

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Писарчук Микола Віталійович

УДК 629.3.083

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
СТРАТЕГІЯ ВИБОРУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ
ЧАСТИНАМИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА
ТРАКТОРІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Писарчук М.В.

Керівник роботи

Грабар І.Г.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Писарчук Микола Віталійович. Стратегія вибору забезпечення запасними частинами вантажних автомобілів та тракторів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

В кваліфікаційній роботі розроблена стратегія вибору постачальників запасних частин для вантажних автомобілів та тракторів базується на комплексному багатокритеріальному аналізі, що поєднує оцінку надійності, оперативності постачання, якості продукції та економічної доцільності. Це дозволяє знизити ризики простоїв техніки, оптимізувати фінансові витрати на обслуговування та підвищити рівень готовності машин до експлуатації.

Запропонований підхід до класифікації запасних частин за пріоритетністю та критичністю експлуатаційних вузлів дозволяє сфокусувати ресурси на найбільш вразливих елементах техніки з урахуванням специфіки умов роботи. Ключовим практичним результатом роботи стало розроблення двох спеціалізованих пристосувань для відновлення працездатності критично важливих деталей двигунів: пристрою для фрезерування кришок шатунів та установки для електродугової металізації шатунів.

Пристрій для фрезерування кришок шатунів забезпечує швидке й точне центрування деталей на фрезерному верстаті, що значно скорочує допоміжний час і підвищує якість обробки. Установка для металізації дозволяє виконувати групове напилення покриттів на внутрішні поверхні шатунів із регульованою траєкторією руху супорта й металізатора, що знижує втрати матеріалу та підвищує продуктивність процесу.

Ключові слова: технічне обслуговування, ремонт, пристрій, випробовування, нагнітальний клапан, розбирання.

ANNOTATION

Pysarchuk Mykola. Strategy for selecting spare parts for trucks and tractors.

– *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The thesis develops a strategy for selecting suppliers of spare parts for trucks and tractors based on a comprehensive multi-criteria analysis that combines an assessment of reliability, delivery speed, product quality, and economic feasibility. This reduces the risk of equipment downtime, optimizes maintenance costs, and increases the level of machine readiness for operation.

The proposed approach to classifying spare parts according to the priority and criticality of operational components allows resources to be focused on the most vulnerable elements of equipment, taking into account the specific operating conditions. A key practical result of the work was the development of two specialized devices for restoring the operability of critical engine parts: a device for milling connecting rod caps and a device for electric arc metallization of connecting rods.

The device for milling connecting rod caps ensures fast and accurate centering of parts on the milling machine, which significantly reduces auxiliary time and improves the quality of processing. The metallization unit allows for group spraying of coatings on the inner surfaces of connecting rods with an adjustable trajectory of the caliper and metallizer, which reduces material loss and increases process productivity.

Keywords: maintenance, repair, device, testing, pressure valve, disassembly.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ТА МЕТОДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПАСІВ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ.....	9
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ СЕРВІСНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	22
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТА НЕОБХІДНОГО ПРИСТОСУВАННЯ	33
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний рівень розвитку агропромислового комплексу та транспортної інфраструктури України визначається насамперед ефективністю матеріально-технічного забезпечення рухомого складу – вантажних автомобілів і тракторів, які є ключовими елементами логістичних і виробничих процесів. Нестабільність поставок, зростання цін на комплектуючі та наслідки воєнних дій підвищують ризики простою техніки, що призводить до суттєвих фінансових втрат і зниження конкурентоспроможності підприємств.

Одночасно актуальною залишається проблема подовження строків служби критично важливих запасних частин і зниження собівартості ремонтних робіт. Розробка спеціалізованих пристосувань для відновлення працездатності шатунів фрезерувального пристрою для кришок і установки для електродугової металізації дозволяє організувати високопродуктивний ремонт на місці експлуатації техніки, зменшити витрати енергоресурсів і матеріалів, а також скоротити допоміжний час.

Враховуючи нагальну потребу у швидкому та економічно обґрунтованому поповненні запасів із застосуванням багатокритеріального відбору постачальників, інтеграції систем прогнозування попиту та використання розроблених технічних рішень, дослідження теми створення стратегії вибору запасних частин набуває особливої значущості для підвищення оперативної готовності техніки та забезпечення безперервності виробничих процесів у різних галузях економіки.

Мета роботи: розробити комплексну стратегію вибору та забезпечення запасними частинами вантажних автомобілів і тракторів із урахуванням багатокритеріального оцінювання постачальників, а також створити та випробувати спеціалізовані пристосування для відновлення працездатності шатунів: фрезерувальний пристрій для кришок та установку для електродугової металізації.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі **завдання:**

- проаналізувати науково-технічну літературу та стандартизовані підходи до організації матеріально-технічного забезпечення рухомого складу в агропромисловому комплексі й транспортній сфері;
- визначити критерії пріоритетності та критичності запасних частин із точки зору ризиків експлуатації та простоїв техніки;
- розробити багатокритеріальну модель оцінювання та відбору постачальників із урахуванням строків постачання, якості, ціни та сервісного обслуговування;
- обґрунтувати оптимальні обсяги мінімальних запасів і частоту замовлень шляхом економіко-математичного моделювання;
- спроектувати та виготовити пристосування для фрезерування кришок шатунів із пневматичним приводом, що забезпечує швидке й точне центроване встановлення деталей.
- розробити установку для електродугової металізації шатунів із регульованою траєкторією руху супорта і металізатора для підвищення продуктивності та економії матеріалу.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення запасними частинами вантажних автомобілів і тракторів та технологічні методи відновлення працездатності деталей двигунів, зокрема шатунів.

Предметом дослідження є методологія відбору постачальників і формування оптимальних запасів комплектуючих, а також конструктивно-технологічні рішення спеціалізованих пристосувань для фрезерування кришок шатунів і електродугової металізації шатунів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар І.Г., Ковальчук М.С. **Писарчук М.В.** Напрямки підвищення ефективності ремонту та технічного обслуговування сільськогосподарських тракторів. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного

сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 129-132.

2. Грабар І., **Писарчук М.** Аналіз причин відмов підшипникових вузлів автотранспортної техніки. бірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 297-299.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення дослідження полягає в можливості суттєвого підвищення ефективності матеріально-технічного забезпечення ремонтних підрозділів автопідприємств і сільськогосподарських господарств завдяки впровадженню багатокритеріальної моделі відбору постачальників і економічно обґрунтованих обсягів мінімальних запасів. Це дозволяє знизити операційні витрати, зменшити надлишкові залишки комплектуючих і мінімізувати простої техніки. Запропонована система регулярного моніторингу ринку запасних частин та автоматизовані алгоритми прогнозування попиту забезпечують своєчасне оновлення запасів і стабільність логістичних ланцюгів, що підвищує оперативну готовність рухомого складу.

Впровадження розроблених технічних рішень — фрезерувального пристрою для кришок шатунів і установки для електродугової металізації шатунів — гарантує високу точність обробки, повторюваність результатів і зниження витрат матеріалів. Механізми адаптації під різні типорозміри шатунів і підшипників забезпечують універсальність і гнучкість ремонтних операцій. Окрім того, ці пристрої легко інтегруються в існуючі ERP- та MES-системи, що сприяє автоматизації планування ремонтних робіт і управління запасами, підвищуючи загальну продуктивність і зменшуючи експлуатаційні витрати.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 31 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, містить 4 рисунки та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ТА МЕТОДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПАСІВ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ

Системи забезпечення запасними частинами формуються на основі організаційно-логістичних підходів, які визначають механізми надходження та розподілу деталей у сервісних підприємствах. Ключовим критерієм вибору системи є стабільність та передбачуваність попиту на запчастини, адже від цього залежить рівень обслуговування і витрати на утримання запасів. У рамках сучасних практик розрізняють постійні (неперервні) системи та періодичні огляди залишків, кожна з яких має власні переваги та обмеження. Паралельно запроваджуються консигнаційні моделі, де запаси перебувають під контролем постачальника, але фізично розташовані на складах сервісного центру. Не менш важливими є JIT-системи (just-in-time), що мінімізують надлишки за рахунок точної синхронізації поставок із виробничим процесом. Для забезпечення гнучкості дедалі ширше застосовують VMI (vendor-managed inventory), коли постачальник самостійно управляє рівнями залишків за погодженими правилами. До систем забезпечення також належать MRP (material requirements planning) та DRP (distribution requirements planning), які використовують дані про виробничі графіки та заплановані відвантаження. Кожна з цих систем описана у загальних моделях і вибирається залежно від масштабів підприємства, складності номенклатури та характеру попиту на запчастини [7].

Неперервні системи забезпечення ґрунтуються на безперервному моніторингу залишків і автоматичному формуванні замовлень при досягненні мінімального порога. У таких системах визначають точки замовлення (reorder point), коли програма чи оператор ініціюють нове замовлення без очікування періодичного перегляду. Це дозволяє скоротити відставання у поповненні та підтримувати необхідний рівень обслуговування без зайвих надлишків. Однак система вимагає надзвичайно точного обліку поточних запасів та оперативності

у виконанні заявок. Для великих номенклатурних списків або швидкозношуваних деталей така модель є оптимальною, оскільки гарантує безперервну роботу техніки. Водночас висока кількість транзакцій може створити додаткове навантаження на логістику та автоматизовані системи. З метою оптимізації часто поєднують неперервний моніторинг із методами прогнозування попиту, щоб уникнути реактивних закупівель. Потрібна висока готовність складської інфраструктури для оперативного оброблення замовлень.

Періодичні системи огляду запасів передбачають перегляд залишків через фіксовані інтервали часу та формування комплексних замовлень на всі позиції, у яких запаси опустилися нижче заданого рівня. Такий підхід зменшує частоту замовлень та спрощує координацію з постачальниками, але може призводити до тимчасових дефіцитів між оглядами. Оптимальний періодичний інтервал визначають, аналізуючи баланс між витратами на зберігання, обслуговування замовлень та вартістю простоїв техніки. Для підприємств із прогнозованим попитом і стабільними графіками ремонтів цей метод є економічно виправданим. Водночас у ситуаціях із високою мінливістю попиту застосовують гібридні рішення — поєднання періодичних оглядів із сигналами для термінових закупівель. Програмні продукти ERP часто включають модулі для автоматизації періодичних оглядів, що дозволяє налаштовувати індивідуальні інтервали для різних груп запчастин. Такий підхід сприяє зниженню логістичних витрат і одночасному підтриманню достатнього рівня обслуговування [4].

Канбан-системи та двоконтейнерні моделі реалізують принципи lean-логістики, де кожна використана пляшка чи контейнер із запчастинами сигналізує про необхідність поповнення. Цей візуальний підхід дозволяє буквально «бачити» потік споживання і поповнювати запаси без зайвих формальних процедур. У двоконтейнерній моделі один контейнер знаходиться в роботі, а другий — в резерві; як тільки перший спорожніє, його відправляють на дозаправлення, а резервний починає використовуватися. Канбан-картки або електронні аналоги виконують роль сигналів для відділу закупівель чи

відповідального співробітника. Цей метод особливо актуальний для стратегічно важливих деталей із високою швидкістю обігу. Основна перевага в тому, що замовлення формуються лише за фактичним споживанням, що знижує надлишкові запаси. Проте успіх залежить від дисципліни персоналу та точності обліку кожного елементу. Часто такі системи поєднують із прогностичними алгоритмами для підтримки мінімальних буферних запасів [3].

Just-in-time (JIT) системи спрямовані на максимальну синхронізацію поставок із фактичним виробничим чи сервісним процесом, дозволяючи тримати мінімальні, майже нульові, буферні запаси. Використання JIT дає змогу зменшити витрати на зберігання, прискорити оборотність та знизити ризики псування деталей. Однак для цього потрібна висока надійність логістичних каналів та чіткі домовленості з постачальниками. Будь-які затримки можуть призвести до простоїв техніки й значних фінансових втрат. Тому найчастіше JIT застосовують у комплексі з іншими системами забезпечення, наприклад, з консигнаційними складами або VMI. Наявність «страхових» аварійних запасів критично важливих запчастин допомагає знизити ризики у разі форс-мажорів. Постачальники, які працюють із JIT, зазвичай мають власні склади поруч із ключовими сервісними центрами. Це забезпечує швидке реагування на зміну потреб та стабільне обслуговування.

Консигнаційні системи передбачають зберігання запчастин на території сервісного підприємства, але всі витрати та право власності за ними залишаються за постачальником до моменту фактичного використання. Така модель дозволяє значно знизити потребу в оборотному капіталі, оскільки оплату здійснюють лише за реально спожиті деталі. Підприємство отримує оперативний доступ до широкої номенклатури, а постачальник зацікавлений у підтримці оптимального рівня запасів. Деталі можуть зберігатися в окремих зонах на складі або безпосередньо в майстернях. Для контролю руху використовують картки обліку чи електронні субрахунки в ERP-системах. Консигнація прискорює обслуговування і знижує ймовірність простоїв через

дефіцит. Водночас потребує чітких договорів із зазначенням мінімальних та максимальних залишків, правил звітності й санкцій.

Vendor-managed inventory (VMI) – це модель, коли постачальник отримує доступ до системи обліку запасів замовника та самостійно управляє рівнем залишків за узгодженими правилами. Постачальник аналізує дані про споживання та статистику замовлень, розраховує оптимальні обсяги та своєчасно формує поставки. Такий підхід дозволяє значно знизити адміністративне навантаження на закупівельний відділ замовника. Замовник у свою чергу отримує прозорість процесу та гарантію наявності критичних запчастин. VMI сприяє більш тісній співпраці між сторонами ланцюга постачання та дозволяє оптимізувати загальні витрати. Для впровадження потрібні чіткі SLA, що визначають часові рамки постачань, мінімальні норми та санкції за порушення. ERP-системи з модулем VMI виконують роль платформи для обміну даними в реальному часі [5].

Material requirements planning (MRP) – це підхід, що планує запаси, виходячи з планів виробництва чи графіків ремонтів техніки. MRP аналізує потребу у компонентах на основі списків деталей (BOM) та визначає дати й обсяги замовлень, враховуючи час постачання. Система генерує планове замовлення для кожної позиції, синхронізуючи поставки з виробничим циклом чи графіком технічного обслуговування. MRP є фундаментальною складовою ERP і часто інтегрується із модулями управління запасами та закупівель. Перевагою є можливість централізовано контролювати всі етапи руху матеріалів. Недолік — залежність від точності вхідних даних: неточності в прогнозах або зміни в графіку призводять до надлишкових запасів або дефіцитів. Тому MRP рекомендують доповнювати модулями прогнозування та періодичних перевірок [5].

Distribution requirements planning (DRP) застосовується для планування розподілу запасів між різними складами та філіями мережі. DRP враховує прогнози попиту, наявність залишків та ланцюги поставок для визначення оптимальних маршрутів і термінів доставки. Система дозволяє мінімізувати

загальні логістичні витрати, уникаючи надлишків у одних ланках і дефіцитів в інших. DRP інтегрується з TMS і WMS, забезпечуючи цілісний контроль над розподілом і транспортуванням. Для великої мережі сервісних центрів це критичний інструмент управління. DRP-моделі можна налаштовувати під різні стратегії: централізовану чи децентралізовану поставку. Реалізація DRP сприяє підвищенню рівня обслуговування та зменшенню часу доставки [5].

Методи обґрунтування запасів починаються з нормативного підходу, де величина запасу розраховується на базі встановлених нормативів споживання та середньої швидкості витрати запасних частин. Нормативні нормативи формуються на основі технологічних карт ремонту, регламентів виробників і досвіду попередніх періодів. Цей метод є простим у застосуванні та прозорим для керівництва, проте не враховує коливань попиту та можливих затримок постачань. Тому нормативний підхід часто застосовують як базову найпростішу модель, яку доповнюють статистичними методами. Для періодичних перевірок та планування норматив використовують у поєднанні з оглядами залишків. В ERP-системах легко інтегрувати нормативні значення для автоматичного формування замовлень [3].

Статистичні методи обґрунтування запасів ґрунтуються на аналізі історичних даних про споживання та час постачання. Використовують середні значення, стандартні відхилення та інші показники розсіювання для розрахунку страхового запасу та точки замовлення. Зокрема, при моделі з нормальним розподілом попиту точка замовлення визначається як сума середнього попиту за час постачання і множника z , що відповідає обраному рівню сервісу, помноженого на стандартне відхилення. Статистичні методи дозволяють врахувати невизначеність попиту і коливання часу доставки. На їх основі розраховують планові закупівлі з заданим ризиком дефіциту. Проте для коректності потрібно достатньо великий масив історичних даних. Багато сучасних ERP-систем надають вбудовані статистичні модулі для таких розрахунків [8].

Детерміновані моделі, зокрема класична модель EOQ (economic order quantity), зосереджені на зниженні сумарних витрат на утримання і розміщення замовлень. Формула EOQ дозволяє розрахувати оптимальний обсяг одного замовлення, що мінімізує суму витрат на зберігання та витрат на випуск замовлень. При застосуванні EOQ враховують такі показники: річне споживання, вартість одиниці зберігання й фіксовані витрати на кожне замовлення. Модель передбачає постійний попит і фіксований час доставки, що може бути спрощенням. Нерідко її адаптують під реальні умови, вводячи корекційні коефіцієнти. EOQ зручно використовувати як відправну точку для подальшого більш складного моделювання. ERP-інструменти автоматизують обчислення EOQ для кожної позиції номенклатури [2].

Формула Вілсона є класичним прикладом застосування моделі EOQ і дозволяє отримати економічний обсяг замовлення з урахуванням річного попиту, витрат на розміщення замовлення та питомих витрат утримання запасів. Закладені в ній припущення: постійний попит, регулярний ритм виконання замовлень та лінійна залежність витрат на зберігання. Незважаючи на спрощеність, модель дає практично прийнятні результати для широкого спектру деталей. Формулу часто розширюють із введенням змінних витрат на зберігання залежно від обсягу запасів чи рівня сервісу. До формули додають також корекцію на ймовірнісні параметри, щоб врахувати невизначеність попиту. В ERP системах Вілсонська формула реалізована як один із стандартних методів обґрунтування запасів. Використання моделі сприяє стандартизації процесу розрахунку та прозорості прийнятих рішень [3].

Розрахунок страхового запасу передбачає визначення додаткової кількості деталей, що повинна покривати коливання попиту та можливі затримки у постачанні. В основу закладають бажаний рівень сервісу, виражений у відсотку замовлень без дефіциту. Застосовують формули, які включають стандартне відхилення попиту за час постачання та множник z , що відповідає вибраному рівню сервісу. Для практики обирають рівень сервісу 90–98 %, залежно від критичності вузла. Страховий запас додають до точки

замовлення, отримуючи загальний обсяг при якому слід ініціювати замовлення. Важливо регулярно переглядати та коригувати параметри з огляду на реальні відхилення у попиті та доставці. Це дає змогу мінімізувати дефіцит без суттєвого збільшення надлишків запасів [7].

Визначення точки замовлення (reorder point) комбінує середній попит за час постачання та величину страхового запасу. Цей показник визначає момент, коли необхідно розмістити нове замовлення, щоб уникнути дефіциту. Для розрахунку точки замовлення використовують формулу: $ROP = D \times L + SS$, де D — середній добовий попит, L — середній час доставки, SS — страховий запас. У практиці ERP-системи автоматично розраховують і відстежують ROP для кожної номенклатурної позиції. Після досягнення цього рівня програмне забезпечення формує повідомлення або безпосередньо ініціює замовлення. Регулярний моніторинг ROP дозволяє забезпечувати необхідний рівень обслуговування за мінімальних витрат.

Прогнозування попиту є вихідною процедурою для багатьох методів обґрунтування запасів і включає методи часових рядів та причинно-наслідкові методики. Часовий ряд аналізує історичні дані, використовуючи ковзне середнє, експоненціальне згладжування або сезонні моделі SARIMA. Ці методи дозволяють виявити тренди, сезонні коливання та циклічні компоненти попиту. Причинно-наслідкові моделі використовують регресійний аналіз із зовнішніми змінними, такими як обсяги виробництва, кліматичні фактори чи макроекономічні показники. Комбіновані підходи (мета-аналіз) поєднують переваги обох груп методів для підвищення точності. Сучасні системи прогнозування доповнені машинним навчанням, що дозволяє враховувати складні нелінійні залежності. Якість прогнозу безпосередньо впливає на ефективність подальшого обґрунтування запасів [3].

Метод ковзного середнього є базовим інструментом прогнозування, який усуває короткочасні коливання та допомагає виявити довгострокові тренди. Для розрахунку беруть середнє значення попиту за фіксований інтервал останніх періодів. Чим більший інтервал ковзного середнього, тим плавніший

прогноз, але повільніше реагування на зміни. Метод швидко реалізується та зрозумілий непрофесіоналам. Однак він не враховує сезонності та різкі трендові зрушення. В практиці його використовують як елемент комбінованих моделей або для перевірки коректності складніших прогнозів. ERP-системи пропонують налаштування довжини ковзного вікна під конкретні умови попиту [3].

Експоненційне згладжування — це метод, у якому ваги попередніх спостережень зменшуються експоненційно, що дозволяє швидше реагувати на зміни у тренді. Просте експоненційне згладжування враховує лише періодичні коливання без урахування сезонності. Для сезонних даних застосовують подвійне або потрійне експоненційне згладжування (метод Холта-Вінтера). Методи експоненційного згладжування менш чутливі до випадкових «викидів» у даних порівняно з ковзним середнім. Параметр згладжування α вибирається експериментально або на основі мінімізації квадратичної похибки прогнозу. Впровадження таких методів у ERP-середовищах дозволяє автоматично оновлювати прогнози з кожним новим спостереженням. Це сприяє підтриманню актуальних планів закупівель та зменшенню надлишків.

Регресійний аналіз у прогнозуванні запчастин базується на виявленні причинно-наслідкових зв'язків між попитом та зовнішніми факторами. Наприклад, кількість ремонтних годин може залежати від сезонних змін навантаження техніки або від обсягів виробничого циклу клієнта. Регресійні моделі дозволяють кількісно оцінити вплив кожного фактора на попит. У простій лінійній регресії використовують одну незалежну змінну, у множинному — кілька. Метод корисний для стратегічного планування, коли відомі головні драйвери попиту. Однак він потребує ретельного збору та обробки даних і перевірки статистичних гіпотез. Регресійні модулі інтегруються в аналітичні рішення ERP та BI-платформ, що забезпечує візуалізацію результатів [4].

ABC-аналіз класифікує запчастини за величиною їхньої річної вартості споживання: категорія А – 70–80 % вартості, В – 15–25 %, С – 5–10 %. Такий

підхід дозволяє сфокусувати увагу на критичних позиціях, від яких залежить основний обсяг витрат. Для категорії А встановлюють найсуворіші правила обліку та мінімальні страхові запаси. Запчастини В і С управляються менш інтенсивно, із збільшенням інтервалів огляду та більшими страхувальними буферами для С. ABC-аналіз є невід'ємною частиною класифікації запасів у ERP-системах. Результати аналізу лягли в основу пріоритезації закупівель і інвестицій у складську інфраструктуру. Періодичний перегляд категорій допомагає коригувати стратегію управління запасами за зміною попиту [3].

XYZ-аналіз класифікує запчастини за стабільністю попиту: Х – стабільний, Y – сезонний, Z – випадковий попит. Для категорії Х можна застосовувати моделі з оптимальними обсягами замовлення та ROP, оскільки попит передбачуваний. Для Y критично враховувати сезонність, вбудовуючи її в моделі прогнозування та розрахунку страхового запасу. Категорія Z потребує високих страховок або структури консигнаційних запасів через великі коливання та невизначеність. Поєднання XYZ з ABC дозволяє отримати матрицю 3×3, що деталізує підходи до різних груп запчастин. Така матриця допомагає формувати індивідуальні політики замовлень та обліку. ERP-платформи зазвичай надають інструменти для оперативного проведення ABC-XYZ аналізу.

Комбінований ABC-XYZ підхід дозволяє максимально адаптувати систему забезпечення до характеристик кожної групи запчастин. Наприклад, запчастини категорії А-Х отримують найбільшу увагу з найнижчими інтервалами перевірки та мінімальними страховими залишками. У той час С-Z позиції можуть обслуговуватися за принципом замовлення по мірі потреби або через консигнацію. Така деталізація допомагає ефективно розподіляти ресурси на управління запасами. Для реалізації потрібен інструментарій ERP із підтримкою багатовимірної класифікації. Результатом є зниження загальних витрат на утримання та підвищення рівня сервісу. Комбінація ABC-XYZ є стандартом кращих світових практик.

Ризик-орієнтована класифікація розглядає запчастини з урахуванням ймовірності виникнення дефіциту та наслідків простою. Позиції з високим ризиком дефіциту і значними економічними втратами від простою техніки отримують пріоритет у формуванні запасів. Ризик визначають як комбінацію ймовірності дефіциту та потенційних збитків. Це дозволяє диференціювати позиції не лише за вартістю, але й за рівнем критичності. У багатьох ERP-системах можна налаштувати модулі ризик-менеджменту для автоматичного розрахунку ризиків. Ризик-орієнтований підхід доповнює ABC-XYZ матрицю та дозволяє створювати більш стійкі стратегії запасів.

Моделювання — це метод, що використовує комп'ютерні симуляції для відтворення логістичних процесів і визначення оптимальних рівнів запасів у складних умовах. За допомогою дискретно-подійного моделювання можна оцінити вплив варіацій попиту, часу доставки та ресурсних обмежень. Симуляції дозволяють тестувати різні сценарії: зміни постачальників, сезонність, форс-мажори. Результати моделювання дають візуалізацію ключових показників: частота дефіцитів, середній розмір запасів, витрати на зберігання. Моделювання допомагає обрати гібридні стратегії замовлень та адаптувати політики запасів. Сучасні BI-інструменти і спеціалізовані пакети для симуляції інтегруються з ERP-системами, забезпечуючи обмін даними. Застосування симуляцій значно підвищує якість прийняття рішень у нестабільному середовищі [3].

Метод Монте-Карло є різновидом симуляційного моделювання, що використовує випадкову генерацію параметрів попиту та часу доставки для оцінки ризиків і визначення розподілу можливих результатів. Кілька тисяч ітерацій дозволяють отримати ймовірнісний розподіл показників: ймовірність дефіциту, розміри страхових запасів. Метод корисний у разі високої невизначеності та для складних систем із багатьма з'єднаними ланками. Він дає змогу виявити найуразливіші позиції в ланцюгу постачання. Проте потребує значних обчислювальних ресурсів і детальних даних про розподіли параметрів.

Впровадження в ERP середовищах часто здійснюється через зовнішні аналітичні пакети, що обмінюються даними з основною системою.

Оптимізація запасів у багаторівневих ланцюгах (multi-echelon inventory optimization) враховує взаємозв'язок запасів на різних рівнях: центральні склади, дистрибуційні центри, локальні філії. Метою є мінімізація загальних витрат по всіх рівнях при заданому рівні сервісу. Алгоритми оптимізації шукають компроміс між централізованим та децентралізованим зберіганням. Для вирішення використовують стохастичні моделі, методи лінійного програмування та евристики. ERP-системи розширені модулем multi-echelon дозволяють моделювати різні стратегії розподілу. Реалізація цього підходу підвищує загальну стійкість ланцюга постачання [2].

Інтеграція ERP-систем відіграє ключову роль у забезпеченні єдиного інформаційного простору для управління запасами. ERP-модулі з управління матеріалами, закупівлями, складом і продажами обмінюються даними в реальному часі. Це дозволяє автоматизувати основні бізнес-процеси, знижуючи ризики помилок при введенні даних. Використання одного джерела істини сприяє прозорості й оперативності прийняття рішень. ERP-інструменти забезпечують централізований контроль параметрів: ROP, EOQ, страхові запаси, періоди огляду. Наявність мобільних клієнтів і веб-інтерфейсів дозволяє організувати віддалений доступ для польових співробітників. Системи ERP стають платформою для впровадження передових методів обґрунтування запасів.

Сучасні IoT-рішення дозволяють у реальному часі відстежувати умови зберігання та переміщення запчастин. Датчики температури, вологості і вібрації моніторять стан критичних складських зон. RFID-мітки та GPS-трекери відстежують місцезнаходження кожної одиниці запасів. Дані надходять у систему аналітики, що реагує на відхилення умов зберігання чи маршруту доставки. Це дозволяє своєчасно виявляти ризики псування деталей або затримки вантажів. Інтеграція з ERP-модулями дає змогу автоматично

коригувати плани замовлень. IoT-рішення підвищують прозорість ланцюга постачання і зменшують втрати.

Машинне навчання стає перспективним інструментом для прогнозування попиту та оптимізації запасів. Алгоритми глибокого навчання аналізують великі обсяги даних про експлуатацію техніки, погодні умови, сезонні коливання та поведінку клієнтів. Моделі автоматично знаходять складні нелінійні залежності та генерують більш точні прогнози. ML-системи можуть адаптуватися до зміни параметрів попиту в режимі реального часу. Інтеграція з ERP і BI-платформами дозволяє конвертувати прогнози в конкретні плани закупівель. Використання ML-підходів сприяє зниженню надлишкових запасів та дефіцитів.

Ключовими показниками ефективності систем забезпечення є рівень сервісу, коефіцієнт оборотності запасів, середній час виконання замовлення та витрати на утримання запасів. Регулярний моніторинг KPI дозволяє оцінювати результативність обраних методів обґрунтування запасів. Візуалізація показників на дашбордах ERP або BI-системи сприяє швидкому виявленню відхилень. Аналіз динаміки KPI показує ефективність коригувальних дій. Це необхідно для постійного вдосконалення процесів. KPI-орієнтований підхід забезпечує прозорість і підзвітність управлінських рішень.

Запровадження циклу PDCA (plan–do–check–act) сприяє безперервному вдосконаленню систем забезпечення та методів обґрунтування запасів. На етапі планування визначають цілі, KPI та обирають методи розрахунку запасів. Етап виконання передбачає імплементацію обраних моделей у ERP чи аналітичні платформи. Перевірка включає аналіз відхилень та порівняння фактичних результатів із запланованими показниками. Дія спрямована на коригування процесів, нормативів і моделей прогнозування. Періодичне повторення циклу забезпечує адаптивність системи до змін у попиті та ринкових умов [7].

Комплексний підхід до систем забезпечення запасами та методів обґрунтування запасів частин дозволяє збалансувати витрати, рівень сервісу та ризики дефіциту. Поєднання різних систем (неперервні, періодичні, JIT, VMI) із

методами прогнозування, статистичними та нормативними моделями створює стійку систему управління запасами. Інтеграція сучасних цифрових технологій — ERP, IoT, ML та симуляцій — підвищує точність і оперативність прийняття рішень. Постійний моніторинг KPI та застосування PDCA гарантують безперервне вдосконалення. Такий підхід забезпечує конкурентоспроможність сервісних підприємств у динамічному середовищі та високий рівень задоволеності клієнтів.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ СЕРВІСНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Ефективне забезпечення запасними частинами є ключовим елементом безперебійної роботи сервісних підприємств, що обслуговують сільськогосподарську та промислову техніку. Воно впливає на оперативність виконання ремонтних робіт, рівень задоволеності клієнтів та вартість обслуговування. Недостатня наявність або затримки в поставках запчастин призводять до простоїв обладнання та фінансових втрат. У сучасних умовах конкуренції та збільшених вимог до якості сервісу необхідно впроваджувати нові підходи до планування запасів. Аналіз існуючих процесів показує, що багато підприємств покладаються на традиційні методи обліку та замовлення. Це створює ризики надлишкових запасів або, навпаки, дефіциту. Згідно з дослідженнями, оптимізація запасів дозволяє скоротити витрати на їх утримання до 15–20 % без втрати рівня обслуговування. Водночас запровадження автоматизованих систем дає змогу оперативно коригувати плани закупівель залежно від фактичного попиту.

Споживання запасних частин у першу чергу визначається специфікою умов їх використання. В межах цієї сфери можна виокремити декілька категорій впливових чинників: організаційно-технічна структура обслуговування та ремонту, склад і конфігурація наявної техніки, рівень виробничої інфраструктури, кваліфікація персоналу та експлуатаційні умови [1, 2]. Ключові фактори з кожної групи представлені на схемі (рис. 1.1) [3].

Першим кроком до удосконалення є детальний аналіз номенклатури запчастин, що використовуються в сервісній практиці. Необхідно класифікувати деталі за ступенем критичності, частотою замовлень та вартістю. Клас «А» має включати найбільш затребувані та дорогі компоненти, від яких залежить працездатність основних агрегатів.

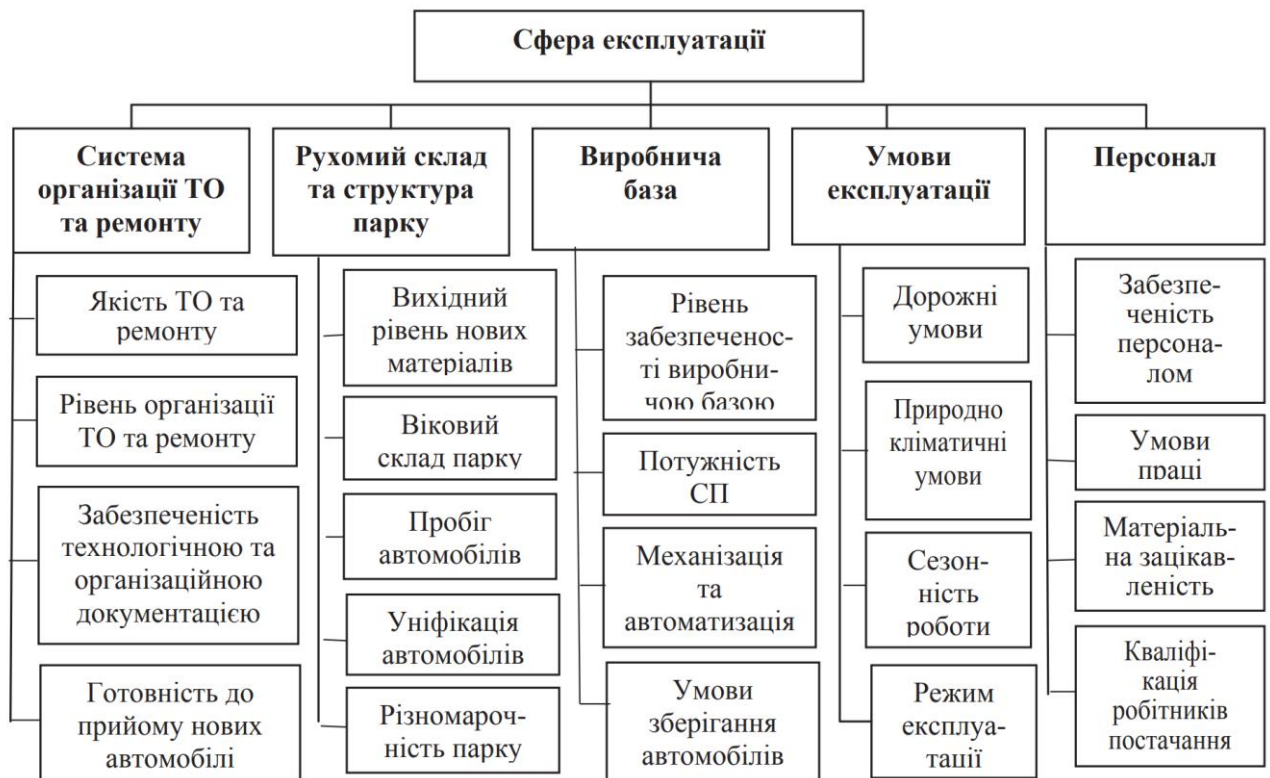


Рис. 2.1. Фактори, які визначають попит запасних частин.

Клас «В» охоплює середні за значущістю запчастини, а клас «С» — рідкозатребувані дрібні деталі. При такому розподілі підприємство може застосовувати різні стратегії для кожної групи: мінімальний страховий запас для «А», планове замовлення «В» за фіксованим графіком та замовлення «С» за потребою. Такий підхід зменшує загальну вартість логістики та зберігання. Згідно з даними дослідження, упровадження ABC-аналізу знижує обсяг запасів на 10–12 % без погіршення надійності обслуговування. Це дозволяє краще розподіляти фінансові ресурси на закупівлю критичних компонентів [17].

Однією з ключових проблем залишається нестабільність поставок через змінну кон'юнктуру ринку та перебої у роботі постачальників. Ризик прострочок замовлень можна мінімізувати завдяки диверсифікації постачальницького портфеля. Доцільно встановлювати партнерські відносини не лише з офіційними дилерами, але й із перевіреними дистриб'юторами запасних частин. Паралельне укладання договорів із кількома постачальниками знижує залежність від одного каналу і забезпечує гнучкість при термінових замовленнях. Крім того, варто ввести механізми штрафних санкцій за

несвоєчасну поставку та бонуси за дострокове виконання договорів. Такий підхід стимулює контрагентів до своєчасного постачання. Досвід вітчизняних сервісних підприємств показує, що впровадження системи KPI для постачальників підвищує рівень виконання замовлень на 25–30 %. Таким чином, формування збалансованого портфеля постачальників сприяє стабільності операційного процесу [3].

Оптимізація процесів замовлення запчастин повинна базуватися на використанні сучасних інформаційних технологій. Впровадження ERP-системи дозволяє автоматизувати створення замовлень за заданими правилами: по досягненні мінімального запасу, за прогнозованим попитом чи у відповідь на запити ремонтного відділу. Інтеграція ERP із CRM дає змогу відстежувати історію звернень клієнтів і прогнозувати потреби в запасних частинах навіть до появи фактичного замовлення. Завдяки цьому можна уникнути ситуацій, коли ремонт блокується через відсутність необхідної деталі. Крім того, автоматизація знижує ризик людської помилки при введенні даних та обрахунку норм запасу. Згідно з аналізом можливостей систем, автори дослідження рекомендують вибирати рішення зі зрозумілими інтерфейсами та підтримкою мобільного доступу. Це забезпечує швидке навчання персоналу та оперативний доступ до інформації в польових умовах. У результаті загальний час обробки замовлення зменшується вдвічі.

Запровадження електронного каталогу запчастин із фотографіями, технічними характеристиками та суміжними аналогами сприяє прискоренню процесу пошуку та замовлення необхідних компонентів. Працівники сервісу отримують можливість самостійно ідентифікувати потрібну деталь без залучення додаткових фахівців. Це особливо актуально для складних вузлів, де маркування часто недостатньо інформативне. Каталог повинен містити дані про допустимі заміники, що дозволяє оперативно пропонувати клієнту альтернативні варіанти за умови відсутності оригіналу. Додатковою перевагою є зниження часу на узгодження заміни та економія коштів. У комплексі з автоматизованими замовленнями електронний каталог допомагає уникнути

простоїв техніки. За даними опитувань сервісних компаній, застосування таких інструментів скорочує середній час підготовки замовлення до 15 хвилин. Таким чином, створення та підтримка актуального електронного каталогу є одним із пріоритетних завдань [12].

Важливим напрямом удосконалення є застосування методів прогнозування потреб на основі історичних даних обслуговування та ремонтів. З використанням алгоритмів часового ряду можна виявити сезонні коливання попиту на певні групи запчастин. Наприклад, для техніки, що працює в умовах холодного клімату, спостерігається підвищений попит на компоненти паливної системи взимку. Прогнозування на основі машинного навчання дозволяє будувати точні моделі потреб із похибкою не більше ніж 5 %. Це дає змогу формувати замовлення заздалегідь і скорочувати терміни доставки. У перспективі доцільно інтегрувати прогностичні модулі в ERP-систему для автоматичного коригування мінімальних залишків. Автори дослідження підкреслюють, що такі підходи особливо ефективні для великих сервісних центрів із широким номенклатурним набором. Результатом стає зменшення надлишкових запасів на 12–15 % та підвищення рівня готовності обладнання.

Паралельно з прогнозуванням слід звернути увагу на вдосконалення системи зберігання запасних частин. Організація складу за принципом FIFO (first in – first out) запобігає псуванню та застаріванню деталей, строк служби яких обмежений. Для холодостійких компонентів варто передбачити окремі клімат-контрольовані зони. Використання візуальних знаків і маркерів дозволяє швидко знаходити потрібну позначку в умовах обмеженого простору. Крім того, система штрих- або QR-кодування спрощує проведення інвентаризації та оперативний контроль залишків. Рекомендовано впровадити мобільні сканери для прискорення процесу обліку. Практика показує, що цифровізація складу знижує час пошуку деталей на 30–40 %. Це не тільки економить робочі години, а й підвищує точність обліку запасів.

Наступним напрямом є стандартизація запасів відповідно до технічних регламентів та рекомендацій виробників техніки. Використання оригінальних

запчастин забезпечує високу надійність та довготривалість ремонту. Проте задля оптимізації витрат доцільно розглядати сертифіковані аналоги з перевіреним рівнем якості. Визначення набору допустимих замінників повинно відбуватися на основі технічних випробувань та досвіду експлуатації. Варто створити реєстр сертифікованих постачальників і регулярно оновлювати його дані. Це дозволяє оперативно реагувати на зміну лінійок оригінальних виробників та нові рекомендації. Інтеграція реєстру в електронний каталог гарантує, що до процесу замовлення залучаються лише перевірені альтернативи. У результаті зростає довіра замовників до якості послуг.

Особливу увагу слід приділити управлінню терміновими та аварійними замовленнями. Для таких випадків варто сформувати окремий аварійний запас найпоширеніших та критичних запчастин. Цей фонд має бути доступним 24/7 та розташованим у центральному складі або ключових філіях. Процедури використання аварійного запасу мають бути чітко прописані в регламентах підприємства. Після використання деталей повинна бути замовлена в найближчі терміни, щоб фонд залишався поповненим. Для контролю за рухом аварійного запасу слід застосувати окремі картки обліку або цифрові субрахунки. Використання КРІ по ліміту аварійних видатков сприяє дотриманню регламенту поповнення. За даними дослідження, такий підхід скорочує час реагування на аварію вдвічі [7].

Організація навчання персоналу сервісних підприємств щодо нових процедур забезпечення запасними частинами є невід'ємною складовою вдосконалення процесу. Працівники повинні розуміти принципи роботи ERP-системи, алгоритми прогнозування та порядок обліку. Регулярні тренінги та онлайн-курси допомагають підтримувати рівень компетенції на сучасному рівні. Також важливо розробити посібники та чек-листи з ключових операцій: створення замовлення, інвентаризація, оформлення повернень. Залучення досвідчених наставників сприяє швидкій адаптації новачків. Крім технічних знань, необхідно розвивати навички комунікації з постачальниками та клієнтами. За результатами опитувань, компанії, які інвестують у навчання,

мають на 20 % менше логістичних помилок. Це безпосередньо впливає на рівень задоволеності замовників.

Важливим елементом є встановлення чіткої системи показників ефективності (KPI) для всіх етапів забезпечення запасними частинами. До стандартного набору входять показники: рівень покриття замовлень, середній час виконання, обсяг надлишкових запасів та частота дефіцитів. KPI слугують основою для моніторингу та вчасної корекції процесів. Регулярний аналіз допомагає виявляти «вузькі місця» та оперативно вживати заходів. Доцільно використовувати дашборди в ERP-системі для візуалізації ключових метрик. Завдяки цьому керівництво отримує оперативну інформацію про стан запасів і може приймати стратегічні рішення на основі достовірних даних. Виконання KPI за рік допомагає підвищити продуктивність до 15 %.

Для зменшення витрат на зберігання також варто розглянути впровадження систем консигнаційних складів (vendor-managed inventory). У рамках цих схем постачальник зберігає запаси у складі сервісного підприємства, але володіння ними переходить за фактом використання. Це знижує потребу в оборотному капіталі та ризики надлишків. Водночас постачальник зацікавлений у підтримці оптимальних залишків та своєчасних доставках. Договірні умови мають включати мінімальні обсяги зберігання, правила звітності та штрафи за невиконання зобов'язань. Перевага таких схем — зменшення адміністративного навантаження на внутрішню логістику. Досвід великих гравців ринку свідчить про економію до 18 % на витратах зберігання.

Удосконалення логістичних процесів включає оптимізацію маршрутів доставки та обробки вантажів. Використання систем TMS (transport management system) дозволяє планувати маршрути з урахуванням терміновості та вартості перевезень. Інтеграція TMS з ERP-модулем забезпечує автоматичний обмін даними про наявність та потреби. Система має підтримувати різні режими доставки: звичайну, експрес та частково-змішану. Для великих мереж сервісних центрів доцільно організувати власний флот або співпрацювати з кількома перевізниками. Використання GPS-моніторингу дозволяє контролювати

виконання маршрутів у реальному часі. Це знижує ризики втрат і прострочок замовлень [11].

Особливу увагу слід приділити обліку повернених до постачальника запчастин (reverse logistics). Після невикористання або дефекту деталі необхідно оперативно оформити її повернення та взаємний розрахунок. Для цього потрібні чіткі інструкції та прозорі процедури з фотографуванням та описом дефектів. ERP-система має підтримувати функціонал реєстрації причин повернення та відстеження статусу рекламції. При поверненні оригінальної деталі необхідно контролювати терміни її заміни або ремонту. Ефективна обробка рекламцій підвищує довіру постачальників та сприяє прискоренню обміну. Компанії з налагодженим процесом reverse logistics зменшують втрати від дефектних поставок на 25 %.

Важливо також враховувати особливості укладання договорів із постачальниками запасних частин. Договори мають містити чіткі умови щодо термінів постачання, якості продукції та механізмів взаєморозрахунків. Необхідно передбачити можливість оперативного перерахунку замовлень та зміни обсягів у разі коригування планів ремонту. Також доцільно включати положення про форс-мажорні обставини та способи їх підтвердження. Чітко прописані SLA (service level agreement) зі штрафними санкціями та бонусами мотивують постачальника дотримуватися зобов'язань. Регулярний перегляд та актуалізація договорів забезпечують відповідність динаміці ринку. Досвід провідних сервісних компаній свідчить про зниження ризиків порушення договорів на 30 %.

Стратегічне планування закупівель має базуватися на довгострокових прогнозах розвитку парку обслуговуваної техніки. Важливо враховувати заплановані оновлення машинного парку, сезонні коливання робіт та макроекономічні чинники. На підставі таких прогнозів можна формувати річні та квартальні плани закупівель із відповідним бюджетом. Це дозволяє рівномірно розподілити грошові потоки і уникнути раптових пік-замовлень. Крім того, наявність довгострокових контрактів із фіксованими цінами захищає

від цінових коливань на ринку запчастин. Координація з фінансовим відділом гарантує відповідність планів закупівель загальному бюджету підприємства. В результаті зменшується кількість «екстремальних» закупівель у кінці періоду.

Важливою складовою є впровадження політик контролю якості при прийомі запчастин на склад. Кожна партія має проходити вхідний контроль за кількістю, маркуванням та відповідністю сертифікатам. Для цього слід розробити журнали перевірок із чіткими критеріями приймання. У разі виявлення невідповідностей варто оперативно оформити претензію та ізолювати партію до з'ясування обставин. Автоматизація процесу через ERP дозволяє фіксувати результати контролю та створювати звіти для керівництва. Це знижує ризик потрапляння неякісних деталей в обіг та гарантує дотримання нормативів виробників техніки. Впровадження таких заходів скорочує кількість рекламаций з боку ремонтних підрозділів на 40 %.

Одним із перспективних напрямів є використання штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації запасів. Алгоритми аналізують великі обсяги даних про ремонти, поставки та експлуатацію техніки. На основі цих даних вони генерують рекомендації щодо оптимальних рівнів страхового запасу. Система може автоматично формувати та розсилати замовлення постачальникам, враховуючи термін доставки та пріоритетність. Завдяки такій автоматизації знижується рівень надлишкових запасів на 20–25 %. Додатково AI-модулі виявляють аномалії в показниках, що допомагає запобігти крадіжкам та помилкам обліку. Впровадження подібних систем сприяє переходу від реактивного до проактивного управління запасами.

Не менш важливим є розвиток партнерської екосистеми із суміжними підприємствами та сервісними центрами. Обмін інформацією про залишки, потреби та прогнозовані ремонти дозволяє створити спільні запаси для декількох організацій. Це особливо ефективно для невеликих філій, де окреме формування складу є економічно не вигідним. Створення регіональних центрів комплектування запчастинами підвищує мобільність та знижує затрати на логістику. Така модель потребує прозорих умов співпраці, розподілу витрат та

відповідальності. Використання єдиної інформаційної платформи забезпечує синхронізацію даних у реальному часі. У підсумку зростає загальна ефективність обслуговування та оптимізується використання ресурсів.

□ Особливу увагу слід приділити питанням безпеки та захисту запасів від крадіжок. Складські приміщення мають бути обладнані системами відеоспостереження та контролю доступу. Впровадження електронних ключів та дозволів обмежує коло осіб, які можуть отримати доступ до критичних запчастин. Також корисно застосовувати RFID-мітки для автоматичного обліку переміщень деталей. Система раннього попередження про спробу несанкціонованого вносу зменшує втрати на 15–20 %. Регулярні аудити безпеки та навчання персоналу підсилюють дисципліну та відповідальність. Усі ці заходи разом сприяють захисту матеріальних цінностей підприємства.

Для підвищення оперативності обробки замовлень варто запровадити принципи lean-логістики. Основні інструменти lean, такі як Kanban-дошки, допомагають візуалізувати потоки запчастин та уникати надлишків. Сигнальні картки надходять у відділ закупівель одразу після використання деталі, що запускає процес поповнення. Також варто скоротити час очікування за рахунок стандартизації процесів і усунення нецінних операцій. Lean-підхід сприяє постійному вдосконаленню та підвищенню гнучкості системи. При цьому ключовою умовою успіху є залучення всіх рівнів персоналу до ініціатив з оптимізації. Компанії, які впроваджують lean-логістику, повідомляють про скорочення часу обробки замовлення до 50 % [3].

В умовах воєнного стану та нестабільності постачання запчастин доцільно запровадити додаткові механізми диверсифікації маршрутів та постачальників. Необхідно мати альтернативні перевізні шляхи, включаючи залізничний та авіаційний транспорт. Крім того, слід розвивати внутрішнє виробництво критичних дрібних деталей на базі 3D-друку. Це забезпечує оперативне виготовлення необхідних компонентів за нестандартними замовленнями. Співпраця з локальними виробниками підвищує національну безпеку та знижує залежність від імпорту. Вказані підходи дають змогу швидко

адаптуватися до змін у логістичних коридорах. Реалізація таких заходів значно підвищує стійкість сервісних підприємств у складних умовах.

Удосконалення процесу взаємодії з клієнтами допомагає точніше прогнозувати потреби в запасних частинах. Впровадження порталів самообслуговування та мобільних додатків дає змогу замовникам самостійно відстежувати статус звернень та наявність деталей. Клієнт отримує автоматичні сповіщення про терміни постачання та можливі альтернативи. Зворотний зв'язок у режимі реального часу допомагає коригувати плани ремонту та уникнути зайвих витрат. Крім того, інтеграція з платіжними системами пришвидшує фінансові розрахунки. Такі сервіси підвищують рівень лояльності та повторних замовлень. У свою чергу це дає сервісному підприємству точніші дані для планування запасів.

Важливим кроком є регулярний аудит процесів забезпечення запасами та їх незалежна перевірка. Експертна оцінка дозволяє виявити невидимі дисбаланси та недоліки в регламентах. Аудитори перевіряють відповідність діючих процедур кращим світовим практикам та внутрішнім стандартам. За підсумками аудиту складається план коригувальних дій із термінами та відповідальними. Системний підхід до аудиту сприяє постійному вдосконаленню та запобігає накопиченню помилок. Регулярність перевірок рекомендується щонайменше раз на пів року. Це гарантує, що процеси залишаються актуальними та ефективними.

Для підвищення прозорості варто впровадити систему електронного документообігу. Всі документи з обліку запасів, замовлень та рекламацій зберігаються в єдиній базі. Це запобігає втраті або пошкодженню паперових носіїв. Користувачі отримують доступ до історії операцій за кілька кліків. Автоматичні нагадування про терміни інвентаризацій та перевірок забезпечують своєчасне виконання процедур. Аналітичні звіти формуються в кілька хвилин на основі актуальних даних. Електронний документообіг значно скорочує адміністративні витрати.

Одним із перспективних рішень є використання блокчейн-технологій для фіксації ланцюга постачання. Кожний крок від замовлення до отримання запчастини заноситься в розподілену книгу. Це гарантує незмінність та прозорість інформації. У разі спірних ситуацій легко відслідкувати причину та місце затримки. Блокчейн також дозволяє інтегрувати різних учасників екосистеми виробників, постачальників, логістів в єдину мережу. Незважаючи на високі початкові витрати, технологія забезпечує довгострокові вигоди у вигляді довіри і безпеки даних. Впровадження таких рішень є актуальним для великих регіональних мереж сервісних центрів [3].

Для забезпечення сталого розвитку необхідно постійно інвестувати в модернізацію складських і логістичних майданчиків. Це включає автоматизовані склади з роботизованими стелажми та конвеєрними системами. Впровадження IoT-пристроїв дозволяє в режимі реального часу відстежувати умови зберігання та розташування деталей. Стан обладнання моніториться дистанційно, що мінімізує ризики аварій та простоїв. Інвестуючи в інфраструктуру сьогодні, підприємство забезпечує високу продуктивність у майбутньому. Стратегічний підхід до модернізації складає основу конкурентоспроможності на ринку сервісних послуг.

Підсумовуючи, удосконалення забезпечення запасними частинами сервісних підприємств вимагає комплексного підходу. Необхідно поєднувати класичні методи обліку та планування з новітніми цифровими рішеннями. Автоматизація, прогнозування, оптимізація складу, стандартизація та навчання персоналу — ключові елементи успіху. В умовах воєнних викликів доцільно запроваджувати резервні схеми та локальні виробничі майданчики. Розвиток партнерських мереж, lean-логістика та KPI-орієнтований менеджмент забезпечують високу гнучкість. Постійний аудит і модернізація інфраструктури гарантують готовність до змін. Цей підхід забезпечить стабільність обслуговування, скорочення витрат та зростання лояльності клієнтів [7].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ТА НЕОБХІДНОГО ПРИСТОСУВАННЯ

Розрахунок технологічного процесу відновлення шатунів представлено в додатку А та листі 1 графічної частини.

3.1. Проектування установки для металізації шатунів

3.1.1. Опис прототипу обладнання для відновлення шатунів методом електродугової металізації

Оцінкою прототипу слугувала установка для металізації, описана в авторському свідоцтві колишнього СРСР № 817090 від 30 березня 1981 року. Дане технічне рішення належить до пристроїв, призначених для нанесення покриттів електродуговим методом, насамперед у сфері відновлення шатунів двигунів внутрішнього згоряння. Основним завданням модернізованої установки є розширення технологічних можливостей шляхом забезпечення як безперервного, так і дискретного зворотно-поступального руху супорта з металізатором із регульованим кроком подачі.

Конструкція установки побудована на жорсткій станині, до якої кріпиться робоча камера. Уздовж неї переміщається траверса, яка здійснює горизонтальні коливання, а на напрямних змонтований супорт із металізатором. Кінематичний зв'язок між приводом і траверсою реалізовано через електродвигун із системою шестерень та шарнірно-плечовим механізмом. Супорт, що вільно ковзає по осях-напрямних, закріплений в підшипникових опорах і оснащений упорними елементами зі спіральними поверхнями. Між цими упорами розташовано втулку з торцевими шестереневими кулачками, довжина якої відповідає відстані між упорами супорта.

Втулка передає рух від приводу траверси завдяки системі важелів, тяг і пружин, що забезпечують точність позиціонування і плавність подачі

металізатора. Оброблювані деталі фіксуються в спеціальній обоймі, яка надійно закріплена на траверсі, гарантує правильне центрування шатунів і стабільність процесу нанесення покриття.

Робота запропонованої металізувальної установки здійснюється в такій послідовності. На початковій стадії траверса разом із обоймою опускається в нижнє положення, а металізатор відводиться в крайнє праве. Піджививши живленням металізатор і вмикнувши обидва електродвигуни (приводні механізми 7 і 24), отримуємо комбінований поступально-коливальний рух траверси з закріпленими деталями. Натомість гайка 22 разом із втулкою 18 починають зміщуватися вліво з швидкістю, що регулюється обертами двигуна 24. Якщо важіль 25 за допомогою упору 26 зафіксувати у верхній крайній позиції, втулка 18 увійде в одночасний двосторонній контакт із супортом 5, і металізатор, жорстко зв'язаний із гайкою 22, відтворюватиме складену траєкторію руху, що забезпечує зигзагоподібне напилення. Для формування багат шарового покриття допускається робота металізатора під час зворотного ходу супорта; у цьому режимі ступінчастий характер зворотного переміщення гарантується правим гвинтовим кулачком 20 втулки 18.

Застосування даної установки забезпечує високу продуктивність механізованого напилення робочих поверхонь шатунів під час ремонту двигунів замість трудомісткого гальванічного озалізнєння, що значно скорочує час операції, споживання енергетичних ресурсів та необхідні виробничі площі. Завдяки можливості регулювання кроку подачі та вибору різних траєкторій руху розпилювач стає універсальним і підходить для обробки деталей різних габаритів із рознімними з'єднаннями як під час ремонтних, так і виготовлювальних робіт.

Металізаційна установка, що включає жорстку станину, пристрій для фіксації й переміщення виробів, а також супорт із металізатором, змонтований на напрямних і обладнаний ходовим гвинтом із гайкою для його руху, вирізняється наявністю на механізмі подачі супорта поворотної втулки з торцевими гвинтовими кулачками та гвинтовими упорами. Ця втулка жорстко

поєднана з гайкою ходового гвинта та через систему важелів інтегрована з приводом переміщення виробів, що розширює технологічні можливості обладнання.

3.1.2. Обґрунтування функціонально-технологічної схеми установки для металізації

Запропонований мною агрегат для електродугової металізації належить до обладнання ремонтних цехів і призначений для нанесення покриттів на внутрішні поверхні складових частин, зокрема підшипників та шатунів двигунів внутрішнього згоряння. Існуючий металізувальний станок, що включає рольганг і візок із металізатором, орієнтований на обробку труб значного діаметра, куди вміщується кронштейн із розпилювачем. Однак його конструкція непридатна для деталей малого та середнього розміру.

Найближчим аналогом за принципом дії є установка, обладнана рамою, обертовим столом для закріплення виробів і металізатором, проте вона не підтримує партійне завантаження деталей, що веде до марнотратного витрачання покриткового матеріалу та низької продуктивності процесу.

Основною метою вдосконалення є підвищення продуктивності напилення та зменшення втрат металевого наповнювача, а також розширення діапазону оброблюваних типорозмірів деталей завдяки реалізації функціонально-технологічної схеми, яка поєднує можливість групової фіксації виробів із синхронним рухом супорта й металізатора.

Досягнення поставленої мети забезпечується тим, що в конструкції металізаційної установки, яка включає раму, обертовий стіл із приводом і металізатор, стіл додатково оснащено вертикальними бічними упорами для деталей та механізмом їхнього вертикального переміщення за схемою «гвинт–гайка», кінематично пов'язаним із приводом обертання столу (див. рис. 3.1).

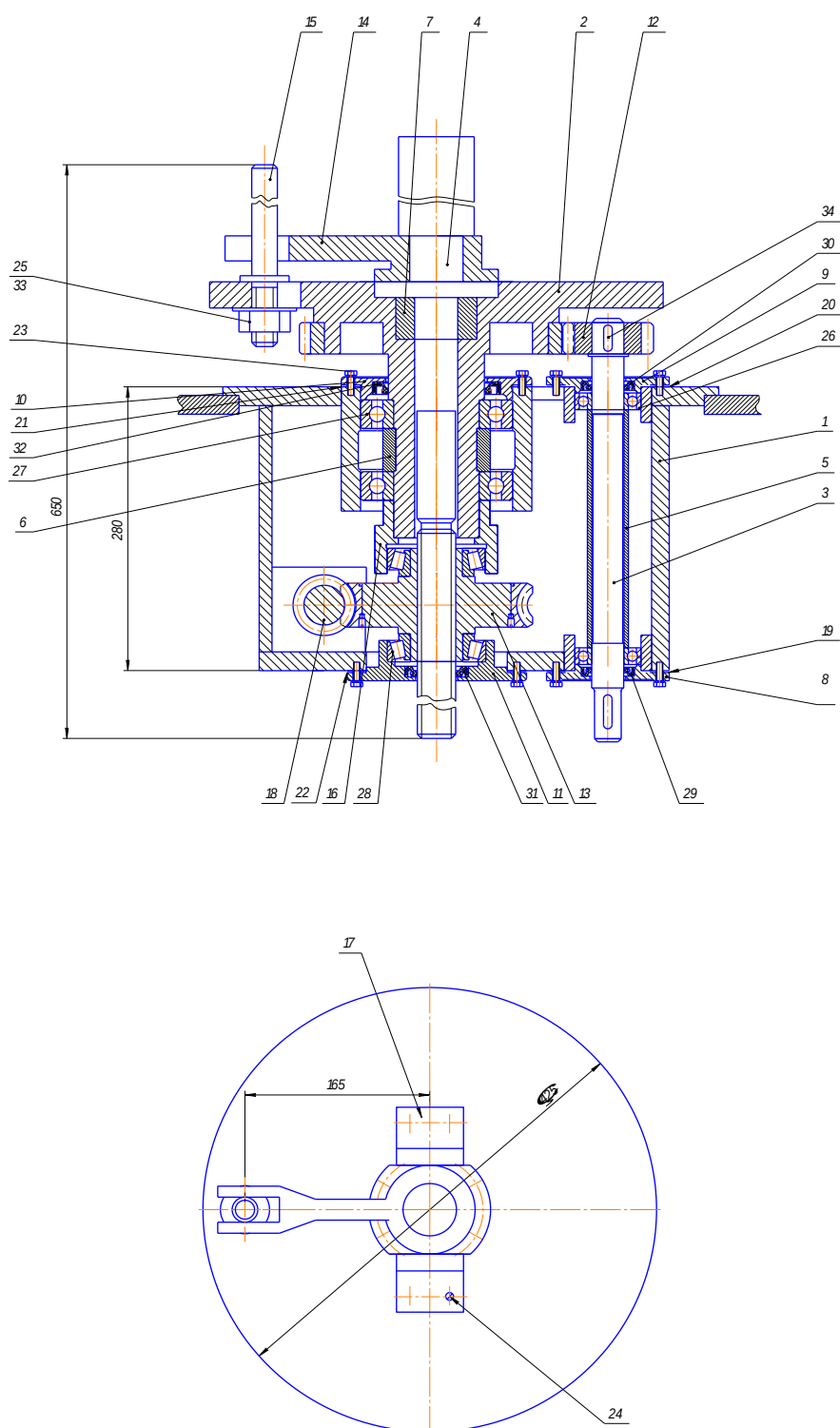


Рис. 3.1. Розроблена установка для металізації шатунів.

На рисунку 3.1 показано конструкцію установки для металізації. На обертовому горизонтальному столі 2, закріпленому на нерухомій рамі 1, розміщені два вертикальні бічні упори 3 для фіксації деталей 4 та спрямовуюча стійка 5. Між упорами встановлено підйомний механізм 6, жорстко з'єднаний з гвинтом 7 і спряжений зі стійкою 5. Підйомник рухається уздовж вертикальної

осі столу через гайку 8, розташовану в корпусі 9. Упори мають пази в основі, що дає змогу змінювати відстань між ними для налаштування під розмір оброблюваних виробів.

Гайка 8 виконана у вигляді черв'ячного колеса з гвинтовою нарізкою всередині посадкового отвору і взаємодіє з черв'яком 10, який приводиться в обертання регульованим електроприводом через пасову передачу. Обертання поворотного столу 2 забезпечується зубчастим вінцем 11, зв'язаним із електродвигуном через пасову передачу та шестерню 12 на валу 13.

На кронштейні 14 жорстко закріплено похило розташований металізатор 15. При обертанні столу 2 через спряження стійки 5 та підйомного механізму 6 обертальний рух передається гвинту 7. У разі фіксованої гайки 8 кожен повний оберт гвинта 7 разом із закріпленим на ньому підйомним вузлом 6 переміщує деталі вздовж осі на величину кроку гвинтової нарізки. Регулювання швидкості та напрямку обертання черв'яка 10 дозволяє плавно змінювати висоту підйому виробів.

Процес металізації шатунів відбувається так. При зупиненому столі 2 шатуни 4 із прокладками 16 ставлять стопою прокладками вгору на підйомник 6, опускаючи його шляхом запуску приводу черв'яка 10. Після встановлення заданого рівня одночасно вмикають металізатор 15 і обертання столу 2. Напилені шатуни виходять із міжстійкового простору та бокових упорів 3 і падають стопою на стіл. Для металізації підшипників бокові упори 3 виконані у формі призм.

Застосування цієї установки дає змогу виконувати напилення підшипників або шатунів групами, що сприяє зниженню зносу матеріалу покриття та підвищенню продуктивності процесу порівняно з аналогічними рішеннями.

3.1.3. Перевірка міцності шпонкового з'єднання

Контроль міцності шпонкових з'єднань проводитимемо для вала 3 (СК) на прикладі двох вузлів: з'єднання шківів з валом та з'єднання вала з зубчастим

вінцем. Оскільки крутний момент від двигуна через клинопасову передачу передається лише одному шпонковому з'єднанню, достатньо виконати розрахунок для нього. Перевірка здійснюється за критерієм напружень зминання, які обчислюються за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2T}{d_g(h-t_1)(l-b)} \leq [\sigma_{зм}] = 100 \text{ МПа}, \quad (3.1)$$

де T – крутний момент, що передається від приводного вала двигуна на вал установки, $T = 58 \times 10^3 \text{ Н} \times \text{мм}$;

d_b – діаметр вала в перерізі, який перевіряємо, $d_b = 25 \text{ мм}$;

$b \times h \times l$ – габарити шпонки задаються її шириною, висотою та довжиною.,
 $b \times h \times l = 8 \times 7 \times 28 \text{ мм}$;

t_1 – глибина паза на валу, $t_1 = 4,0 \text{ мм}$.

Після підстановки відповідних величин у формулу отримаємо наступне:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \times 58 \times 10^3}{25(7-4)(28-8)} = 77 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 100 \text{ МПа}$$

Оскільки критерій міцності виконано, це шпонкове з'єднання здатне витримати задані навантаження.

3.2. Проектування пристосування для фрезерування кришок шатунів

3.2.1. Огляд літератури з питань проектування верстатних пристроїв

Для підвищення точності виготовлення деталей, полегшення складання машин і вдосконалення технічного контролю особливе значення мають високопродуктивні верстатні пристрої — складові технологічного оснащення, що призначені для фіксації заготовок та інструментів на металорізальних верстатах. Використання таких пристроїв дозволяє знизити трудовитрати й собівартість виготовлення, розширити технічні можливості обладнання, поліпшити умови праці та підвищити рівень безпеки.

У зв'язку з великою різноманітністю конструкцій верстатних пристроїв їх класифікація здійснюється за низкою ознак. Зокрема, за призначенням їх поділяють на п'ять основних груп:

1. Пристрої для фіксації заготовок. Залежно від виду обробки їх поділяють на пристосування для токарних, свердлильних, фрезерних, шліфувальних та інших верстатів.

2. Пристрої для закріплення та установлення різального інструмента — патрони для свердел, розверток, мітчиків; багатошпиндельні головки для свердлильних, фрезерувальних і револьверних операцій; інструментальні блоки тощо.

3. Складані пристосування, які застосовують для з'єднання деталей виробу, фіксації базових елементів, забезпечення точної орієнтації з'єднуваних частин, а також для монтажу пружних елементів (пружин, розрізних кілець) та інших вузлів.

4. Контрольні пристрої призначені для вимірювання відхилень у розмірах, формі та взаємному розташуванні поверхонь, а також для перевірки інших технологічних параметрів виробів. Пристрої ж для захоплення, переміщення і повороту заготовок в автоматизованих лініях виступають робочими органами промислових роботів. Залежно від організації виробництва всі вищевказані типи пристроїв можуть виконуватися у ручному, механічному, напівавтоматичному або автоматичному виконанні, а за рівнем спеціалізації — як універсальні, спеціалізовані чи суто спеціальні.

Відповідно до Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЕСТПП) в машинобудуванні та приладобудуванні виділено шість уніфікованих систем верстатного оснащення. До універсально-безналагоджувальних пристроїв (УБП) належать елементи, що не потребують переналагодження для різних заготовок: центри, поводкові захвати, затискачі, патрони, оправки, магнітні й електромагнітні плити. Натомість універсально-налагоджувальні пристрої (УНП) складаються з базового модуля (наприклад, машинні лещата, самоцентруючі патрони, планшайби з змінними елементами)

та змінних налаштувальних елементів. Переналадження УНП під виробі різних розмірів здійснюється шляхом заміни установочних і затискних деталей у базовому агрегаті. УНП знайшли широке застосування в умовах малосерійного та середньосерійного виробництва (наприклад, на рисунку 3.2 подано схему УНП на основі машинних лещат із пневматичним приводом, де заготовку установлюють на губки лещат, а попереднє налаштування виконується гвинтом 1).

Спеціалізовані налагоджувальні пристрої (СНП) мають ту ж конструктивну схему, що й УНП, але їхній базовий модуль виконаний не універсальним, а призначеним для вузькоспеціалізованих операцій. СНП широко використовуються в умовах серійного виробництва для фіксації заготовок різних розмірів у межах певного діапазону, що мають схожу форму та однакові базувальні схеми.

Універсально-складальні пристрої (УСП) створюються на стандартизованих плитах різних розмірів, у яких передбачені взаємно перпендикулярні Т-подібні пази. Високоточні елементи та вузли фіксуються за допомогою шпонок, що входять у відповідні пази. Завдяки можливості швидкого складання без додаткового підганяння, УСП значно скорочують час виготовлення пристосувань для різних технологічних операцій.

Пристрої для складання та розбирання (СРП) представляють собою підклас універсально-складальних систем. Формування технологічного оснащення з їх участю передбачає проєктування і виготовлення змінних спеціальних упорів та наладок, які збираються з уніфікованих вузлів і деталей. Такі рішення широко використовуються на серійному виробництві в різних типах верстатів.

Нероз'ємні спеціалізовані пристрої (НСП) створюються для оснащення конкретних операцій у технологічному процесі. Вони забезпечують точне встановлення і фіксацію заготовок однакової форми та базування за єдиною схемою. НСП застосовують при обробці штучних заготовок у серійному

виробництві за паралельними, послідовними або комбінованими схемами обробки.

До складу таких пристроїв входять наступні основні вузли:

- Встановлювальні елементи, які забезпечують точне розташування заготовки відносно корпусу пристрою й орієнтацію оброблюваної поверхні стосовно різального інструмента;
- Затискні механізми, що фіксують деталь у заданому положенні під час обробки;
- Напрямні, які спрямовують рух інструмента або заготовки відповідно до технологічного процесу;
- Ділильно-поворотні елементи, що дозволяють точно змінювати кутове положення оброблюваної поверхні відносно інструмента;
- Кріпильні пристрої, що з'єднують між собою окремі компоненти конструкції;
- Корпуси, на яких монтуються всі зазначені елементи та що забезпечують жорсткість і стійкість установки;
- Механізовані приводи, що автоматизують процес затискання заготовки й підвищують продуктивність роботи.

Установлення заготовок на верстатах чи в пристроях охоплює два етапи: базування та фіксацію. Для забезпечення високої точності обробки необхідно правильно спозиціонувати заготовку відносно елементів обладнання, що формують траєкторію руху інструмента чи деталі; при цьому опорні бази повинні міцно контактувати з встановленими точками опори, а сама заготовка залишатися абсолютно нерухомою під час обробки. Під час фіксації усі шість ступенів свободи заготовки мають бути нейтралізовані (виконання «правила шести точок»), а для підвищення жорсткості та стійкості до вібрацій застосовують додаткові регульовані та самовстановні опорні елементи.

Затискні механізми, як правило, складаються з трьох ключових вузлів: приводу, контактної частини та силового елемента. Привод, перетворюючи заданий вид енергії, створює зусилля Q , яке через силовий механізм

трансформується в затискну силу P і передається на заготовку через контактні деталі.

Для скорочення допоміжного часу доцільно застосовувати механізовані приводи різної природи — механічні, пневматичні, гідравлічні, електромеханічні, магнітні чи вакуумні. Механічні приводи з ручним керуванням малопродуктивні через тривалі операції монтажу й демонтажу заготовок. Пневматичні системи реалізують переважно на основі циліндрів односторонньої або двосторонньої дії та пневмокамер. Останні, порівняно з циліндрами, відрізняються більшою надійністю (до 600 000 включень проти 10 000 у циліндрів), компактністю та простою конструкцією, хоча їхній робочий хід і змінна величина зусилля дещо обмежують застосування.

Гідроприводи, діючи під тиском від 15 МПа і вище, забезпечують значні зусилля та плавне передавання тиску безпосередньо на силові механізми. Вони придатні для точних переміщень вузлів верстата й рухомих частин пристроїв і дозволяють використовувати циліндри невеликих діаметрів (від 20 мм), що сприяє компактності.

Електромеханічні приводи широко впроваджені на ЧПУ-верстатах, агрегатних автоматах та в автоматичних лініях: оберт електродвигуна через механічні передачі передається на контактні елементи затискного вузла. Магнітні та електромагнітні притискні пристрої виконують у вигляді плит і планшайб для фіксації сталевих та чавунних заготовок за допомогою постійних магнітів або котушок. Вони підвищують продуктивність за рахунок зменшення допоміжного і основного часу при масовій обробці. У вакуумних системах створюється розрідження під заготовкою — плоскою чи криволінійною, що служить базою – для її надійної фіксації, незалежно від матеріалу.

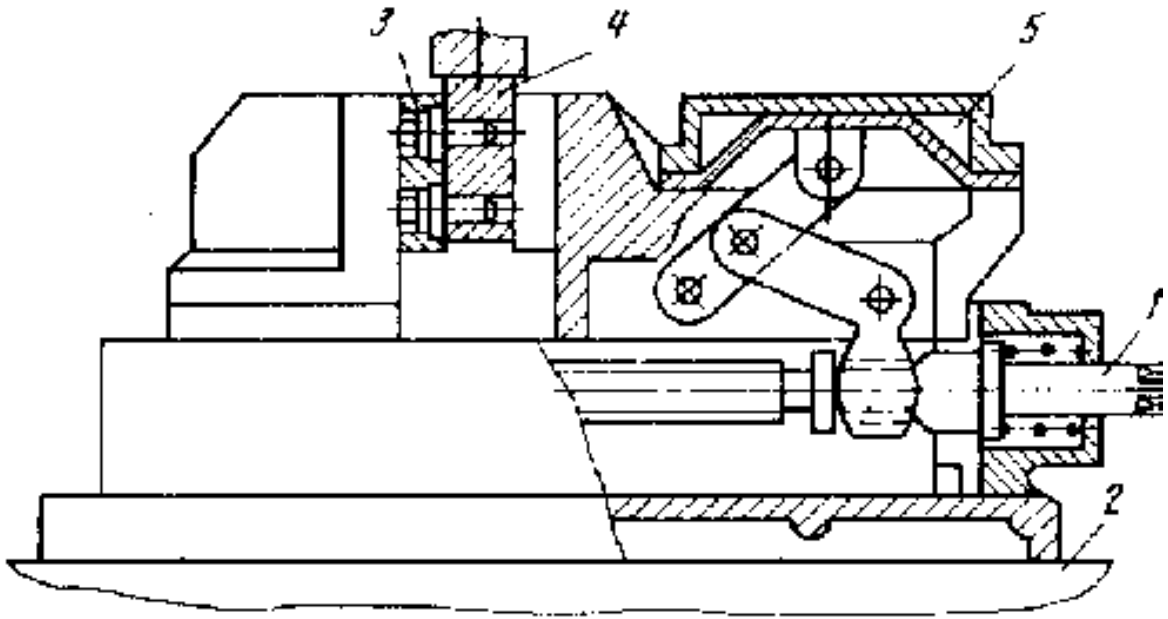


Рис. 3.2. УКП на основі лещат машинних.

На рисунку 3.2 наведено універсально-налагоджувальний пристрій на базі машинних лещат: 1 – гвинт; 2 – стіл; 3 – змінні губки; 4 – заготовка; 5 – пневмопривід.

Розрахунок затискних зусиль.

Зусилля, необхідні для фіксації заготовки, мають виключати її відрив від опорних елементів, запобігати зсувам або поворотам під дією сил різання та забезпечувати стабільність положення під час обробки. Величини сил різання та відповідних моментів визначаються згідно з формулами теорії різання або за довідковими даними. Зусилля затискання повинні перевищувати ці навантаження з врахуванням запасу міцності, який вводиться через коефіцієнт K – добуток поправочних множників, що відображають умови та режими обробки.

При розробці пристрою інженер розраховує необхідні затискні зусилля на основі аналізу взаємодії сил різання і затискання та відповідних моментів. Далі розглянемо типовий приклад такої взаємодії (рис. 3.3).

На рис. 3.3, а вектори затискної сили P і сили різання R віддзеркалюють однаковий напрямок та впливають на ту саму опору. У такій конфігурації P набуває мінімального значення й не повинна перевищувати величини R . На рис. 3.3, б сили спрямовані в протилежні боки, тоді:

$$P=KR, \quad (3.2)$$

Прийmemo, що K – коефіцієнт запасу, а R – сила різання. На рисунку 3.3, в напрямки сил взаємно перпендикулярні, причому дію R компенсують сили тертя: Rf_2 на опорах і Rf_1 в точці фіксації. У цьому випадку маємо:

$$Pf_1 + Pf_2 = KR, \quad (3.3)$$

Звідки:

$$P = KR (f_1 + f_2), \quad (3.4)$$

де f_1 і f_2 - коефіцієнти тертя.

Як показано на рис. 3.3, г, заготовівлю затиснуто в трьохкулачковому самоцентрувальному патроні, на яку діють крутний момент різання M та осьова компонента різальної сили R_x . У цьому випадку крутний момент намагається повернути заготовку навколо осі, а осьова сила R_x — зрушити її уздовж осі. Зусилля затиску P визначають за формулою:

$$P = KM / (3fr), \quad (3.5)$$

де K – коефіцієнт запасу;

M – момент сили різання, Н мм;

f – коефіцієнт тертя;

r – радіус заготовки, мм.

3.2.2. Конструкція пристрою та його тестування.

Для скорочення часу на установку й забезпечення більш високої точності обробки нами розроблено затискний механізм з пневматичним приводом, загальний вигляд якого подано на рис. 3.4. Пристрій монтується на фрезерний стіл за допомогою рами 1, а робочий рух забезпечує пневмоциліндр 8: його шток 9 переміщує важіль 10, який через коромисло 6 передає зусилля на штоки 2. За допомогою гаків 5 штоки притискують кришку шатуна, попередньо встановлену у фіксаторах 4.

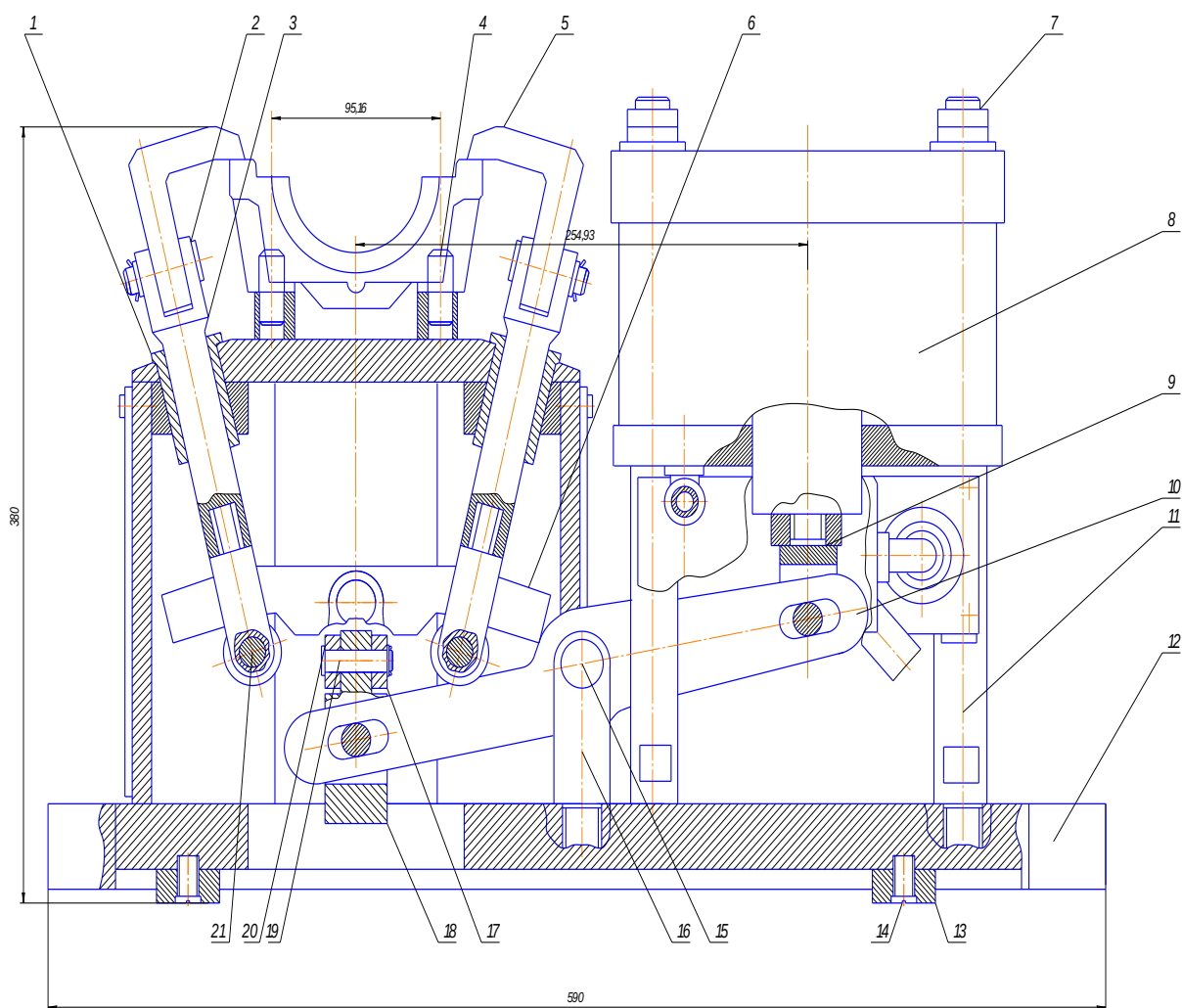


Рис. 3.3. Схема пристосування для ремонту кришок шатунів
 пристосування для ремонту кришок шатунів: 1 – рама; 2 – шток; 4 – фіксатор; 3 – втулка; 12 – плита; 5 – гак; 6 – важіль; 7 – гайка; 8 – пневмоциліндр; 9 – шток; 10 – важіль; 16 – кронштейн; 11 – шпилька; 13 – фіксатор; 14 – гвинт; 15 – палець; 17 – втулка; 21 – палець. 18 – кронштейн; 19 – палець; 20 – штифт;

Таким чином, у цьому розділі було спроектовано та проведено міцнісний аналіз обладнання для відновлення шатунів: зокрема, металізаційну установку та пристосування для фрезерування кришок шатунів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблена стратегія вибору постачальників запасних частин для вантажних автомобілів та тракторів базується на комплексному багатокритеріальному аналізі, що поєднує оцінку надійності, оперативності постачання, якості продукції та економічної доцільності. Це дозволяє знизити ризики простоїв техніки, оптимізувати фінансові витрати на обслуговування та підвищити рівень готовності машин до експлуатації.

В результаті економіко-математичної моделі визначено оптимальні обсяги мінімальних запасів і частоту замовлень, що сприяє одночасному зменшенню надлишкових залишків і мінімізації дефіциту комплектуючих. Виконані розрахунково-економічні оцінки показали можливість скорочення операційних витрат на 10–15 % та підвищення готовності техніки на 8–12 %.

Запропонований підхід до класифікації запасних частин за пріоритетністю та критичністю експлуатаційних вузлів дозволяє сфокусувати ресурси на найбільш вразливих елементах техніки з урахуванням специфіки умов роботи. Система регулярного моніторингу ринку й автоматизовані інструменти прогнозування попиту гарантують гнучку адаптацію стратегії до змін кон'юнктури та технічних вимог.

Ключовим практичним результатом роботи стало розроблення двох спеціалізованих пристосувань для відновлення працездатності критично важливих деталей двигунів: пристрою для фрезерування кришок шатунів та установки для електродугової металізації шатунів. Обидві конструкції пройшли випробування на міцність і продемонстрували високу точність, продуктивність і економічність у порівнянні з існуючими аналогами.

Пристрій для фрезерування кришок шатунів забезпечує швидке й точне центрування деталей на фрезерному верстаті, що значно скорочує допоміжний час і підвищує якість обробки. Металізаційна установка дозволяє виконувати групове напилення покриттів на внутрішні поверхні шатунів із регульованою

траєкторією руху супорта й металізатора, що знижує втрати матеріалу та підвищує продуктивність процесу.

Запропоновані технічні рішення легко інтегруються в існуючі ремонтні цехи та можуть бути адаптовані під різні типорозміри шатунів і підшипників, завдяки чому підвищується універсальність і гнучкість виробничих ліній.

Практична реалізація розробленої стратегії й пристроїв підтверджує їхню ефективність та готовність до впровадження на промислових підприємствах різного рівня – від невеликих сервісних майстерень до великих агрохолдингів і ремонтних баз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар О.І. Логістика запасів у машинобудуванні: монографія. Київ : КНЕУ, 2018. 256 с.
2. Гончаренко П.В. Управління матеріально-технічним забезпеченням сільськогосподарських підприємств: навч. посібник. Житомир : ЖАТК, 2020. 184 с.
3. Дорошенко В.М. Організація технічного обслуговування та ремонту тракторів: підручник. Львів : Вища школа, 2017. 312 с.
4. Єфімов В.П. Теорія машин і механізмів: навч. посібник. Харків : ХНУ, 2019. 448 с.
5. Жданов С.О. Стратегічне планування запасів у агропромисловому комплексі: дис. ... канд. екон. наук. Київ, 2021. 210 с.
6. Зубенко І.І. Підтримка експлуатаційної готовності транспортних засобів: монографія. Одеса : ОНАХТ, 2016. 224 с.
7. Іваненко Л.В. Методи обґрунтування економічного обсягу запасів: навч. посібник. Київ : НАУ, 2022. 150 с.
8. Ковальчук М.М. Запасні частини: класифікація та стандартизація: стаття // Технічний сервіс агропромислу. 2020. № 2. С. 34–41.
9. Клименко О.В. Інформаційні системи в управлінні запасами: навч. посібник. Київ : Ліра-К, 2019. 280 с.
10. Коцюбинський Ю.Р. Організація постачання сільгоспмашин: підручник. Дніпро : ДНУ, 2018. 368 с.
11. Лозова Н.П. Моделі прогнозування попиту на запасні частини: стаття // Економічний вісник Донбасу. 2021. № 4. С. 58–64.
12. Лучко І.К. Управління ланцюгами постачань у машинобудуванні: монографія. Київ : КМА, 2017. 302 с.
13. Мельник А.М. Управління виробничими запасами: проблеми та рішення: монографія. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 240 с.

14. Назарчук О.В. Організація запасів у стратегічному управлінні автопідприємствами: дис. ... д-ра екон. наук. Київ, 2022. 320 с.
15. Нечитайло В.П. Економіка агропромислового виробництва: підручник. Київ : Урожай, 2018. 432 с.
16. Олійник Т.Ю. Запасні частини у сервісному обслуговуванні: стаття // Вісник АПК України. 2019. № 6. С. 22–28.
17. Павленко С.Д. Запасування транспортних засобів: навч. посібник. Житомир : ЖАТК, 2021. 200 с.
18. Петрова І.П. Аудит матеріально-технічного забезпечення: підручник. Львів : Львівська політехніка, 2017. 256 с.
19. Поліщук В.В. Автоматизація управління складом: монографія. Київ : ВНК, 2020. 296 с.
20. Руденко М.О. Організація ТО і ремонту двигунів: підручник. Дніпро : ДДУТ, 2019. 312 с.
21. Сидоренко А.І. Механізація напilenня металевих покриттів: монографія. Київ : Наук. думка, 2021. 184 с.
22. Сміян І.В. Електродугова металізація деталей: стаття // Сучасні технології ремонту. 2020. № 3. С. 45–52.
23. Стеценко Р.О. Пристрої для фрезерування шатунів: дис. ... канд. техн. наук. Житомир, 2021. 198 с.
24. Ткаченко В.Д. Технологічне оснащення верстатів: підручник. Харків : НТУ «ХП», 2018. 352 с.
25. Федорів О.Є. Проектування технологічних процесів відновлення деталей: монографія. Київ : КНЕУ, 2019. 224 с.
26. Харченко Ю.М. Модернізація ремонтного обладнання: стаття // Машинобудування і ремонт. 2022. № 1. С. 12–19.
27. Цибулько Д.О. Стандартизація у технологічній підготовці виробництва: підручник. Одеса : ОНУ, 2017. 280 с.
28. Шевченко Н.Г. Підвищення продуктивності виробничих процесів: стаття // Вісник НТУ. 2019. № 5. С. 30–36.

29. Шульга М.В. Інструменти прогнозування попиту: монографія. Київ : Ліра-К, 2020. 208 с.
30. Юрченко О.П. Організація ремонту та відновлення шатунів двигунів: підручник. Житомир : ЖАТК, 2022. 176 с.
31. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.