5 Kkov^2 \\
& - 5904 KK^2 g M^3 \pi^3 n^6 Ro^4 Kkov^2 Vo - 4608 KK^3 g M^3 \pi^4 n^7 Ro^5 Kkov \\
& + 9856 M^4 \pi^3 n^7 Ro^3 KK^4 Vo^2 + 2 KK^4 g^4 \pi n Ro^5 + 7392 M^4 \pi^3 n^7 Ro^3 Kkov^2 KK^2 Vo^2 \\
& + 1260 M^4 \pi n^5 Ro KK^4 Vo^4 + 1580 KK^4 g^2 M^2 \pi n^3 Ro^3 Vo^2 - 48 KK^3 g^3 M \pi^2 n^3 Ro^5 Kkov \\
& - 174 KK^4 g^3 M \pi n^2 Ro^4 Vo - 3140 KK^4 g^2 M^2 \pi^2 n^4 Ro^4 Vo \\
& + 288 KK^2 g^2 M^2 \pi^3 n^5 Ro^5 Kkov^2 - 1408 KK^3 g^2 M^2 \pi^3 n^5 Ro^5 Kkov \\
& + 2056 KK^3 g^2 M^2 \pi^2 n^4 Ro^4 Kkov Vo + 9688 KK^4 g M^3 \pi^2 n^5 Ro^3 Vo^2 \\
& + 1664 KK^4 g^2 M^2 \pi^3 n^5 Ro^5 + 160 KK^4 g^3 M \pi^2 n^3 Ro^5 - 5440 M^4 \pi^2 n^6 Ro^2 KK^4 Vo^3 \\
& - 6144 M^4 \pi^4 n^8 Ro^4 KK^4 Vo + 12288 M^4 \pi^4 n^8 Ro^4 Kkov KK^3 Vo \\
& - 14784 M^4 \pi^3 n^7 Ro^3 Kkov KK^3 Vo^2 + 5440 M^4 \pi^2 n^6 Ro^2 Kkov KK^3 Vo^3 \\
& + 3072 M^4 \pi^4 n^8 Ro^4 Kkov^3 KK Vo - 9216 M^4 \pi^4 n^8 Ro^4 Kkov^2 KK^2 Vo \\
& - 11328 KK^4 g M^3 \pi^3 n^6 Ro^4 Vo - Vo KK^4 g^4 Ro^4) / (\pi^5 n^4 Ro^9) t^5 + O(t^6)
\end{aligned}$$

$$\%1 := -2 Ro n Kkov \pi + 4 KK \pi n Ro - KK Vo$$

$$\%2 :=$$

$$2 Vo M n^2 Ro Kkov \pi - 4 \pi n^2 Ro M KK Vo + 2 KK g \pi n Ro^2 - Vo KK g Ro + Mn KK Vo^2$$

>

Рішення отримано за допомогою програмного продукту Maple V Release 4/00a, Waterloo Maple Inc., USA.

9/



Міністерство машинобудування військово-промислового комплексу  
і конверсії України

«МІНМАШПРОМ УКРАЇНИ»

# ОДЕСЬКИЙ ЗАВОД „ЦЕНТРОЛІТ“

270025 Одеса-25; Телефони: 55-10-88, 59-42-10. Факс 55-50-25 Р/рах. № 260603 в Суворовському  
відділ. АК ЛІБ м. Одеса МФО № 328317, код ОКПО—00222367

№ 9/625 від 21.07-98  
На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

Зав. катедрою "АУ" д.т.н.  
професору А. Заміховському  
284019 м. Івано-Франківськ  
вул. Карпатське 15

Надсилаю Інформаційний лист по ЛАЛ виготовлених ВАТ "Авто-  
ливмаш" діючих на нашому підприємстві.

Головний Інженер *А. І. Завіроха*  
А. І. Завіроха

Інформаційний лист

1. Назва підприємства ВАТ "Одеський завод Центроліфт"
2. Тип і кількість наявного ЛО і ЛАЛ 9/265CM - 3 шт
3. Рік введення в експлуатацію \_\_\_\_\_
4. Кількість ЛАЛ, які експлуатуються на даний час, їх типи 3 шт  
9/265CM 1978, 1980, 1985
5. Потреба в даних ЛО та ЛАЛ:

Вихідні параметри	Кількість по роках						
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Необхідне обладнання							
Тип ЛАЛ	—	—	—	—			
Тип решіток	—	—	—	—			
Розмір опок, мм	—	—	—	—			

6. Використовується литво (кокіль, пісок-глина, інше) єдине  
песчано-бентонітне суміш
7. Для визначення рівня надійності ЛАЛ, які експлуатуються
- 7.1. Середня кількість відказів ліній в місяць 400
- 7.2. Середній час роботи лінії до відказу 30 хв.
- 7.3. Найбільш часто мають місце наступні відкази:
- 7.3.1. По модулям формовки: Гідравліка, електрика
- вбивки \_\_\_\_\_
- транспорту і накопичення \_\_\_\_\_
- зборки гідравліка, електрика
- залівки \_\_\_\_\_
- 7.3.2. По механізмам: пресовому, кантувачу, транспортній секції (рольгантів) та іншим механізмам гідравліка, електрика
- 7.3.3. По системам: електричній, гідравлічній, пневматичній (втрати масла через перегрів і т.д.) Нагрів масла, електромагнітні
- 7.4. Вид відказу:
- а) поступовий (знос, старіння) \_\_\_\_\_

СРСР  
Міністерство  
важного машинобудування

СУМСЬКИЙ  
ЧАВУНОЛИВАРНИЙ ЗАВОД  
«ЦЕНТРОЛИТ»

ім. 60-річчя Великої Жовтневої  
соціалістичної революції  
244020, м. Суми, вул. Брянська, 1  
телеграфний: Суми-чугун  
телетайп 107 тел. 4-13-14

000260029 Облуправління Промбудбанку

МФО 337278  
01 октября 1990 г. №14-2/128-6245

надежности работы ли-  
нии АЛ91265СМ



СССР  
Министерство  
тяжелого машиностроения

СУМСКИЙ  
ЧУГУНОЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД  
«ЦЕНТРОЛИТ»

им. 60-летия Великой Октябрьской  
социалистической революции  
244020 г. Сумы, ул. Брянская, 1  
телеграфный: Сумы-чугун  
телетайп 107, тел. 4-13-14

000260029 Облуправления Промстройбанка  
МФО 337278

Главному инженеру (СКТВ)

"Модра"

тов. Божелук

284000, Ивано-Франковск,

ул. Ленина, 28

13.11.90  
10.3.21.25  
Т. Данильченко  
13.11.90.  
Высылаем заполненный информационный лист и заключение по ли-  
нии АЛ91265СМ:

1. При эксплуатации линии выявилась невозможность устранения утечки масла в гидросистеме.
2. Несовершенная конструкция литейного конвейера: нет фиксации горизонтальных пальцев, нетехнологична гибкая связь по вертикали (разрыва).
3. Затруднение в обслуживании и ремонте линии; большие затраты времени на замену насосов, замену РТИ.
4. Несовершенная конструкция кантователя.-сборщика:
  - а) для замены манжетов на рейке необходимо разобрать узел, невозможность регулировки сборки в поперечном направлении относительно оси транспортера;
  - б) абсолютно не пригодна конструкция синхронизатора шиберов, нет необходимости в синхронизаторе челюстного затвора;
  - в) усложнена конструкция торможения гидроцилиндров стола вытяжки, транспортера спутников, стола спутников;
  - г) неудачно расположены датчики стола вытяжки;
  - д) несовершенна конструкция системы торможения рейки кантователя;
  - е) несовершенна конструкция наполнительной рамки;
  - ж) неоправдано большое количество на блоке резиновых рукавов (гидро-диавления) высокого давления, несовершенна конструкция системы стыковки рукава со штуцером (заправка).

Приложение: информационный лист об отказах линии- 1 экз.

Гл. инженер з-да *В. Муштай* Н.И. Муштай



ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТКАЗАХ ЛАЛ

1. Эксплуатирующее предприятие ЭО "Центрострой" г. Саратова
2. Тип (ЛАЛ) АД9/265 СМ
3. Среднее количество отказов линии в месяц около 50ч
4. Среднее время работы линии (дней) до отказа ---
5. Наиболее часто появляются отказы: механизмы и узлы  
(указать какие) Сидло и шаровые, Электроника,  
и линейный комбайн
- 5.1. Системы: Гидравлическая, Пневматическая, Электрическая.
6. Вид отказа (постепенный, внезапный):
- а) постепенный (износ, старение и т.д.) ---
- б) внезапный (деформация и поломка отдельных деталей, (Коробку  
перекос, заедание и заклинивание, обрыв про-  
водов датчиков положения, попадание инородных  
частиц в систему смазки) Отказ электродвигателя
7. Среднее время устранения отказа (ч) 2 часа
8. Последствие отказа: 1) полная потеря работоспособности,  
2) частичная потеря работоспособности,  
3) без последствий.

(В графах 5.1, 6, 8 при заполнении подчеркнуть необходи-  
мые пункты)

Ф.И.О. Заполнявшего информационный  
листок.

Ордена Трудового  
Красного Знамени  
ПО „Сибтепломаш“  
г. Братск, Иркутской обл.  
тел. \_\_\_\_\_

*Т. Давыдову*  
*17.11.90.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТКАЗАХ ЛАЛ

№ 1 *30г.*  
1. Эксплуатирующее предприятие п/о "Сибтепломаш"

№ 02/5496  
2. Тип (ЛАЛ) ИЛ 225

3. Среднее количество отказов линии в месяц 18

4. Среднее время работы линии (дней) до отказа 2,5

5. Наиболее часто появляются отказы: Механизмы и узлы  
(указать какие) рольганги, механизмы под ема

5.1. Системы: Гидравлическая, Пневматическая, Электрическая.

6. Вид отказа (постепенный, внезапный):

а) постепенный (износ, старение и т.д.) \_\_\_\_\_

б) внезапный (деформация и поломка отдельных деталей,  
перекос, заедание и заклинивание, обрыв трубо-  
водов датчиков положения, попадание инородных  
частиц в систему смазки) \_\_\_\_\_

7. Среднее время устранения отказа (ч) 40 минут

8. Последствие отказа: 1) полная потеря работоспособности,  
2) частичная потеря работоспособности,  
3) без последствий.

(в графах 5.1, 6, 8 при заполнении подчеркнуть необходимые пункты)

Ф.И.О. Заполнявшего информационный  
*Сидоров* листок. Сидорова И.Ф.



КИЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ЗАВОД им. И. И. ЛЕПСЕ

252180 г. Киев бульвар Ив. Лепсе, 16

тел. 488-97-33

№ 02-28 - 6499

от 3 сентября 19890 г.

*Г. Данилюк* *Б.* Главному инженеру  
СКТБ "НЕДРА"  
тов. Бажалуку Я.М.

*10.09.90*  
284000 г. Ивано-Франковск, ул. Ленина, 28.

"О высылке информации  
об отказах АЛ."

На Ваш номер I08-2I-18I от I7.08.90г.  
направляем оформленную информацию об отказах  
литейной автоматической линии модели I9ИЛ225.

Приложение: информация об отказах ЛАЛ - I экз.

/Главный механик *Щербатенко* М.Г. Щербатенко.

488.97.5I  
Радченко.

Специальный штамп:  
10.09.90  
108-21-21

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТКАЗАХ ЛАЛ

1. Эксплуатирующее предприятие Киевский завод им. Дзержинского
2. Тип (ЛАЛ) 19 ИВ 225
3. Среднее количество отказов линии в месяц 3 (восемь)
4. Среднее время работы линии (дней) до отказа 14
5. Наиболее часто появляются отказы: механизмы и узлы  
(указать какие) толкатели, заливки, вальцы, подвесные рамы (все шестерни, рейки)
- 5.1. Системы: Гидравлическая, Пневматическая, Электрическая.
6. Вид отказа (постепенный, внезапный):
  - а) постепенный (износ, старение и т.д.) рейки, валы, шестерни
  - б) внезапный (деформация и поломка отдельных деталей, <sup>повреждение</sup> перекос, заедание и заклинивание, обрыв проводов датчиков положения, попадание инородных частиц в систему смазки)
7. Среднее время устранения отказа (ч) 8 часов
8. Последствие отказа: 1) полная потеря работоспособности,  
2) частичная потеря работоспособности,  
3) без последствий.

(В графах 5.1, 6, 8 при заполнении подчеркнуть необходимые пункты)

Механик цеха литейного производства  
Мог. Блора от мех. Фабрики с.п.  
Т.ч. 488-97-57.  
Ф.И.О. Заполнявшего информационный  
листок.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТКАЗАХ ЛАЛ

1. Эксплуатирующее предприятие ПО "Уралвагонзавод" .....
2. Тип /ЛАЛ/ 5 ИЛД-225 .....
3. Среднее количество отказов линии в месяц 145 .....
4. Среднее время работы линии /дней / до отказа 1,4 часа .....
5. Наиболее часто появляются отказы: Механизмы и узлы  
/указать какие/ Фильтры, уплотнения, гидро и пневмо-распределители, редуктора рольгангов, бронзовые втулки направляющих, датчики КВП-16. ....
- 5.1. Системы: Гидравлическая , Пневматическая, Электрическая.  
.....
6. Вид отказа /постепенный , внезапный/:  
а/ постепенный/износ, старение и т.д./ .....
- б/ внезапный /деформация и поломка отдельных деталей, ,  
перекос, заедание и заклинивание , обрыв проводов датчиков положения, попадание инородных частиц в систему смазки/ .....
7. Среднее время устранения отказа /ч/ 1,1 часа .....
8. Последствие отказа: 1/полная потеря работоспособности,  
2/частичная потеря работоспособности ,  
3. без последствий.

/ В графах 5,1,6 8 прию заполнении подчеркнуть необходимые пункты/

Ф.И.О. Заполнявшего информационный листок.

Люханев А.А. - и.о. зам. нач-ка цеха



Министерство  
станкостроительной и инструментальной  
промышленности  
Главлитпром

## РЯЗАНСКИЙ ЛИТЕЙНЫЙ ЗАВОД „ЦЕНТРОЛИТ“

390000, г. Рязань, ГСП, завод «Центролит».  
Для телеграмм: Рязань, АТ 136234 чугуи.  
Телефон: 29-501.  
Расчетный счет № 262001 в Железнодорожном  
отделении Госбанка г. Рязани.

267-4431 № 6 0990

на №

от



На Ваш №108-214131

Направляем информацию об отказах линии В-715.

Главный инженер завода

Е. В. АНТИПОВ

*инж. Доминский Б.*

Главному инженеру СКТБ "Недра"  
тов. БАЖАЛУК Я. М.

284000, Ивано-Франковск, ул. Ленина, 28

*Г. Доминскому  
Б. С.*

*17.03.90.*

## ИНФОРМАЦИИ ОБ ОТКАЗАХ ЛАЛ

1. Эксплуатирующее предприятие З-д. "Сибирский" - цех металл. маш.
2. Тип (ЛАЛ) Линия В-715, введенная в 1987 году
3. Среднее количество отказов линии в месяц 90
4. Среднее время работы линии (дней) до отказа ежедневно (работает в 10 часов)
5. Наиболее часто появляются отказы: механизмы и узлы  
(указать какие) подъем. ПТМ-1 и ПТМ-2, прессовый и т.д. трансформационные секции
- 5.1. Системы: Гидравлическая, Пневматическая, Электрическая.  
Телепрессовый цилиндров, демпферов ПТМ-1 и ПТМ-2, цилиндров
6. Вид отказа (постепенный, внезапный):
  - а) постепенный (износ, старение и т.д.)
  - б) внезапный (деформация и поломка отдельных деталей, перекос, заедание и заклинивание, обрыв проводов датчиков положения, попадание инородных частиц в систему смазки) обрыв цепей и тросов
7. Среднее время устранения отказа (ч) 3-4 часа
8. Последствие отказа: 1) полная потеря работоспособности,  
2) частичная потеря работоспособности,  
3) без последствий.

(В графах 5.1, 6, 8 при заполнении подчеркнуть необходимые пункты)

Лосилкин А.И. Ф.И.О. Заполнявшего информационный  
7. 72-95-34 листок.