

А.В. Акулов, начальник відділу ТОВ «Головкомпресормаш-Сервіс» (Концерн «Укрросметал»),  
К.О. Дядюра, к.т.н., доцент (Сумський державний університет), Україна

## Підвищення якості компресорної техніки на основі розробки системи логістичної підтримки

*У статті розглянуті прогресивні методи збору та аналізу інформації про виходи з ладу продукції машинобудування, що надходить на підприємства-виробники у вигляді рекламаций. Запропоновані рекомендації щодо впровадження на підприємствах-виробниках компресорної техніки системи логістичної підтримки.*

**Ключові слова:** компресорне обладнання, логістична підтримка, декомпозиція, якість, рекламація.

*В статье рассмотрены прогрессивные методы сбора и анализа информации о выходах из строя продукции машиностроения, поступающей на предприятия-производители в виде рекламаций. Предложены рекомендации по внедрению на предприятиях-производителях компрессорной техники системы логистической поддержки.*

**Ключевые слова:** компрессорное оборудование, логистическая поддержка, декомпозиция, качество, рекламация.

*The article deals with advanced methods of collecting and analyzing information about the failure of machinery coming to the manufactures in the form of complaints. Proposed recommendations for the implementation of logistics support to companies producing compressor technology.*

**Keywords:** compressor equipment, logistical support, decomposition, quality, reclamation.

Розвиток вітчизняної промисловості, і зокрема машинобудівної галузі, в умовах швидко мінливих вимог ринкових відносин та глобалізації світової економіки вимагає розробки комплексної програми цілеспрямованих заходів, що підвищують конкурентоспроможність виготовленої продукції. Конкурентна перевага, яка визначає стан підприємства на ринку, полягає або в здатності розробляти, виготовляти і продавати продукцію з меншими витратами, ніж конкуренти за інших рівних умов, або в здатності забезпечити покупця унікальною і більшою цінністю у вигляді нової якості товару, особливих споживчих властивостей та сервісного обслуговування.

Для досягнення цієї мети необхідно враховувати вплив безлічі чинників, таких як: розвиток галузевих товарних ринків; рівень впровадження нових технологій і засобів праці; пропорційність зміни цін на всі види ресурсів, що використовуються у виробництві, і кінцевої машинобудівної продукції; рівень інфляції; необхідність кооперації; економічний потенціал самих підприємств і ефективність його використання; можливості

підприємств до підвищення рівня самофінансування свого розвитку і багато інших.

Методи і програмні засоби управління даними про виріб (PDM) відіграють системоутворюючу роль в інтегрованому інформаційному середовищі (ІВС) підприємства, забезпечуючи збір і зберігання раціонально структурованих даних про конструкцію виробу, технології його виготовлення та експлуатації, а також про ресурси, що необхідні для здійснення процесів, і надання цієї інформації іншим автоматизованим системам. Як правило, робота щодо забезпечення конкурентоспроможності на підприємстві організовується відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO і охоплює всі стадії життєвого циклу виробу (ЖЦВ).

Зворотній зв'язок між стадіями проектування, виготовлення та експлуатації - невід'ємна частина робіт із забезпечення надійності компресорного обладнання (КО). Організація зворотного зв'язку здійснюється на основі регламентованої нормативно - технічної документації «Система збору та обробки інформації про надійність (СЗОІН)», з урахуванням вимог міжнародного стандарту ДСТУ ISO 9004 «Загальне

керівництво якістю й елементи системи якості. Керівні вказівки».

Для збору й обробки інформації про надійність можуть використовуватися такі форми:

- первинні повідомлення про надійність виробу та комплектуючих виробів (КВ);
- узагальнені повідомлення про надійність виробу та КВ;
- підсумкові повідомлення про надійність виробу та КВ.

Форми первинних і узагальнених повідомлень про надійність виробу та КВ призначені для запису і передачі первинної інформації про надійність при випробуваннях та експлуатації виробів і КВ.

До первинних форм відносять:

- рекламацийний акт;
- відривні талони на гарантійне обслуговування та ремонт;
- акт аналізу відмов КВ;
- протокол випробування виробів на надійність.

В даний час особливе значення набуває інформаційна інтегрована логістична підтримка (ІЛП), що дозволяє на всіх етапах ЖЦВ ефективно керувати формуванням та виконанням замовлень. Аналіз логістичної підтримки (АЛП) - найважливіший елемент ІЛП, який починають на стадії визначення

вимог до виробу (НДР, розробка проекту) і продовжують до завершення його використання (зняття з виробництва). Останнє необхідно для оцінки правильності результатів ААП та накопичення статистичного матеріалу, яка є основою аналізу нових проектів. Процес ААП носить ітеративний характер: на кожному наступному етапі уточнюються і розвиваються результати попереднього етапу [1].

ААП сучасної компресорної техніки є актуальним для підвищення її якості та мінімізації вартості життєвого циклу при забезпеченні відповідності вимогам міжнародних стандартів замовників. Таке дослідження вимагає участі багатьох фахівців високої кваліфікації: інженерів-аналітиків, конструкторів, розрахувачів, фахівців з надійності, з організації експлуатації та обслуговування, з організації та проведення випробувань, з охорони навколишнього середовища, економістів і т.д.

Для виконання ААП необхідно попередньо виконати структурний і функціональний аналіз компресорного устаткування, тобто розробити його логістичну структуру (АС), логістичну структуру функцій (АСФ) і встановити взаємозв'язки між ними.

**Постановка завдання.** Компресорне обладнання є складною технічною системою (СТС) [1]:

- компресор – енергетична машина або пристрій для підвищення тиску і переміщення газу або їх сумішей (робочого середовища);
- компресорний агрегат – компресор (або компресори) з приводом;
- компресорна установка – компресорний агрегат з додатковими системами, що забезпечують його роботу;
- компресорна станція – комплекс, що включає в себе одну або більше компресорних установок, будівлі, в якій вони розміщені, шасі, кузов, платформу, навіс, систему управління і необхідне допоміжне обладнання.

У складі СТС в загальному випадку можуть бути виділені три різні компоненти [1]: – комплекс технічних засобів (КТЗ), програмне забезпечення (ПЗ) і оперативний персонал (ОП).

Під комплексом технічних засобів КО розуміється сукупність технічних пристроїв, взаємопов'язаних

між собою для підвищення тиску і переміщення газу або їх сумішей (робочого середовища). КТЗ КО класифікують залежно від сфери застосування.

Програмне забезпечення КО представляє собою сукупність програм (програмних засобів), що використовуються в складі системи в процесі її функціонування. Всі елементи ПЗ (кошти, програми) поділяються на групи за ознакою їх участі у виконанні тієї чи іншої функції, в реалізації якої бере участь ПЗ. В результаті утворюються функціональні підсистеми ПЗ (ФППЗ). Під функцією ПО розуміється управління конкретними технічними засобами КО. ФППЗ можуть мати різну значимість для функціонування КО в цілому і, відповідно, характеризуватися різним рівнем вимог. У багатофункціональній системі КО ПЗ може брати участь у реалізації кількох функцій. При цьому у виконанні якоїсь однієї функції можуть брати участь не всі програми, що входять до складу ПЗ.

Під оперативним персоналом розуміють категорію працівників, які безпосередньо впливають на органи управління КО, мають право експлуатаційного обслуговування та виконання оперативних перемикачів на обладнанні.

Основним завданням ОП в процесі функціонування КО вважається

виконання певної, заздалегідь заданої процедури (послідовності операцій) при виникненні певних умов (заданої ситуації). У виконанні процедури можуть брати участь один або кілька операторів. Якість виконання ОП заданої процедури визначається рядом вимог (вимоги точності, швидкодії, послідовності виконання операцій тощо). Найбільш частим видом порушення нормального функціонування ОП є помилка у виконанні заданої процедури, яка проявляється в невиконанні однієї або декількох вимог до якості процесу експлуатації КО.

Зазначені три компоненти впливають на ефективність використання за призначенням КО не ізолювано, а в тісному взаємозв'язку один з одним. Це виражається в можливості одного коригувати двома іншими для ефективності реалізації його функцій. Між компонентами діють просторово-часові відносини.

У зв'язку з тим, що системи є багатофункціональними і виконуваними ними функції можуть істотно відрізнятися, при розгляді багатьох питань використовується функціональний підхід (рис. 1).

При цьому для розгляду питань щодо якоїсь ( $j$ -ї) функції зі складу всіх елементів виділяється група технічних, програмних і ергатич-

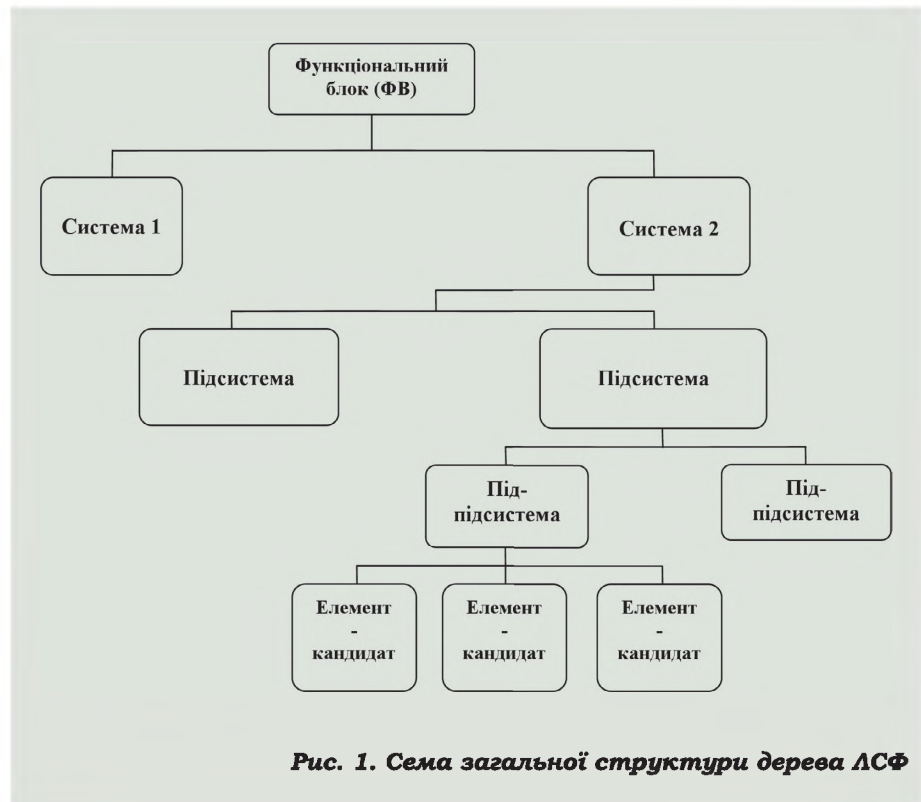


Рис. 1. Сема загальної структури дерева АСФ

них елементів, що беруть участь у виконанні цієї функції.

Ця група елементів утворює  $j$ -у функціональну підсистему ( $j$ -а ФП або ФП $j$ ) розглянутого КО. Саме ця ФП $j$  підлягає аналізу при розгляді характеристик КО щодо реалізованої ним  $j$ -ї функції.

До складу ФП $j$  (як і до складу КО в цілому) у загальному випадку входять три компоненти – групи, що беруть участь у реалізації  $j$ -ї функції:

- технічних засобів ( $j$ -а функціональна підсистема КТС - ФПКТС-С $j$ );
- програмних засобів ( $j$ -а функціональна підсистема ПЗ - ФППЗ $j$ );
- ергатичних засобів ( $j$ -а функціональна підсистема ОП - ФПОП $j$ ).

За ознакою участі у виконанні деякої функції виділяються функціональні підсистеми з інформаційними ознаками - інформаційні підсистеми і т.д. Аналіз функціонування КО істотно спрощується, якщо його структура побудована так, що виділені за функціональними і конструктивними ознаками підсистеми збігаються.

Опис надійності багатофункціональної системи проводиться по кожній функції (по кожній ФП) окремо. Рішення завдання проектною оцінки надійності системи, що має  $N$  функцій, зводиться до  $N$ -кратного повторення вирішення більш приватного завдання однієї системи ФП.

Важливе методичне питання – вибір глибини декомпозиції. Кількість рівнів розукрупнення в загальному випадку не обмежена, але створювати занадто багато рівнів не рекомендується [3], так як це утруднить аналіз. Елементи всіх рівнів розукрупнення носять загальну назву - елемент логістичної структури функції (АСФ).

Згідно ГОСТ 27.310-95 аналіз видів і наслідків відмов (АВНВ) формалізований. Контрольована процедура якісного аналізу проекту полягає у виділенні на деякому рівні розукрупнення його структури можливих (спостережуваних) відмов різного виду, в простежуванні причинно-наслідкових зв'язків, що обумовлюють їх виникнення, і можливих (спостережуваних) наслідків цих відмов на даному і вищих рівнях, а також - в якісній оцінці і ранжируванні відмов по тяжкості їх наслідків. Процедура АВНВ, що доповнена оцінками показників

критичності аналізованих відмов, отримала назву АВНКВ - аналіз видів, наслідків і критичності відмов. АВНКВ є невід'ємною частиною АЛП виробів і служить основним джерелом вихідних даних для більшості завдань АЛП. З іншого боку, АВНКВ може служити додатковим інструментом для фахівців з надійності та безпечності готового виробу і його систем.

На стадії функціонального аналізу предметом АВНКВ є АСФ і функціональні відмови. На другій стадії АЛП предметом аналізу є АС КО і відмови її елементів, а також змішана структура, що отримана після встановлення зв'язків між елементами АСФ і АС КО. Нижній рівень розукрупнення АС КО, який розглядається в АВНКВ, як правило, вибирається, виходячи з того, що необхідно проаналізувати всі елементи, які підлягають обслуговуванню, для чого будуть потрібні запасні частини та інші ресурси на розглянутих рівнях обслуговування. Загальна структура АС приведена на рис. 2.

**Метою досліджень** в даній роботі є розробка методології забезпечення якості компресорного обладнання на основі використання функціонального підходу і моделей логістичної структури функцій.

**Результати досліджень.** Побудову АСФ для КО наведено на при-

кладі масляної системи гвинтових компресорних установок (КУ) з електричним приводом (рис. 3).

Нижній аналізований рівень декомпозиції - це рівень, до якого буде проводитися аналіз КО. Наприклад, при укрупненому аналізі нижнім може бути обраний рівень агрегатів / основних вузлів КО (LRU). Однак у цьому випадку не можна описати і проаналізувати причини відмов агрегатів та їх складових на нижньому рівні декомпозиції. Такий підхід доцільний для покупних комплектуючих виробів (ПКВ), що замінюються цілком (LRU) і підлягають списанню або відновленню силами підприємства виробника. Для агрегатів / вузлів, які передбачається відновлювати силами замовника, повинен проводитися більш глибокий аналіз, що дозволяє виявити і описати причини відмов агрегатів (LRU), аж до замінних комплектуючих (SRU), що не підлягають подальшому розукрупненню / відновленню.

Наявність у ФПС трьох компонентів (окремих підсистем - ФПКТС, ФППЗ і ФПОП), відмови (помилки) кожного з яких можуть викликати відмову ФП в цілому, зумовлює кілька видів відмов. Компоненти ФП, в загальному випадку, впливають на загальну надійність КО в тісному взаємозв'язку один з одним.

Для КО, з огляду аналізу рекамацій, що надходять у гарантійний

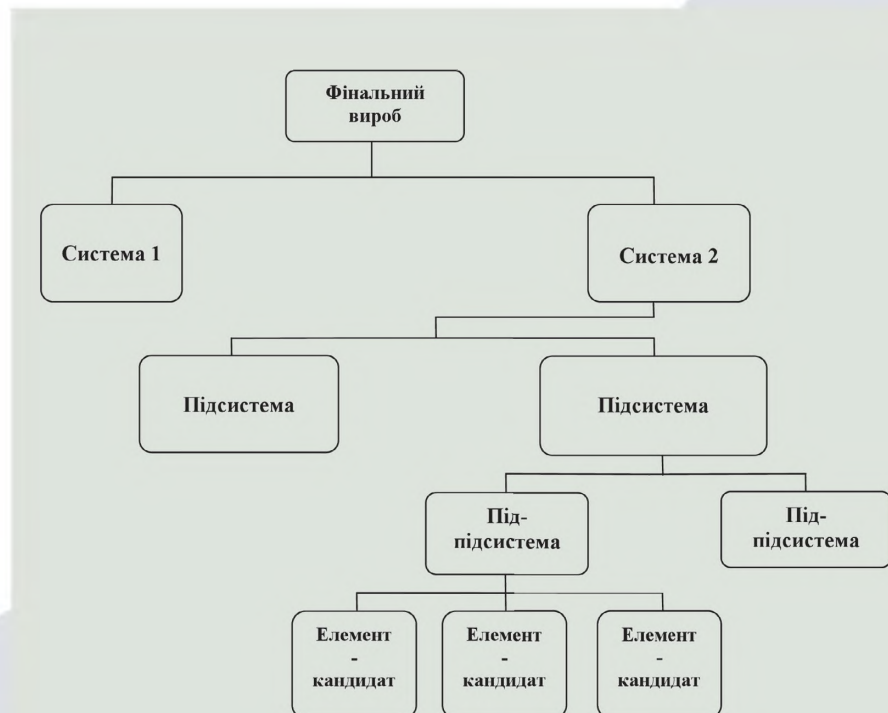


Рис. 2. Загальна структура дерева логістичної структури виробу

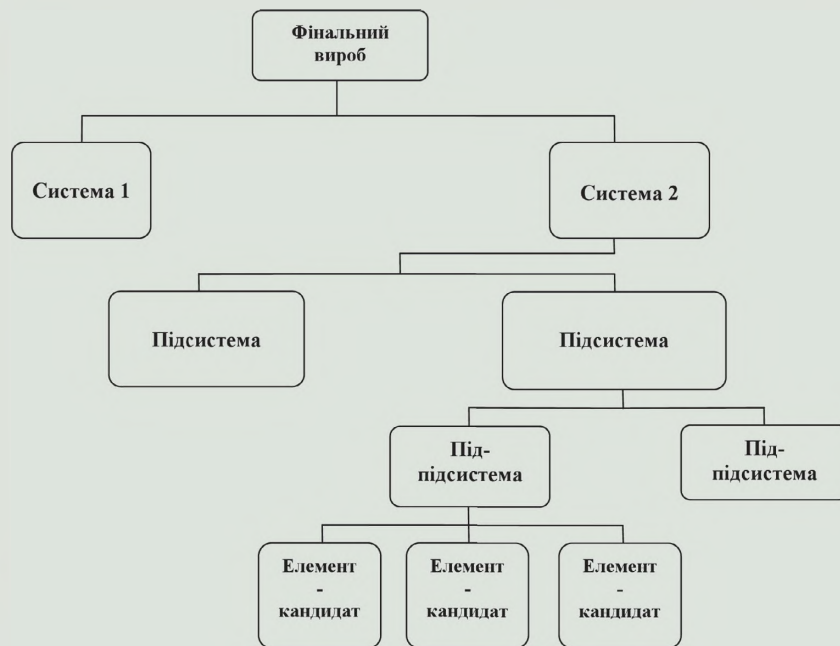


Рис. 3. АСФ для КУ на прикладі масляної системи

термін експлуатації, запропонована наступна класифікація видів відмов:

– категорія 1 – критична відмова (призведе до катастрофічних наслідків і до великих втрат при експлуатації);

– категорія 2 – дуже серйозна відмова (призведе до втрати працездатного стану і буде помічена споживачем, що обов'язково призведе до подачі рекламції);

– категорія 3 – серйозна відмова (значно знизить надійність КО, найвірогідніше буде помічена споживачем і може викликати подачу рекламції);

– категорія 4 – порівняно серйозна відмова (може призвести до зниження надійності КО, найвірогідніше буде помічена споживачем, є ймовірність подачі рекламції);

– категорія 5 – незначна відмова (не знизить надійності, швидше за все не буде помічена споживачем і не викличе подачі рекламції). До даної категорії також можна віднести відмови, які виникли у зв'язку з не проведенням регламентних робіт (ТО, ТЕ1 і т.д.).

Класифікація включає вибір різних категорій тяжкості наслідків відмови (КТПО), які будуть використовуватися в процесі аналізу, та визначення критеріїв відне-

сення відмов до зазначених категорій.

Приклад побудови АС для КО на прикладі масляної системи гвинтових КУ з електричним приводом наведено на рис. 4.

Таким чином, для проведення АВНКВ різних елементів КО може бути обраний різний рівень декомпозиції в залежності від типу елемента та особливостей його обслуговування у замовника. Вся увага в процесі АВНКВ зосереджена на елементах, потенційно найбільш критичних для надійності КО.

У свою чергу АВНКВ можна розділити на два етапи, які виконуються послідовно на кожній стадії розробки:

1. Аналіз видів та наслідків відмов (АВНВ).

2. Якісний і кількісний аналіз критичності (АК).

Якісний аналіз критичності виконується, як правило, на ранніх стадіях розробки, коли конструкція виробів ще не повністю визначена і немає кількісних даних про надійність всіх комплектуючих виробів. Для виконання цього виду аналізу кожному виду відмови необхідно призначити якісний параметр, що характеризує ймовірність його виникнення – рівень ймовірності виникнення (табл. 1).

Процедура якісного аналізу критичності полягає у призначенні видів відмов пріоритетів коригувальних і компенсуючих дій залежно від КТПВ (категорії тяжкості наслідків відмови) і очікуваного рівня ймовірності виникнення відмови. Для цього види відмов розподіляються по матриці критичності, на горизонтальній осі якої відкладені значення КТПВ, а на вертикальній – рівні ймовірності виникнення відмови (рис. 5). Залежно від того, в яку область матриці критичності потрапляє вид відмови, йому призначається відповідний пріоритет коригувальних і компенсуючих дій (табл. 2).

Для дослідження були обрані компресорні установки з електричним двигуном (ЕД) і гвинтовим модулем (компресорним блоком (КБ)), робоче середовище – повітря.

За запропонованою вище класифікацією видів відмов (несправностей, недоліків) для КО, побудованої на підставі аналізу отриманих рекламцій у гарантійний термін експлуатації, аналізуємо і розподіляємо по категоріях критичності можливі відмови КО:

– категорія 1 – вихід з ладу (заклинювання) КБ, обрив однієї з об-

Таблиця 1. Рівень ймовірності виникнення відмови

Рівень ймовірності виникнення відмови	Опис
A	Часта відмова (Ч)
B	Помірно вірогідна відмова (ПВ)
C	Малоймовірна відмова (МВ)
D	Вкрай малоймовірна відмова (ВМВ)
E	Практично неймовірна відмова (ПНВ)

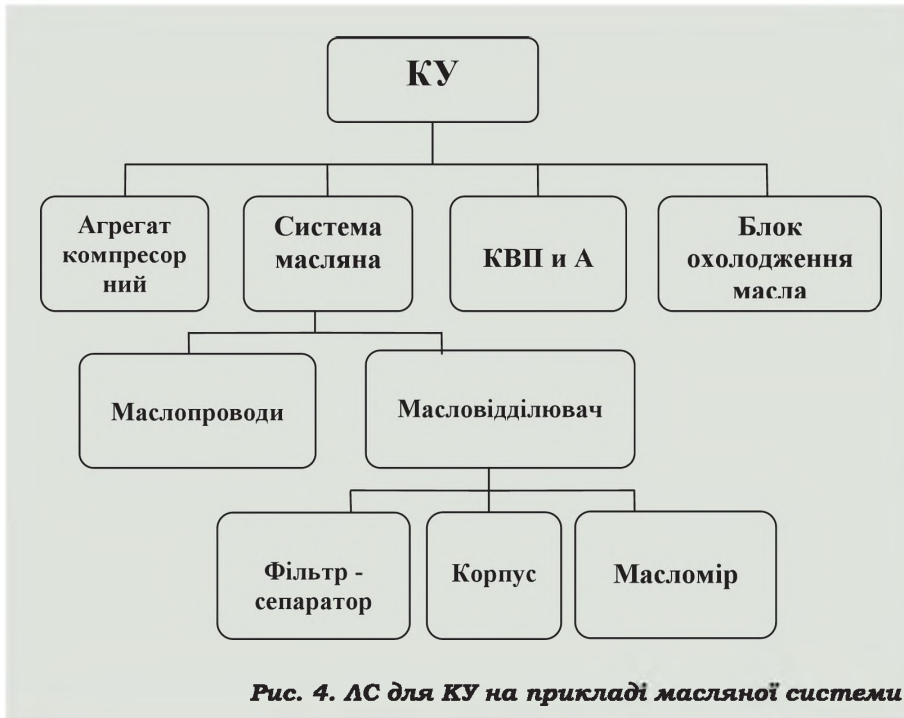


Рис. 4. АС для КУ на прикладі масляної системи

шипників ГЕД, тріщини маслопроводів, виходи з ладу теплових реле, виходи з ладу запобіжного клапана також потрібна оцінка необхідності розробки засобів контролю, сигналізації і компенсації відмови. Може знадобитися зміна конструкції (заміна) вузла або деталі з метою підвищення надійності всього виробу. Такі функції як: дефекти фарбування, некомплект поставки і якість клапанів мінімального тиску перебувають в нормі. Засоби контролю за даними функціями підібрані вірно і не потребують суттєвих змін.

Найбільш «проблемним» вузлом, за результатами досліджень, є головний електродвигун. Це означає, що при проектуванні КУ (КС) підприємство-виробник має ретельно проаналізувати ринок виробників даних виробів. Службою матеріально-технічного забезпечення (МТЗ)

моток ЕД, точковий пробій обмотки ЕД;

- категорія 2 – вихід з ладу радіатора блоку охолодження масла (БОМ), вихід з ладу підшипників головного електродвигуна (ГЕД), вигорання вивідних кінців обмотки статора ЕД в клемній коробці, вихід з ладу ЕД БОМ;

- категорія 3 – вихід з ладу магистральних маслопроводів КУ (тріщина, розрив), вихід з ладу запірної або сигналізуючої арматури, вихід з ладу контролера КУ;

- категорія 4 – вихід з ладу елементів КВП і А;

- категорія 5 – некомплект поставки, дефекти фарбування, дефекти упаковки.

Тому що для виконання якісного аналізу кожному виду відмови необхідно призначити якісний параметр, який характеризує ймовірність його виникнення - рівень ймовірності виникнення, але відомості щодо кількості отриманих рекламаций являють собою комерційну таємницю підприємства, значення наведені нижче в табл. 3 носять розрахунково – умовний характер.

На підставі призначених категорій критичності і рівнів ймовірності виникнення відмови будуємо матрицю критичності для якісного аналізу.

Залежно від того, в яку зону (рис. 5) матриці критичності потрапляє досліджуваний вид дефекту, за пріоритетами важливості

Таблиця 2. Класифікації елементів за пріоритетами коригувальних і компенсуючих дій

Пріоритет	Рекомендації
1	Для таких функцій / елементів необхідно передбачити засоби контролю, сигналізації і компенсації відмови. Ці елементи повинні розглядатися як першочергові кандидати на зміну конструкції (заміну) з метою підвищення надійності всього виробу.
2	Потрібна оцінка необхідності розробки засобів контролю, сигналізації і компенсації відмови. Може знадобитися зміна конструкції (заміна) з метою підвищення надійності всього виробу.
3	Не розглядається як кандидат на доопрацювання / заміну.

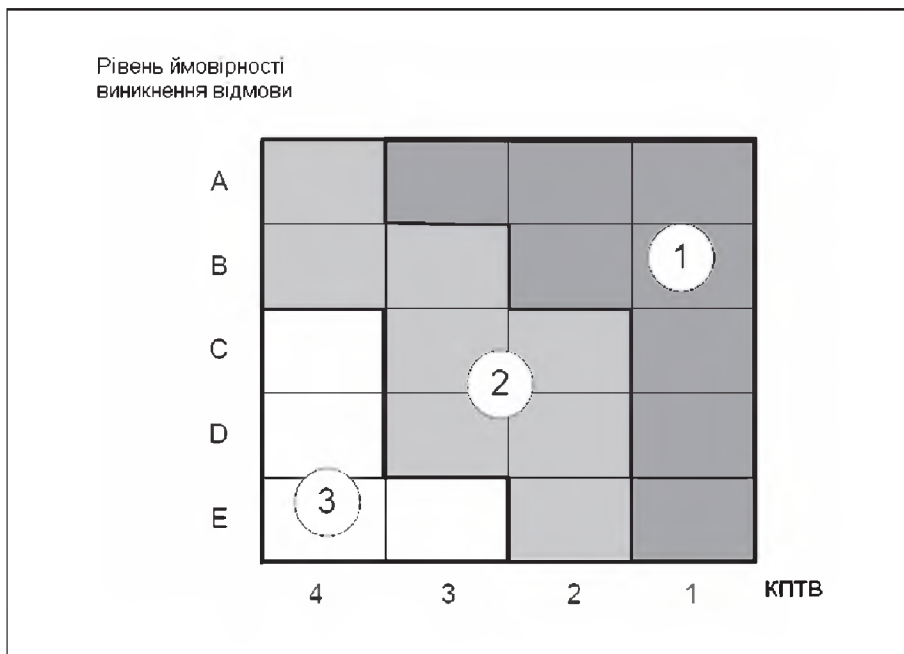
йому призначаються коригувальні та компенсуючі дії.

Як видно з табл. 3, такі види відмов як: точковий пробій обмотки ГЕД, обрив обмотки ГЕД, заклинювання КБ, негерметичність охолоджувача мастила вимагають звернути на себе особливу увагу. Для таких функцій / елементів необхідно передбачити засоби контролю, сигналізації і компенсації відмови. Дефектоутворюючі вузли (деталі) повинні розглядатися як першочергові кандидати на зміну конструкції (заміну) з метою підвищення надійності всього виробу. Для таких видів відмов як: вигорання вивідних кінців обмотки статора ГЕД, виходи з ладу під-

приємства, згідно з вимогами ДСТУ ISO 9001, повинна вестися оцінка постачальників електродвигунів та їх відбір. Для приймання даної продукції на підприємстві варто розробити методику вхідного контролю, яка зможе в повному обсязі забезпечити попадання у виробництво якісних виробів. У продукції, що розробляється або наявної у виробництві, необхідно передбачити, або розробити, нові засоби сигналізації і захисту. У експлуатаційній документації на КО прописати вимоги до обслуговування та експлуатації даного типу вузла. Розробити і встановити перелік робіт з технічного обслуговування (ТО) головного електродви-

**Таблиця 3. Рівень ймовірності виникнення відмов (подачі рекламантів)**

Опис виходу з ладу (несправності, нестачі)	Кількість випадків виникнення	Рівень ймовірності виникнення
<b>Виходи з ладу ЕД</b>		
Точковий пробій обмотки	4	B
обрив обмотки	4	B
Вигорання вивідних кінців обмотки статора	2	D
Вихід з ладу підшипника	2	D
<b>Виходи з ладу КБ</b>		
Заклинювання КБ	4	B
Виходи з ладу БОМ		
Негерметичність охолоджувача мастила (покупного)	14	A
Теж саме власного виробництва	4	B
<b>Виходи з ладу магістральних маслопроводів</b>		
Тріщина маслопровода	3	C
Виходи з ладу елементів КВП і А		
Вихід з ладу контролера	1	E
Виходи з ладу теплових реле	7	A
<b>Виходи з ладу запірної та сигналізуючої арматури</b>		
Вихід з ладу клапана мінімального тиску	1	E
Вихід з ладу запобіжного клапана	3	C
Інші виходи з ладу, недоліки		
Дефекти фарбування	4	B
Некомплект поставки	2	D



**Рис. 5. Матриця критичності для якісного аналізу**

гуна в складі КО, для можливості збільшення терміну його служби.

**Висновки**

Використання інтегрованої логістичної підтримки (ІАП) та її інструментів дозволяє на всіх етапах ЖЦВ ефективно керувати формуванням та виконанням замовлень. Наведений метод оцінки якості не потребує значних фінансових вкладень, а тому може використовуватись не тільки на підприємствах, які спеціалізовані на компресоробудуванні, а й у всій машинобудівній галузі в цілому.

Результати, що отримані за допомогою АВНКВ, можуть використовуватись як технічними службами підприємств - виробників (для корегувань технологічних процесів виготовлення продукції та методів оцінки її якості в процесі виробництва; аналізу працездатності продукції, її деталей та вузлів; виявлення найслабкіших елементів конструкції, тощо) так і службами МТЗ (для оцінки постачальників комплектуючих), економічними підрозділами (для оцінки економічної доцільності використання тих чи інших комплектуючих; розрахунків затрат, які витрачені на гарантійне обслуговування, інше).

**Список літератури:**

- ГОСТ Р 53392-2009. Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Общие положения.
- Надёжность машиностроительной продукции. Практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. «Издательство стандартов», Москва, 1990.
- Методические указания. Руководство по проведению анализа логистической поддержки изделий авиационной техники. Научно-исследовательский центр CALS-технологий «Прикладная логистика». Москва, 2010.
- ГОСТ Р 53393 – 2009. Интегрированная логистическая поддержка. Общие положения.
- ГОСТ Р 53394 – 2009. Интегрированная логистическая поддержка. Основные термины и определения.
- ГОСТ 27.310-95. Надёжность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
- ДСТУ ISO 9001-2001. Системи управління якістю. Вимоги.