

14. Center for Innovations Development, 2023. Стан та потреби бізнесу в умовах війни: результати опитування в січні 2023 року. URL: <https://cid.center/the-state-and-needs-of-business-at-war-results-of-the-january-2023-survey/>
15. 2023 INDEX OF ECONOMIC OF FREEDOM. Ukraine. URL: <https://www.heritage.org/index/country/ukraine>.

УДК 621.7-51

М.В. КІЯНОВСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.,
О.В. БОНДАР, А.О. РЯЗАНЦЕВ, кандидати техн. наук, доценти, А.С. ЧУМАК, магістрантка
Криворізький національний університет

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ПРОСТОЇВ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

Мета. Мета даної роботи полягає в запобіганні втрати ресурсного потенціалу та забезпечення безаварійної експлуатації токарно-карусельних верстатів шляхом коригування процесів технічного обслуговування і ремонту та зміни конструктивних елементів конструкції верстату

Методи дослідження. Результати роботи по запобіганню виходу з ладу та зниженню ймовірності відмов механообробного обладнання, а саме токарно-карусельних верстатів, отримані шляхом теоретичних, економіко-математичних, статистичних і експериментальних досліджень. За допомогою яких були проаналізовано різні стратегії управління ремонтами верстатів, оцінено ефективність їх практичного використання. В якості статистичних досліджень використано дані простоїв токарно-карусельних верстатів, виділено та проаналізовано основні вузли, вихід з ладу яких спричиняє простої механічного обладнання.

Наукова новизна. Розглянуто можливості впровадження системи автоматизованого контролю стану обладнання та управління ТОіР. Проаналізовано сучасні стратегії управління ремонтами та технічним обслуговування технологічного обладнання та запропоновано заходи щодо зменшення кількості простоїв через незадовільний технічний стан обладнання, які дозволять підвищити продуктивність роботи верстатів. Запропоновано застосування діагностичних систем контактних та безконтактних типів для моніторингу поточного технічного стану обладнання та проведення ТОіР «за фактичним станом».

Практичне значення. Задля запобіганню простоїв токарно-карусельних верстатів запропоновано нове рішення конструктивної зміни елементів верстату на основі використання гідрогайок з автоматизованим модулем. Гідрогайки оснащуються індикаторами годинного типу і манометром. Даний пристрій разом з контролером може створювати діагностичний стенд та інформувати про стан обладнання. Додатково встановлюються модулі коеебох на двигуни, що відповідають за передачу гвинт-гайка. Були розраховані витрати на впровадження запропонованих заходів та встановлено, що в порівнянні з очікуваним результатом вони мінімальні. Розглянуто можливі шляхи впровадження не тільки для верстатів токарно-карусельної групи, а й для іншого обладнання, що має подібні конструктивні елементи, на всіх підприємствах групи МЕТІНВЕСТ.

Результати. Діюча система планово-попереджувальних ремонтів на підприємствах малоефективна та потребує змін. Виходом з цієї проблеми є перехід на ремонт обладнання «за фактичним станом», який можливий лише з використанням діагностичних систем та зміни конструктивних елементів верстату, зокрема застосування гідравлічних гайок в гвинтових передачах.

Ключові слова: простої обладнання, система ТОіР, ресурсний потенціал, безаварійна експлуатація.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-152-158

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Виробниче обладнання є найдорожчою частиною основних фондів промислового підприємства. У процесі експлуатації обладнання піддається фізичному та моральному зносу та потребує постійного технічного обслуговування та ремонту. Працездатність технологічного обладнання є основною функцією ремонтного господарства у виробничій інфраструктурі підприємства. Підтримка цілісності та працездатності обладнання, взаємозамінність деталей є одним із пріоритетних завдань, що стоять перед менеджментом підприємства.

Від ефективного управління ремонтами безпосередньо залежить продуктивність обладнання. Грамотне здійснення ремонту та організація ремонтного господарства на промисловому підприємстві – важлива складова діяльності підприємства, оскільки управління ремонтами спрямовано підтримку належного стану активної частини фондів. Управління технічним обслуговуванням та ремонтом основних виробничих фондів спрямоване на досягнення кінцевої мети підприємства – на максимізацію суми прибутку.

ТОВ «МЕТІНВЕСТ – Криворізький ремонтно-механічний завод» виготовляє та ремонтує обладнання для гірничодобувних і металургійних підприємств групи МЕТІНВЕСТ. До складу технологічного обладнання підприємства входить велика кількість токарно-карусельних верстатів. На сьогодні є значна проблема з простоями даного обладнання, що є досить негативним чинником та часто призводить до значних втрат. Крім того, від надійної й безаварійної роботи верстата значною мірою залежать продуктивність праці, безпека виробничих процесів, економічні показники виробництва.

На сьогодні часто простої обладнання на підприємствах приймаються як даність, при цьому працівники психологічно віддаляються від пошуку й усунення їх реальних причин. Усе, що залишається підприємствам із такими поглядами, – «гасіння пожеж» на ходу. Діяльність видима, іноді корисна, але недалекоглядна: у довгостроковій перспективі (наприклад, при розрахунку річного бюджету) час простоїв конвертується у значні збитки.

Тому питання щодо зменшення простоїв є досить актуальною темою для дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нестабільна робота та простої обладнання ведуть до зниження обсягу та якості продукції, що випускається, нераціональному використанню трудових і матеріальних ресурсів, втрати прибутку. Якщо основне завдання виробництва – створення цінності для споживача з метою отримання прибутку, то під час простоїв створення цінності просто неможливе, а отже, підприємство зазнає збитків через недоотриманий прибуток. З іншого боку, простої призводять до зриву термінів виконання замовлень, а отже, і погіршення відносин із клієнтами [1,2]. Скорочення часу між зупиненням та запуском технологічного комплексу без втрати якості та кількості робіт сприяє скороченню втраченої вигоди у вигляді невиробленої продукції за час простою.

Шляхи вирішення такої проблеми розглядали багато вчених таких як: Якобсон М.О., Владзієвський А.П., Якобас В.А., Баженов Г.Е., Колегаєв Р.М. [3], Акбердін Р.З., Орлов А.П., Акбердіна Р.А., Передрій А.Е.Ю. [4] та інші. Вивчення представлених в літературі розробок свідчить про те, що є нагайна необхідність більш ретельної розробки варіантів вирішення даної проблеми. Також в літературі питанням органічного поєднання розвитку основного виробництва та ремонтного господарства, підвищення рівня обґрунтованості міжремонтного обслуговування обладнання, зниження витрат на запасні частини та усунення аварій приділяється серйозна увага ще з середини минулого століття. Проблемам вибору найбільш раціональної форми управління ремонтним та технічним обслуговуванням обладнання та обґрунтування доцільності капітальних ремонтів присвячені роботи Дж. Рігса [5], Ю.В. Жірка [6], І.М. Євстаф'єва [7], М. Шухгальтера, J.Moubray [8]. У сучасних умовах ці проблеми не лише не втратили актуальності, а й набули ще більшого значення.

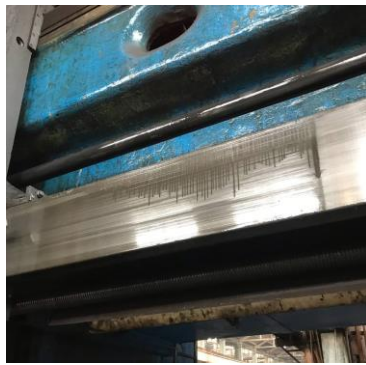
Робота устаткування завжди пов'язана з професійним ризиком. Тому управляти безпекою необхідно ефективно, використовуючи системи методів аналізу і оцінки відповідних небезпек з кількісними показниками ризику. Як відомо, відмова технологічного устаткування може варіюватися від того, що легко усувається з мінімальними втратами до аварійного [9-11]. Такі чинники як витрати на ремонт, загальний час простою, наслідки для здоров'я і безпеки, дуже впливають на виробництво і надання послуг [12-16].

У структурі ТОВ «МЕТІНВЕСТ – КРМЗ» функціонують різні види механообробних верстатів – токарні, фрезерні, свердлильні та інші. Розглянемо токарно-карусельні верстати. Характеристика цих верстатів та виробничого процесу загалом, значною мірою залежить від експлуатаційних властивостей складових верстатів. Від сталості характеристик верстатів залежать надійність, безпека й ефективність роботи підприємства загалом.

Аналіз факторів впливу на технічний стан обладнання показує, що вони поділяються на зовнішні та внутрішні. До внутрішніх факторів відноситься: корозія, зношування, старіння, зміна пружно-інерційних характеристик системи. Зовнішні поділяються на експлуатаційні (дотримання регламенту та режимів експлуатації (рис.1); якість ТОіР, якість монтажу) та людські (знання положень по експлуатації обладнання; правила використання інструменту; висока кваліфікація рбітників) фактори. Наявність даних факторів приводить до істотного підвищення рівня навантажень, зміни режимів навантаження вбік підвищення їх динамічності, що призводить до інтенсивності відмов, різкого зниження ресурсних характеристик верстату, підвищення експлуатаційних і капітальних витрат.



а



б

Рис. 1. Стан елементів токарно-карусельного верстату під час експлуатації: а – чистота гвинта; б – наявність точок змащення

Найбільш частою причиною виходу описуваного обладнання з ладу є природний знос його деталей. До складу токарного верстата входить досить велика кількість рухомих механізмів. Кожна складова верстату теоретично може вийти із ладу, що може стати причиною простою даного обладнання, і в результаті, принести значні

втрати підприємству.

Відповідно до статистичних даних простоїв токарно-карусельних верстатів ТОВ «МЕТІНВЕСТ-КРМЗ» цеху МСЦ-1 (рис. 2) встановлено, що простої без втрат складають 23%, а з втратами – 77%. Причому на ці 77% простоїв з втратами приходиться 61%, який спричинений виходом з ладу механічного обладнання. Отже, вихід з ладу механічного обладнання являється основною причиною простоїв токарно-карусельних верстатів.



Рис. 2. Актуалізація проблеми на базі статистичного аналізу простоїв обладнання

Постановка задачі. Діюча система планово-попереджувальних ремонтів на вітчизняних підприємствах, зокрема на ТОВ «МЕТІНВЕСТ – Криворізький ремонтно-механічний завод», малоефективна та потребує змін. Безпосереднім вирішенням цієї проблеми є перехід на ремонт обладнання «за фактичним станом», який можливий лише з використанням діагностичних систем та зміни конструктивних елементів верстату. Таким чином, задачами даного дослідження є вирішення проблеми по запобіганню втрати ресурсного потенціалу та забезпечення безаварійної експлуатації токарно-карусельних верстатів шляхом коригування процесів ТОiP та зміни конструктивних елементів конструкції верстату.

Викладення матеріалу та результати. На сьогодні підприємства України, в тому числі й ТОВ «МЕТІНВЕСТ», мають проблему з простоями обладнання, зокрема, токарно-карусельних верстатів, що є досить негативним чинником та часто призводить до значних втрат. Крім того, від надійної й безаварійної роботи верстата значною мірою залежать продуктивність праці, безпека виробничих процесів, економічні показники виробництва [17]. Загалом, втрати простоїв складаються з:

скорочення продуктивності, передусім стосується обсягів вироблення продукції;

падіння фінансових показників (підприємства втрачають кредитний рейтинг, інвестиційну привабливість, виплачують зарплати робітникам під час зупинки виробництва, враховуючи доплати та відрахування на соціальні потреби);

репутаційні втрати – зіпсовані відносини з постачальниками, клієнтами та фінансовими ринками відновлювати буде дорого і довго;

зниження прибутковості – крім витрачених ресурсів під час зупинки виробництва (електроенергія, сировина, матеріали) сюди додаються компенсаційні виплати клієнтам та інвестиційні збитки;

інші витрати: на тимчасових робітників, оренду обладнання, виплати понаднормових і поставки необхідних матеріалів.

На сьогодні часто простої підприємства приймаються як даність, при цьому працівники психологічно віддаляються від пошуку й усунення їх реальних причин. Усе, що залишається підприємствам із такими поглядами, – «гасіння пожеж» на ходу. Діяльність видима, іноді корисна,

але недалекоглядна: у довгостроковій перспективі (наприклад, при розрахунку річного бюджету) час простоїв конвертується у значні збитки.

Регламент ТОВ «МЕТІНВЕСТ» про технічне обслуговування і ремонт обладнання (ТОіР) вимагає фіксацію факту завершення ТОіР у виді відповідних актів, які підписує механік і гарантує ефект відновлення працездатності обладнання. В агрегатних журналах (без яких робота машини не дозволена) фіксуються лише факт відмови обладнання з різних причин. Далі для умови використання обладнання потрібно зробити запис про відновлення працездатності (тобто виконання аварійного ремонту), тому що експлуатація несправного обладнання має кримінальний наслідок. Ці дві умови хронологічно фіксуються в агрегатному журналі за підписом механіка. Дані про випробування обладнання і оцінки його технічного стану відсутні. Лише зберігаються відомості про перевірку точності верстатів (обов'язкова регламентна процедура), тому що вартість браку механічної обробки деталей, після використання обладнання, механік не хоче залишати на собі.

В останні роки при відмові від обслуговування і ремонту техніки за регламентом (система ППР) висновок для виконання ремонту на практиці здійснюється трьома основними способами: робота до відмови; виведення техніки в ремонт за результатами експертних оцінок; виведення техніки в ремонт за результатами діагностики та прогнозу стану.

Але значний економічний ефект дає тільки третій спосіб. Успішне його використання дозволяє: скоротити час, обсяг ремонту і кількість запасних частин не менше ніж на третину; зменшити число раптових відмов в десятки разів; скоротити втрачений прибуток через простої в кілька разів.

Для останнього способу необхідна повна діагностика об'єкту, причому бажано виявляти всі дефекти, що впливають на ресурс, задовго до відмови, щоб підготуватися до ремонту.

Оскільки напрямком даного дослідження є запобігання виходу з ладу механообробного обладнання, а саме токарно-карусельних верстатів; зниження ймовірності відмов окремого обладнання та виробничих систем; мінімізацію експлуатаційних витрат; забезпечення умов безпечної експлуатації в умовах і під впливом наявних факторів виробництва, то необхідно визначити шляхи вирішення поставленої задачі, а саме пропонується 2 варіанти.

І варіант: використання інноваційного вирішення задачі – застосування гідравлічних гайок в гвинтових передачах. Гідрагайки оснащуються індикаторами годинного типу і манометром. Даний пристрій разом з контролером може створювати діагностичний стенд та інформувати про стан обладнання (рис. 3). В табл. 1 наведено виробничі витрати на придбання модуля з діагностики на основі гідравлічних гайок. Як бачимо, вартість впровадження складає 99969 грн, а отже річний економічний ефект від впровадження даного варіанту складатиме 102337,1 грн, термін окупності – 0,89 року, а коефіцієнт економічної ефективності – 1,12.



Рис. 3. Актуалізація проблеми на базі статистичного аналізу простоїв обладнання

Таблиця 1

Виробничі витрати на придбання модуля з діагностики на основі гідравлічних гайок

Найменування елементів модуля	Кількість, шт.	Ціна за шт., грн	Сума, грн
Виготовлення бронзової гідравлічної гайки	5	9000	45000
Електронний манометр	5	471	2355
Бронзова трубка Ø8мм	5	110	550
Мікропроцесорний контролер МІК – 52	1	10 080	10 080
Промисловий комп'ютер	1	23984	23984
Програмування контролера	1	18000	18000

Разом К_{доп1} = 99969 грн

II варіант: застосування діагностичних систем контактних та безконтактних типів для моніторингу поточного технічного стану обладнання та проведення ТОiP «за фактичним станом». Зокрема, встановлення модулів Коеебох на двигуни, що відповідають за передачу гвинт-гайка. Коеебох – є апаратним рішенням, яке підключається безпосередньо до технологічного обладнання, що має живлення від електричної мережі, та проводить аналіз ефективності його роботи (OEE – Overall Equipment Effectiveness). Коеебох вимірює OEE в режимі реального часу, має можливість збирати інформацію про температуру обладнання, його вібрації, тиск на вузлах, може попереджувати про відхилення в роботі верстатів та вихід його з ладу. Фактично, Коеебох – це розумна фабрика, керувати якою можна з персонального комп'ютера, телефону та отримувати дані про стан обладнання в зручній та зрозумілій формі (рис. 4). По суті, на підприємстві будується своя екосистема в середині цієї цифрової фабрики.

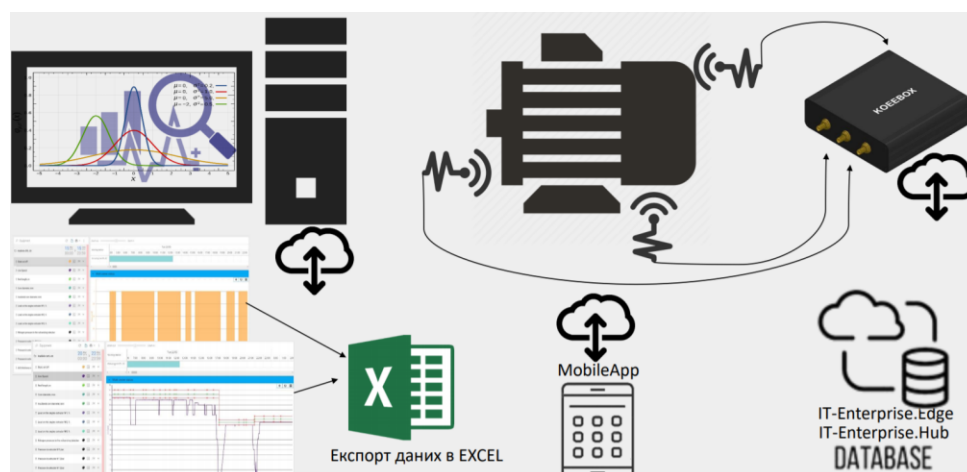


Рис. 4. Схема пропонуваного рішення на основі Коеебох

В табл. 2 наведено виробничі витрати по придбанню модуля з діагностики на основі модулів коеебох. Як бачимо, вартість впровадження складає 612806 грн, а отже річний економічний ефект від впровадження даного варіанту складатиме 51053,4 грн, термін окупності – 5,4 року, а коефіцієнт економічної ефективності – 0,19.

Таблиця 2

Виробничі витрати на придбання модуля з діагностики на основі модулів Коеебох

Найменування елементів модуля	Кількість, шт.	Ціна за шт., грн	Сума, грн
Апаратне забезпечення коеебох	4	5600	22400
Інтеграція з ІС	1	456750	456750
Навчання	1	14616	14616
Кураторство, тестування	1	51840	51840
Щомісячна абонентська оплата 1400 грн, за 12 міс. = 16800 грн	4	16 800	67200

Разом К_{доп2} = 612806 грн

Висновки та напрямки подальших досліджень. В результаті дослідження та аналізу досвіду експлуатації та обслуговування технологічного обладнання підприємства ТОВ «МЕТІН-ВЕСТ-КРМЗ», запропоновано заходи щодо зменшення кількості простоїв через незадовільний технічний стан обладнання, які дозволять підвищити продуктивність роботи верстатів, а саме використання гідравлічних гайок в гвинтових передачах верстатів є новим інноваційним рішенням. Витрати на впровадження запропонованих заходів, в порівнянні з очікуваним результатом, є мінімальними, та реальними для впровадження. Крім цього пропонується проводити наступні заходи: розробити інструкції по обслуговуванню кожного верстату; візуалізувати інформацію про використання інструменту; прищепити дбайливе ставлення до виконання обов'язків; проводити періодичне підвищення кваліфікації верстатників.

Розглянуті шляхи впровадження можливо застосовувати не тільки для верстатів токарно-карусельної групи, а й для іншого обладнання, що має подібні конструктивні елементи, на всіх підприємствах групи ТОВ «МЕТІНВЕСТ».

Список літератури

1. **Levitt J.** Handbook of maintenance management / Joel Levitt. – Industrial Press, Inc., 1997. – 455 p.
2. **Стукалов Д. Н.** Простои: анализ и устранение причин / Д. Н. Стукалов // Техническое обслуживание и ремонт. – 2011. – № 4. – С. 8–11.
3. **Колегаев Р. Н.** Эффективность работы ремонтной службы предприятия и объединения / Р. Н. Колегаев, К. И. Мельникова, В. И. Кривоберец. – Київ : Техника, 1976. – 160 с.
4. **Передрій А. Е. Ю.** Інноваційне управління підприємством в сучасних умовах / А. Е. Ю. Передрій // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – 2017. – Т. 24, № 1246. – С. 40–43.
5. **Риггс Дж.** Производственные системы: планирование, анализ, контроль / Дж. Риггс. – М. : Прогресс, 1972. – 340 с.
6. **Жиркин Ю. В.** Надежность, эксплуатация и ремонт металлургических машин / Ю. В. Жиркин. – Магнитогорск : МГТУ им. Г.И. Носова, 2002. – 330 с.
7. **Евстафьев И. Н.** Организация сбора данных для выбора оптимальной стратегии управления техническим обслуживанием и ремонтом оборудования / И. Н. Евстафьев // Металлург. – 2009. – № 3. – С. 30–33.
8. **Moubray J.** Reliability-Centered Maintenance Second Edition / John Moubray. – Industrial Press, Inc., 1997. – 448 p.
9. **Pacaiova H.** Maintenance management system [Electronic resource] / Hana Pacaiova, Juraj Glatz // MM Science Journal. – 2015. – Vol. 2015, no. 03. – P. 665–669. – Mode of access: https://doi.org/10.17973/mmsj.2015_10_201532 (date of access: 18.04.2023).
10. **Jardine A. K. S.** A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance [Electronic resource] / Andrew K. S. Jardine, Daming Lin, Dragan Banjevic // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2006. – Vol. 20, no. 7. – P. 1483–1510. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2005.09.012> (date of access: 18.04.2023).
11. **Lee J.** New Technologies for Maintenance [Electronic resource] / Jay Lee, Haixia Wang // Springer Series in Reliability Engineering. – London. – P. 49–78. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-1-84800-011-7_3 (date of access: 18.04.2023).
12. **Kizim A. V.** Establishing the Maintenance and Repair Body of Knowledge: Comprehensive Approach to Ensuring Equipment Maintenance and Repair Organization Efficiency [Electronic resource] / A. V. Kizim // Procedia Technology. – 2013. – Vol. 9. – P. 812–818. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.090> (date of access: 18.04.2023).
13. **Badía F. G.** Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures [Electronic resource] / F. G. Badía, M. D. Berrade, Clemente A. Campos // Reliability Engineering & System Safety. – 2002. – Vol. 78, no. 2. – P. 157–163. – Mode of access: [https://doi.org/10.1016/s0951-8320\(02\)00154-0](https://doi.org/10.1016/s0951-8320(02)00154-0) (date of access: 18.04.2023).
14. Modern Technology Equipment Maintenance Process Management [Electronic resource] / **Zi Qin Ma** [et al.] // Advanced Materials Research. – 2014. – Vol. 1061-1062. – P. 1220–1223. – Mode of access: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1061-1062.1220> (date of access: 18.04.2023).
15. **Dhillon B. S.** Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety [Electronic resource] / Balbir S. Dhillon. – London : Springer London, 2008. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-288-3> (date of access: 18.04.2023).
16. Present Status and Future Growth of Advanced Maintenance Technology and Strategy in US Manufacturing [Electronic resource] / **Xiaoning Jin** [et al.] // International Journal of Prognostics and Health Management. – 2020. – Vol. 7, no. 3. – Mode of access: <https://doi.org/10.36001/ijphm.2016.v7i3.2409> (date of access: 18.04.2023).
17. Точность, надежность и производительность металлорежущих станков / **Г. Д. Григорьян** [та ін.]. – Київ : Техніка, 1991. – 201 с.