

ISSN 2307-5732
DOI 10.31891/2307-5732

Науковий журнал



ВІСНИК

**Хмельницького національного
університету**

Технічні науки

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2024

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2024, Issue 2, Volume 333

Хмельницький

ISSN 2307-5732

ISSN (online)

Журнал включено до наукометричних баз:

[Google Scholar](#)

[CrossRef](#)

[Index Copernicus](#)

[Журнал розміщено на сайті НБУ ім. В.І. Вернадського](#)

Видавництво: Хмельницький національний університет (Україна)

Періодичність: 6 разів на рік

Галузь знань: технічні

Мови рукопису: змішаними мовами: українська, англійська

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ: Серія KB № 24922-14862ПР (12.07.2021).

Умови ліцензії: автори зберігають авторські права та надають журналу право першої публікації разом з твором, який одночасно ліцензується за ліцензією Creative Commons Attribution International CC-BY, що дозволяє іншим ділитися роботою з підтвердженням авторства роботи та первинної публікації в цьому журналі.

Заява про відкритий доступ: видання «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**» забезпечує негайний відкритий доступ до свого змісту за принципом, що надання вільного доступу до досліджень для громадськості підтримує більший глобальний обмін знаннями. Повнотекстовий доступ до наукових статей журналу представлений на офіційному веб-сайті в розділі Архіви.

Адреса: Науковий журнал «**Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки**», Хмельницький національний університет, вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна.

Тел .: +380984772799

Електронна адреса: visnyk.khnu@khmnu.edu.ua

Веб-сайт: <https://heraldes.khmnu.edu.ua>

ЗМІСТ

МЕТОД ПОШУКУ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ У ВЕЛИКИХ НАБОРАХ ДАНИХ ІЗ ПРОПУСКАМИ НА ПРИКЛАДІ ДАНИХ ПРО ПОШИРЕННЯ COVID	
Наталія Шаховська, Іван Загородний	11-16
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЕТАПУ ЗАПУСКУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АППАРАТУ З ПУСКОВОЇ УСТАНОВКИ КАТАПУЛЬТНОГО ТИПУ	
Діана Буковська, Віктор Антонюк	17-20
ФОРМУВАННЯ СПОЖИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛАСТИЧНИХ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ	
Анатолій Данилкович, Віктор Ліщук	21-27
ПОБУДОВА КОДІВ ХЕММІНГА В СКІНЧЕННИХ ПОЛЯХ ГАЛУА	
Аліна Давлетова	28-34
ПІДХОДИ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	
Роман Феняк, Виклюк Ярослав Ігорович	35-39
ПАРАЛЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕДИЧНИХ ТЕРМОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ОПОРНИХ ВЕКТОРІВ ТА НАЇВНОГО БАЙЄСІВСЬКОГО КЛАСИФІКАТОРА	
Леся Гентош, Юліанна Мочурад, Дарина Василяшко	40-45
ПОШИРЕННЯ ТА ВІДБИТТЯ ЗВУКОВОЇ ХВИЛІ НА ОСНОВІ ШУМУ ТРАМВАЮ	
Марія Оринчак	46-49
ІНТЕРФЕЙСИ ВІРТУАЛЬНИХ СХОВИЩ ДАНИХ В УМОВАХ ШВИДКОЗМІНЮВАНОВОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА	
Наталія Шаховська, Іван Загородний, Оксана Когуч, Роман Тріска	50-54
ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ АКАДЕМІЧНОЇ БІБЛІОТЕКИ	
Марія Сокіл, Андрій Зворський	55-60
РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ДИНАМІЧНОЇ РЕКОНФІГУРАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЬНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ	
Дмитро Яценко, Володимир Попов, Вадим Кондратюк, Анатолій Замулко, Іван Фролов	61-69
ДЕФОРМУВАННЯ ТА РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ З СУТТЄВИМ ПРОЯВОМ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ	
Олена Багрій, Олександр Дорофєєв	78-84
СХЕМА ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДІЄВОСТІ РЕЗОНАНСНОГО ПІДСИЛЮВАЧА АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ	
Юрій Батигін, Олена Єрьоміна, Світлана Шиндерук, Євген Чаплигін	85-91
ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ПЕРСОНАЛУ КОМПАНІЇ	
Богдан Бойко, Ірина Процик	92-98

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ВТОРГНЕНЬ	
Антон Бондаренко, Стаценко Володимир	99-106
ШВИДКОДІЙНИЙ ПРИСТРІЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СИГНАЛІВ З ЦИФРОВИМ КОРИГУВАННЯМ ПОХИБОК ЧАСОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	
Геннадій Бортник, Сергій Бортник, Михайло Бриль, Олександр Бортник	107-111
АНТИБАКТЕРІАЛЬНІ АГЕНТИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ – СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ	
Анна Варданян, Яна Редько	112-119
ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИСЛОВОЇ ВИПАДКОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ, ЩО ОДЕРЖАНА З ВЕБ КАМЕРИ	
Дмитро Ганжело, Георгій Прохоров	120-124
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРАТЕГІЇ БАГАТОЕТАПНОГО РОЗГОРТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКЛЮЧЕННЯМ СТОРОННІХ ЕФЕКТІВ	
Віталій Суприган	125-150
МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ВИРАЖЕНОЮ СЕЗОННІСТЮ НА ОСНОВІ ТРАНСФОРМЕРІВ	
Кирило Ємець	131-134
АКТУАЛЬНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА	
Людмила Козловська, Олег Помаранський.....	35-139
АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДОСТУПОМ	
Володимир Корчинський, Ірина Тарасенко, Сергій Рациборинський, Олександр Акаєв, Артем Хаджиогло	140-145
ОГЛЯД МОЖЛИВОСТІ ПОКРАЩЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПІДБОРУ NS КОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МИТНОГО КЛАСИФІКАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ	
Юрій Кривенчук, Степан Крупа	146-149
ПРОЦЕС ЗБОРУ ТА ПІДГОТОВКИ ДАНИХ З ДЕМОНСТРАЦІЙ, ЗРОБЛЕНИХ ЛЮДИНОЮ, ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОСТИХ МАНІПУЛЯЦІЙНИХ ЗАВДАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РОБОРУКИ XARM7 ДЛЯ НАВЧАННЯ З ДОПОМОГОЮ ВЕНАВІОР CLONING АЛГОРИТМУ	
Юрій Кривенчук, Максим Шаварський	150-154
ВСТАНОВЛЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ТЕКСТУРОУТВОРЮЮЧИХ ЧАСТИНОК НА ГІДРОФОБНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТЯ	
Лі Че, Анна Білоусова, Олексій Миронюк	155-161
ІНФОРМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ НАУКОВИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ: АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ РЕЙТИНГУ ПУБЛІКАЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ	
Ганна Ліхоносова	162-165
ЗАСТОСУВАННЯ Soft Open Point ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	
Юрій Лобода, Руслан Слободян	166-170

АСПЕКТИ РЕАГУВАННЯ НА ІНЦИДЕНТИ ЗУМОВЛЕНІ АНОМАЛІЯМИ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ
СИСТЕМ

Руслан Маліновський, Василь Боднарук 171-176

МОДЕЛІ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ДЛЯ СЕНСОРНИХ ДАНИХ ПРОЦЕСУ
БУРІННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ
НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВОЛОДИМИР ПРОЦЮК 177-188

ВИЯВЛЕННЯ ШАХРАЙСТВА З КРЕДИТНИМИ КАРТКАМИ МЕТОДАМИ
МАШИННОГО НАВЧАННЯ
Катерина Мельник, Світлана Лавренчук, Наталія Христинець 189-193

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
РОЗВИТКУ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ В ЗАКЛАДАХ ОСВІТИ
Ігор Мірко 194-199

МЕТОД НЕЙРОМЕРЕЖЕВОВОГО ВИЯВЛЕННЯ КІБЕРБУЛІНГУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ ТА ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ
МОДЕЛІ

Марина Молчанова, Олександр Мазурець, Олена Собко, Валерія Кліменко,
Владислав Андрощук 200-206

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ GAN МЕРЕЖ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ
НАДІЙНОСТІ ДАНИХ З ДАВАЧІВ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ
АПАРАТІВ

Дмитро Петренко, Юрій Кривенчук 207-211

ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ ВЕРСІЙ ДОДАТКУ Midjourney ТА ЙОГО
ВИКОРИСТАННЯ В РІЗНИХ СФЕРАХ СТВОРЕННЯ ВІЗУАЛЬНОГО
КОНТЕНТУ

Дмитро Петрина, Олена Корнута 212-217

АНСАМБЛЕВІ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕНЕЙ У ВЕЛИКІЙ
БРИТАНІЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Петро Сидор, Ярослав Виклюк 218-231

ТОВАРОЗНАВЧА ЕКСПЕРТИЗА МАРКУВАННЯ КОСМЕТИЧНИХ
ТОВАРІВ

Світлана Сіренко, Алла Тернова, Ірина Власенко 232-237

ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ
ВИГОТОВЛЕННЯ ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ

Оксана Смачило 238-241

ВІД АНАЛІЗУ ТЕКСТУ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНОЇ МОВИ:
КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Микола Стахів, Стапан Скопівський 242-250

ПРОБЛЕМИ ЗАСВОЄННЯ БАЗОВИХ ДИСЦИПЛІН СТУДЕНТАМИ ВНЗ
ТЕХНІЧНИХ НАПРЯМІВ ПІДГОТОВКИ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО
СТАНУ УКРАЇНИ

Леся Струтинська 251-259

СТВОРЕННЯ ТЕПЛОЕФЕКТИВНИХ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ З МІСЦЕВОЇ
ЛЕГКОПЛАВКОЇ СИРОВИНИ

Ірина Суббота, Лариса Спасьонова 260-264

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ В КОМП'ЮТЕРНОМУ ЗОРІ

Павло Цивадиць, Тетяна Скрипник, Леонід Вознюк 265-268

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ТА БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ ЕКОНОМІКИ

ВІТАЛІЙ ЧУЄНКО 269-273

КОМП'ЮТЕРНИЙ МОДУЛЬ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ФОРМИ ЗАПРАВКИ НИТКИ НА ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ

Володимир Щербань, Микита Кольва, Дмитро Єгоров, Сергій Шилінгов, Андрій Лукашев 274-277

ОСОБЛИВОСТІ СТИСНЕННЯ З ВТРАТАМИ ЗОБРАЖЕНЬ ІЗ ШУМОМ

Сергій Кривенко, Володимир Лукін 278-283

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ РІЗНОТИПНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ

Любов Полягушко, Володимир Сліпченко, Ольга Круш, Володимир Рудик 284-290

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ЦИФРОВОЇ КАРТКИ ДОМАШНЬОЇ ТВАРИНИ

Ілля Соловей, Ольга Ворочек 291-296

ДВОКАНАЛЬНИЙ ГРАВІМЕТР АВІАЦІЙНОЇ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Олена Безвесільна, Марія Гриневич, Тетяна Толочко 297-301

АСПЕКТИ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИСТОЇВ ТА СИСТЕМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ПРИ ЇХ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ

Василь Боднарук, Ірина Мануляк, Степан Мельничук 302-307

РОЗРОБКА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИБОРУ СТИЛЮ ОДЯГУ НА ОСНОВІ KANSEI ENGINEERING

Світлана Кулешова 308-313

ПІДВИЩЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРШНЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ КОМПРЕСОРА КОНДИЦІОНЕРА АВТОМОБІЛЯ

Олександр Диха, Владислав Свідерський, Костянтин Голенко 314-321

ПАТЕРНОВИЙ АНАЛІЗ ГРАФА БІТКОЇН-ТРАНЗАКЦІЙ

Жикін Юрій Сергійович, Онай Микола Володимирович 322-328

ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВЕЛОСПОРТСМЕНІВ

Ірина Журавська, Богдан Пилипчук 329-337

РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ НА БАЗІ ПЕРВИННОГО СЕНСОРА YL-69

Євгеній Кропив'янський, Олександр Звягін 338-343

АНАЛІЗ ВИМОГ ДО ПОЗИЦІЙ DATA ANALYST ТА DATA SCIENTIST НА РИНКУ ПРАЦІ

Володимир Кулаженко, Денис Підгайний 344-352

ДИЗАЙН-ПРОЄКТУВАННЯ КОРПОРАТИВНОГО ОДЯГУ: ЕСТЕТИЧНИЙ ТА ЕРГОНОМІЧНИЙ АСПЕКТИ	
Світлана Кулешова, Юлія Кошевко, Ірина Кривицька, Оксана Захаркевич, В'ячеслав Балабанов	353-360
ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ПОСТКВАНТОВОГО ЦИФРОВОГО ПІДПISУ	
Іван Лаврик	361-369
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБІТ ІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕДІНКИ ТВАРИН ЗА ЇХНІМИ ЗВУКАМИ	
Андрій Михайлів	370-375
ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОСЛІДЖЕННІ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКСТИЛЬНИХ НИТОК	
Олег Нахайчук, Еліна Захарова, Валентина Горобчишина, Оксана Цирульник	376-379
СЕНСОРИ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ CMOS	
Володимир Мартинюк, Олександр Малюк	380-388
СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
Володимир Педяш, Євген Ледовський, Володимир Ткач	389-392
РОЗРОБКА КОНВЕКТИВНО-ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ ДЛЯ СУШІННЯ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ	
Олег Цуркан, Анатолій Спирін, Володимир Руткевич, Андрій Дідик ...	393-399
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ПРОНИКНОСТІ ПРОБ СПЕЦІАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ДО ВПЛИВУ АМІАКУ	
Ніна Михайлова, Валерій Привала	400-403
ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ СТРУМЕНІВ ПОВІТРЯ З РЕЛЬЄФОМ ПЛОСКОЇ ПОВЕРХНІ	
Сергій Пундик, Анатолій Кармаліта	404-408
ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІНФОРМАТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ОСНОВ СУЧАСНОГО ПРОГРАМУВАННЯ	
Ольга Кравчук Андрій Кравчук	409-413
ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМУ РОБОТИ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ НА ОСНОВІ ЇЇ 3D МОДЕЛІ	
Tetyana Olyanyshen, Олег Мачуга	414-420
ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ СЕНТИМЕНТ АНАЛІЗУ ПОВІДОМЛЕНЬ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ	
Володимир Кулаженко, Олександра Мазур	421-427
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	
Андрій Ткачук, Микола Мошноріз	428-432

ВИКОРИСТАННЯ МОДУЛІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ K DAM ДЛЯ
ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ БАТАННОГО МЕХАНІЗМУ ПРИ
ФОРМУВАННІ БАГАТОШАРОВИХ ТКАНИН

Володимир Щербань, Олексій Воляник, Мар'яна Гольдберг, Геннадій
Мельник, Юрій Щербань 433-436

ПОКРАЩЕННЯ ДЕТЕРМІНОВАНОГО МЕТОДУ ГЕНЕРУВАННЯ
КОРПУСІВ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ

Яків Юсин, Наталія Рибачок 437-445

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО
КОМПЛЕКСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ

Андрій Штуць 453-460

ШТУЦЬ АНДРІЙ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4242-2100>

e-mail: shtuts1989@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ШТАМПУВАННЯ ОБКОЧУВАННЯМ

Надійність технічних об'єктів є однією з найважливіших їх якісних характеристик. Автоматизовані комплекси штампування обкочуванням (АКШО) широко використовуються в машинобудуванні для виготовлення деталей складної форми. Надійність АКШО є ключовим фактором, що визначає їх ефективність та економічність.

Розробка пристрою автоматичної зміни оснащення шtamпувально-обкочувального комплексу обумовлена необхідністю підвищення ефективності та автоматизації виробничих процесів у промисловості. Штампування обкочуванням (ШО) є важливою технологією для виробництва деталей з металу, проте процес зміни оснащення (наприклад, інструментів або матриць) може бути доволі тривалим та ресурсомістким.

Розробка пристрою для автоматичної зміни оснащення може значно поліпшити продуктивність та ефективність виробничих ліній, зменшити час простою обладнання та витрати на ручну працю. Крім того, такий пристрій може підвищити безпеку праці та знизити ризик травматизму серед працівників. Оскільки сучасна промисловість стрімко розвивається і постійно вдосконалює технології виробництва, розробка пристрою автоматичної зміни оснащення для шtamпувально-обкочувального комплексу є актуальною і важливою завданням. Впровадження такого пристрою може допомогти підприємствам зберегти конкурентну перевагу на ринку та підвищити їхню ефективність та прибутковість.

У статті розглянуто питання надійності автоматизованого комплексу штампування обкочуванням, яке є одним із ключових аспектів сучасного виробництва. Аналізуються фактори, що впливають на надійність таких систем, та шляхи їх підвищення для забезпечення безперебійної роботи виробничих ліній.

Стаття розкриває основні проблеми, пов'язані із збоями обладнання та простоями, які можуть призвести до значних фінансових втрат та втрати репутації підприємства. Проаналізовано вплив таких факторів, як інтенсивність експлуатації, технічне обслуговування, а також впровадження новітніх технологій управління та моніторингу на загальну надійність системи.

У статті запропоновано комплексний підхід до підвищення надійності автоматизованих комплексів штампування обкочуванням. Цей підхід включає в себе оптимізацію режимів роботи, вдосконалення систем технічного обслуговування та діагностики, а також використання передових технологій управління та моніторингу стану обладнання.

Результати дослідження можуть бути корисними для виробництв, які використовують автоматизовані комплекси штампування обкочуванням у своїй діяльності. Вони дозволять підвищити ефективність виробничого процесу, зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також забезпечити стабільну та безперебійну роботу виробничих ліній.

Ключові слова: штампування обкочуванням, автоматизований комплекс, електропривод, дослідження надійності, технічні об'єкти, оцінка надійності.

SHTUTS ANDRII

Vinnytsia National Agrarian University

STUDY OF THE RELIABILITY AND OPTIMIZATION OF THE AUTOMATED ROLLING STAMPING COMPLEX

The reliability of technical objects is one of their most important quality characteristics. Automated rolling stamping complexes are widely used in mechanical engineering for the manufacture of parts of complex shape. Reliability of CABs is a key factor that determines their efficiency and cost-effectiveness. The development of a device for automatically changing the equipment of the stamping-rolling complex is due to the need to increase efficiency and automate production processes in industry. Roll stamping is an important technology for the production of metal parts, but the process of changing equipment (for example, tools or dies) can be time- and resource-intensive.

The development of an automatic equipment changer can significantly improve the productivity and efficiency of production lines, reduce equipment downtime and manual labor costs. In addition, such a device can increase occupational safety and reduce the risk of injury among workers.

Since modern industry is rapidly developing and constantly improving production technologies, the development of a device for automatically changing equipment for a stamping-rolling complex is an urgent and important task. The implementation of such a device can help enterprises maintain a competitive edge in the market and increase their efficiency and profitability. The article deals with the reliability of the automated rolling stamping complex, which is one of the key aspects of modern production. Factors affecting the reliability of such systems and ways to increase them to ensure smooth operation of production lines are analyzed. The article reveals the main problems associated with equipment failures and downtime, which can lead to significant financial losses and loss of reputation of the enterprise. The impact of such factors as the intensity of operation, maintenance, as well as the introduction of the latest management and monitoring technologies on the overall reliability of the system was analyzed. The article proposes a comprehensive approach to increasing the reliability of automated rolling stamping complexes. This approach includes optimization of operating modes, improvement of maintenance and diagnostics systems, as well as the use of advanced management technologies and equipment condition monitoring.

The results of the research can be useful for factories that use automated rolling stamping complexes in their activities. They will make it possible to increase the efficiency of the production process, reduce the costs of maintenance and repair, as well as ensure the stable and uninterrupted operation of production lines.

Key words: rolling stamping, automated complex, electric drive, reliability research, technical objects, reliability assessment

Постановка проблеми

Тенденції розвитку промисловості шляхом вдосконалення машин обумовлюють необхідність виготовлення деталей складної конфігурації з необхідними експлуатаційними властивостями. З об'ємних деталей номенклатури виробів АПК велику частку складають вісесиметричні деталі типу фланців, кришок, втулок тощо. Специфіка експлуатації подібних деталей в обладнанні АПК вимагає їх підвищеної якості для забезпечення певних службових властивостей деталей, таких як зносостійкість, корозійна стійкість, витривалість та ін.

Аналіз технологічних процесів виготовлення вісесиметричних деталей галузі показав, що вони виготовляються переважно з використанням процесів різання з пруткового, трубного і листового прокату. Для таких процесів характерними є низький коефіцієнт використання металу та висока трудомісткість. Одним із напрямів вирішення відзначеної проблеми є введення в технологічний ланцюг виробництва операції пластичного деформування. Для виготовлення відзначених деталей невеликими серіями найкращі техніко-економічні показники спроможний забезпечити процес штампування обкочуванням (ШО) [1,2]. Аналіз обладнання ШО [2,3,4] показав, що воно на сьогодні не має ще належного рівня автоматизації і технологічної гнучкості, які дозволили б ефективно використовувати його в умовах малосерійного виробництва. Створення такого обладнання слід проводити із забезпеченням мінімального часу і трудомісткості на його переналаштування на інший типорозмір і форму деталі.

За результатами аналізу робіт з розробки ковальсько-пресового обладнання з автоматизованою заміною штампового оснащення нами запропоновані наступні схеми пристроїв (рис. 1) для заміни штамів в комплексах ШО.

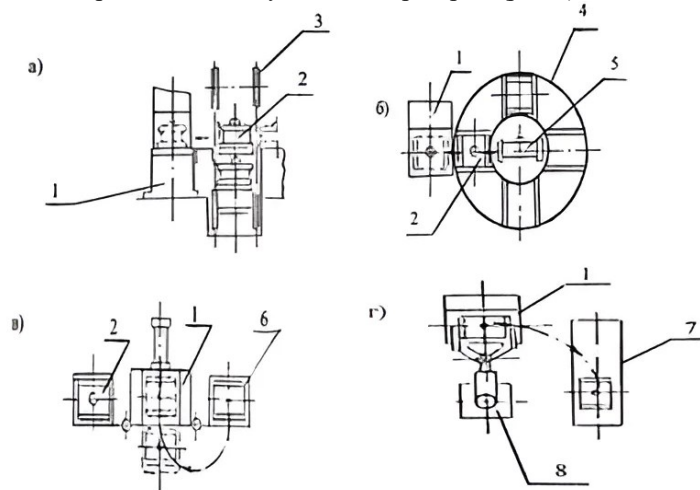


Рис. 1. Схема пристроїв автоматизованої заміни штамів: а) – з магазином штамів; б) – з поворотним столом; в) з поворотними кронштейнами; г) – з рухомих візком; д) – з маніпулятором. 1 – обкочувальний верстат; 2 – штамп; 3 – магазин; 4 – поворотний стіл; 5 – гідроциліндр; 6 – поворотний кронштейн; 7 – конвеєр електричний; 8 – маніпулятор електричний.

1. Магазин штамів встановлюється біля обкочувального верстата (ОВ) (рис. 1,а) і містить декілька комірчин зі штампами. Штампи в магазині переміщуються вертикально. Використаний штамп зі стола ОВ видаляють у вільну комірчину, яка зміщується автоматично за рахунок електроприводу, а на рівень стола виставляється комірчина з новим штампом.

2. В системі з поворотним столом (рис. 1,б) штамп зміщується на позицію його завантаження в робочу ОВ шляхом повороту стола. Штамп видаляється на вільну позицію штампового стала, після повороту якого новий штамп виставляється на лінію переміщення на стіл ОВ.

3. В системі з поворотними кронштейнами (рис. 1,в), один з кронштейнів (лівий) шарнірно закріплений на станині ОВ і призначений для видалення використаного штампу. Другий кронштейн (правий) призначений для подачі попередньо встановленого на ньому нового штампа. Після повороту кронштейну до стола ОВ штамп переміщується в робочу зону.

4. Використання електро роботів (рис. 1,г) розширює сферу застосування систем автоматизованої заміни штампового оснащення. В ОВ передбачено застосування універсального маніпулятора, який дозволяє здійснювати завантаження-вивантаження заготовок і заміну матриць. Це стало можливим за рахунок використання матриць, уніфікованих за зовнішнім діаметром. Однією з переваг такої системи є можливість накопичення матриць на одній з позицій поворотного накопичувача заготовок.

Надійність є однією з найважливіших характеристик технічних об'єктів. Для розрахунку характеристик надійності об'єкта необхідно мати дані про надійність його складових елементів. Особливо важливою оцінка надійності постає при розробці нових складних технічних об'єктів. До таких об'єктів відноситься автоматизований комплекс штампування обкочуванням (АКШО). Основні елементи даного комплексу представлені на рисунку 2. Важливість даних елементів в забезпеченні надійності системи можна поділити на дві групи: перша група – відмова елементів приводить до часткової відмови всієї системи; друга група - відмова її елементів приводить до повної відмови всієї системи. Таким чином, при відмові елементів першої групи система продовжує виконувати свої функції не в режимі автоматичного управління, а з допомогою електричного пульта. Оцінку можливих відмов елементів АКШО представлено в таблиці 1. Моделювання АКШО є окремим науковим напрямком в роботах професора В.А. Матвійчука, з розвитку процесів локального деформування [1,2,3].

Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка і обґрунтування пристроїв автоматичної зміни штампового оснащення в комплексах ШО.

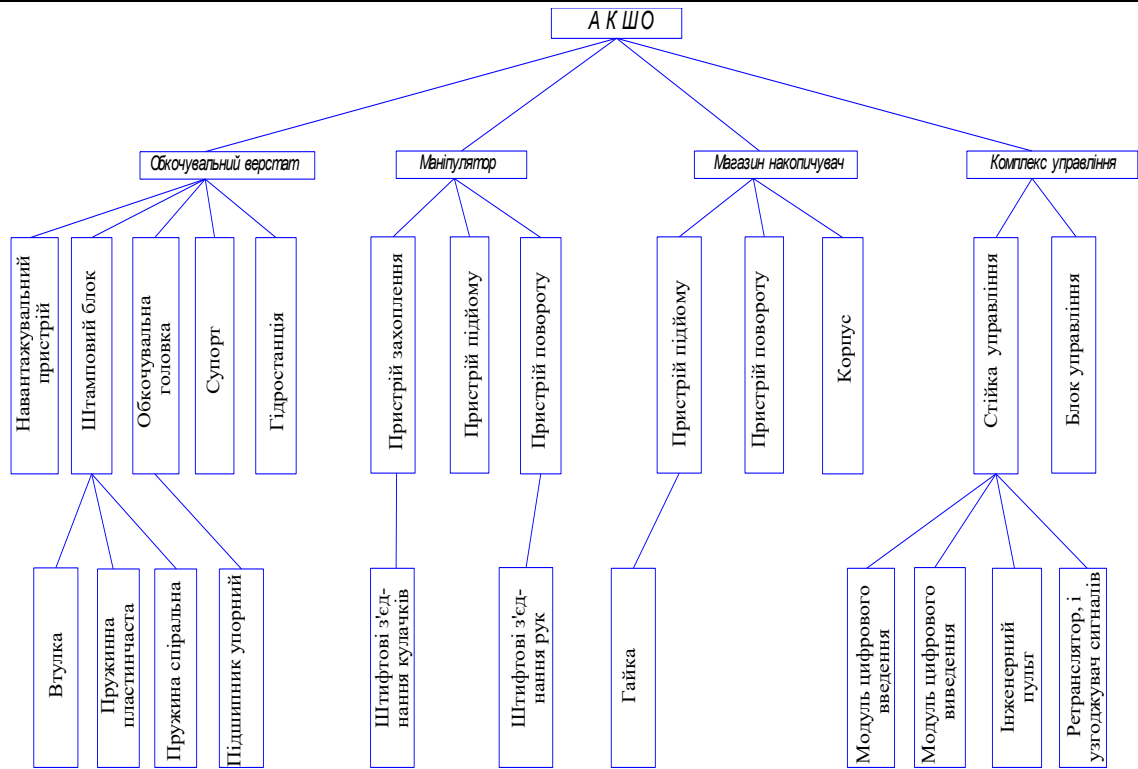


Рис. 2. Схеми зв'язків елементів АКШО, які впливають на його надійність

Таблиця 1

Основні відмови в роботі елементів АКШО

Комплекси	Вузли	Елементи системи і режим їх роботи	Вид відмови	
			Часткова	Повна
Обкочувальний пристрій	Навантажувальний пристрій	Станина. 5000 год. роботи. Після відмови – відмова всієї системи і заміна		+
		Привод робочий. 5000 год. р. + 8 год. відновлення		+
		Привод виштовхувала. 5000 год. р. + 8 год. відн.		+
		Привод регулювальний. 5000 год. р. + 8 год. відн.	+	
	Штамповий блок	Привод обертання. 5000 год. р. + 8 год. відн.		+
		Штампове оснащення. 500 год. р. + 5 хв. відн.		+
		Торцевий шпindel. 3000 год. р. + 2 год. відн.		+
	Обкочувальна головка	Шпindel. 3000 год. р. + 2 год. відн.		+
		Привод регулювальний. 5000 год. р. + 8 год. відн.	+	
	Валок. 500 год. р. + 0,5 год. відн.		+	
Супорт	Ролик. 1000 год. р. + 0,5 год. відн.	+		
Гідростанція			+	
Ручний пульт управління	Дублює систему управління обкочувальним пристроєм. 5000 год. р. + 8 год. відн.		+	
Маніпулятор	Захоплювач	1000 год. р. + 4 год. відн.	+	
	Привод підйому	3000 год. р. + 2 год. відн.	+	
	Привод повороту	3000 год. р. + 2 год. відн.	+	
Магазин накопичувач заготовок	Пристрій підняття	700 год. р. + 2 год. відн.	+	
	Пристрій повороту	3000 год. р. + 2 год. відн.	+	
Магазин накопичувач виробів	Пристрій підняття	700 год. р. + 2 год. відн.	+	
	Пристрій повороту	3000 год. р. + 2 год. відн.	+	
Комплекс управління	Стіяка управління	500 год. р. + 2 год. відн.	+	
	Дисплей	5000 год. р. + 8 год. відн.	+	
	Блоки управління	500 год. р. + 8 год. відн. у кожного блока	+	

Матеріал і результати дослідження

В роботі проведена оцінка надійності автоматизованого комплексу штампування обкочуванням. Для цього розглянуто основні відмови складових елементів системи, які за впливом поділено на дві групи. Приймаючи в якості математичної [10,12] моделі функціонування системи, багатомірний марківський випадковий процес в роботі проведена оцінка її надійності шляхом визначення таких ймовірнісних величин, як середній час повної працездатності автоматизованої системи та середній час роботи системи до першої повної відмови.

Отже, якщо відмовив елемент другої групи, то відбувається миттєва відмова всієї системи і відразу розпочинається аварійний ремонт, у результаті якого відновлюється елемент, що привів до зупинки АКШО, а також всі елементи першої групи, що вийшли з ладу до цього часу і призвели до часткової відмови системи. Якщо ж відбулася часткова відмова, то система продовжує функціонувати до початку переналагоджування.

В АКШО передбачене переналагоджування через кожні τ годин, якщо до моменту переналагоджування система не вийшла з ладу цілком. Якщо до моменту переналагоджування не відбулося часткових відмов, то інтервал між переналагоджуванням триває $\Delta\tau$ годин. Якщо ж часткові відмови відбулися, то розпочинається плановий ремонт системи, який триває протягом періоду, що дорівнює сумі часу відновлення всіх елементів системи, які вийшли з ладу [2,3,4,5,6].

Припустимо, що час безвідмовної роботи всіх елементів ξ_i має експоненціальний розподіл з параметрами $\lambda_1^{(1)} \dots \lambda_m^{(1)}$ для елементів, які призводять до часткової відмови системи, і $\lambda_1^{(2)} \dots \lambda_n^{(2)}$ для елементів, які призводять до повної відмови системи. Інтенсивність відмов однозначно визначається за середнім часом безвідмовної роботи кожного з елементів:

$$\lambda_i^{(j)} = \frac{1}{E\xi_i^{(j)}} = \frac{1}{\mu_i^{(j)}}, \quad j = 1, 2; i = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Час відновлення кожного з елементів першої і другої груп також розподілений за експоненціальним законом з параметрами $\mu_i^{(1)}$ та середнім часом відновлення $T_i^{(2)}, i = 1, \dots, n$ для елементів першої групи, і параметрами $\mu_i^{(2)}$ та середнім часом відновлення $T_i^{(2)}, i = 1, \dots, n$ для елементів другої групи.

Середній час відновлення $T_i^{(j)} (j = 1, 2)$ вважається відомим [10,11].

Математичною моделлю функціонування даної системи є багатомірний марківський випадковий процес $\xi_{(t)}$

$$\xi_{(t)} = \left\{ \xi_1^{(1)}(t), \dots, \xi_m^{(1)}(t); \xi_1^{(2)}(t), \dots, \xi_n^{(2)}(t) \right\}, \quad (2)$$

де $\xi_i^{(j)}(t) (j = 1, 2)$ приймають значення 1 і 0, в залежності від того, чи знаходиться i -тий елемент в працездатному стані у момент t , чи цей елемент відмовив на момент t .

Таким чином, якщо всі $\xi_i^{(j)}$ приймають на момент t значення $\xi_i^{(j)} = 1$, то система на даний момент цілком працездатна. Якщо хоча б одна із величин $\xi_i^{(1)}, i = 1, \dots, n$ прийняла значення рівне нулю, то система знаходиться в стані часткової відмови. Якщо ж на момент часу t хоча б одна із величин $\xi_i^{(2)}, i = 1, \dots, n$ дорівнює нулю, то система знаходиться у стані повної відмови.

Відповідно до можливих станів, в системі передбачається три види ремонтних робіт:

- переналагодження системи, яке проводиться через кожні τ годин роботи системи у випадку, якщо за час τ не було ніяких відмов, і триває середній час $\Delta\tau$;
- плановий ремонт, який проводиться через τ годин роботи у випадку, якщо за час τ відбулася часткова відмова системи, при цьому середній час планового ремонту T_1 ;
- аварійний ремонт, який розпочинається відразу після повної відмови системи і середній час якого становить T_2 ;

Після закінчення переналагоджування, планового і аварійного ремонтів система цілком відновлюється і стає працездатною.

Процес $\xi_{(t)}$ є генеруючим процесом, а моменти регенерації є моментами, які попадають в працездатний стан l_0 . У зв'язку з цим, для визначення стаціонарних ймовірностей знаходження в кожному із станів, достатньо розглянути функціонування системи на одному з періодів регенерації. Позначимо через $\pi_{i_1}^{(1)}, \dots, \pi_{i_k}^{(1)}$ стаціонарну ймовірність знаходження системи у стані повної відмови, якщо відмовили елементи з номерами $i_1, \dots, i_k (k = 1, \dots, m)$, а через $\pi_{i_1}^{(2)}, \dots, \pi_{i_k}^{(2)}$ - стаціонарну ймовірність знаходження системи у стані повної відмови, якщо відмовив один із елементів другої групи $j = 1, \dots, n$ і k елементів першої групи $(i_1, \dots, i_k) \in (1, \dots, m), k = 1, \dots, m$.

В рамках дослідження надійності АКШО важливим є знаходження середнього часу повної працездатності системи, тобто часу до першої часткової чи повної відмови системи. Нехай випадкова величина γ_{k+1} відображає час повної працездатності системи при умові, що відмова відбудеться на $(k + 1)$ -му інтервалі регенерації; випадкова величина ξ - час після останнього переналагоджування до першої (любої) відмови [2, 5,6,7].

Оскільки процес $\xi_{(t)}$ є генеруючим, то розподіл випадкової величини ξ не залежить від номера інтервалу, на якому відбудеться перша відмова.

Ймовірність того, що на інтервалі регенерації не відбудеться ні однієї відмови становить

$$p_1 = e^{-\tau(\sum_{i=1}^m \lambda_i^{(1)} + \sum_{i=1}^n \lambda_i^{(2)})} = e^{-\tau\lambda}, \quad (3)$$

а ймовірність того, що відбудеться хоча б одна відмова

$$q_1 = 1 - p_1 = 1 - e^{-\tau\lambda}, \quad (4)$$

де

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i^{(1)} + \sum_{i=1}^n \lambda_i^{(2)} = \lambda_1 + \lambda_2. \quad (5)$$

Тоді за формулою математичного очікування отримаємо середній час повної працездатності системи

$$\begin{aligned} E\gamma &= \sum_{k=0}^{\infty} p_1^k q_1 E\gamma_{k+1} = \sum_{k=0}^{\infty} p_1^k q_1 \left[k(-\tau + \Delta\tau) + E\left(\frac{\xi}{\xi} < \tau\right) \right] = \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} p_1^k q_1 \left[k(\tau + \Delta\tau) + \frac{1}{q_1} \left(-\tau e^{-\lambda\tau} + \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda\tau}) \right) \right] = \\ &\quad \frac{p_1}{q_1} (\tau + \Delta\tau) + \frac{1}{\lambda} - \tau \frac{p_1}{q_1} = \frac{1}{\lambda} + \frac{p_1}{q_1} \Delta\tau. \end{aligned} \quad (6)$$

При оцінці надійності АКШО важливо також знаходження середнього часу роботи системи до першої повної відмови. Нехай випадкова величина $\tilde{\gamma}_k$ є часом роботи системи до першої повної відмови.

Випадкова величина $\tilde{\gamma}_{k+1}$ відображає час роботи системи до її першої повної відмови при умові, що відмова відбулася на $(k+1)$ -му інтервалі регенерації,

ξ - час після першого переналагоджування до повної відмови системи. При цьому розподіл випадкової величини ξ не залежить від номера інтервалу регенерації [2,6,7].

Ймовірність того, що на інтервалі регенерації не настане повної відмови, дорівнює

$$p_2 = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i^{(2)} \tau} = e^{-\lambda_2 \tau}. \quad (7)$$

За формулою повного математичного очікування і визначаємо середній час роботи системи до першої повної відмови:

$$\begin{aligned} E\tilde{\gamma} &= \sum_{k=0}^{\infty} p_2^k q_2 E\tilde{\gamma}_{k+1} = \sum_{k=0}^{\infty} p_2^k q_2 \left[k(\tau + \tilde{T}_1) + E\left(\frac{\xi}{\xi} < \tau\right) \right] = \\ &= \frac{p_2}{q_2} (\tau + \tilde{T}_1) + \frac{1}{\lambda_2} - \tau \frac{p_2}{q_2} = \frac{1}{\lambda_2} + \frac{p_2}{q_2} \tilde{T}_1 \end{aligned} \quad (8)$$

де середня тривалість відновлення \tilde{T}_1 при відсутності повної відмови системи дорівнює [3,7,8,9].

$$\tilde{T}_1 = \frac{1}{(\pi^{(0)} + \pi^{(1)})} (\pi^{(1)} T_1 + \pi^{(0)} \Delta\tau). \quad (9)$$

Системи оптимізації режимів металообробки для штампування обкочуванням

Загальні положення призначення та області застосування систем оптимізації режимів металообробки. Режими [8, 9, 10] металообробки можна оптимізувати, підбираючи оптимальне поєднання значень швидкості штампування обкочуванням (ШО) і подачі. Під такою оптимізацією розуміється управління режимами металообробки, що дозволяє отримати найбільший народногосподарський ефект з урахуванням всіх істотних зв'язків і обмежень. У загальному випадку принцип оптимальності формулюється так: визначити такі значення пошуку технологічних параметрів і відповідних їм значень регульованих координат електроприводів, які забезпечать максимальне (мінімальне) або гранично досяжне значення показника якості процесу металообробки при дотриманні обмежень по необхідній якості продукції і технологічних можливостей обладнання.

Якість функціонування системи металообробки ШО може бути в загальному випадку охарактеризовано функціоналом:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} f(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; z_1, z_2, \dots, z_m) dt, \quad (10)$$

де $x_i(t)$ - вихідні координати; $u_j(t)$ - керуючі впливи; $z_k(t)$ - збуджуючі впливи.

При оптимальному управлінні системою функціонал J досягає максимального (мінімального) значення, характеризуючи найкращу поведінку системи в динаміці (при вирішенні задачі динамічної оптимізації) або найкращі показники в сталому режимі (під час вирішення завдання статичної оптимізації).

При металообробці екстремального значенням функціоналу J відповідає оптимальне співвідношення між швидкістю знімання припуску і швидкістю зносу інструменту.

В результаті викладення матеріалів даного підpunkту необхідно знати критерії оптимізації режимів металообробки, вміти застосовувати алгоритми управління і складати математичний опис систем оптимізації верстатів та приставок.

Слід звернути увагу на принципи побудови автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУ ТП) і встановити їх відмінність від систем стабілізації технологічних параметрів.

Системи оптимізації режимів металообробки (АСУ МО) призначені для отримання максимальної

продуктивності або економічності при виготовленні деталей в межах заданих технічних умов. Виробляючи автоматичний вибір режиму металообробки і керуючи електроприводами головного руху і подач, ці системи забезпечують скорочення машинного часу обробки. Управління режимом металообробки передбачає вибір критерію оптимальності та визначення обмежуючих факторів. Побудова АСУ МО в цьому випадку призначене для пошуку та підтримки екстремального значення обраного критерію оптимальності при допустимих значеннях інших показників.

Підвищення продуктивності і гнучкості виробництва в даний час є найважливішою вимогою. Під гнучкістю виробництва розуміють швидкість оновлення інформації, яку необхідно переробити, щоб з вихідних матеріалів отримати готовий виріб. В АСУ МО виробляється і обробляється автоматичними пристроями частину цієї інформації.

Стійкою тенденцією сучасного верстатобудування, яке витікає із зазначеного вище, є впровадження пристроїв і систем, що забезпечують зниження витрат, а також можливість переходу до обробки деталі іншої форми і інших технологічних характеристик [8, 9, 11,14].

Застосування АСУ МО економічно доцільно в тих випадках, коли вибір режиму металообробки істотно впливає на її собівартість, на продуктивність (машинний час), наприклад при обробці жароміцних і загартованих сталей, сплавів і тугоплавких металів. Чим вище ступінь автоматизації електро-верстата, (приставки), тим ефективніше на ньому застосування АСУ МО. Особливо актуально застосування АСУ МО в верстатах, оснащених пристроями числового програмного управління (ЧПУ) типу систем автоматизованого проектування (CNC). Завдання побудови АСУ МО в таких верстатах спрощується у зв'язку з можливістю використання вже наявних у них регульованих електроприводів, датчиків і комп'ютерів.

Висновки

Автоматична заміна оснащення штампувально-обкочувального комплексу дозволяє суттєво скоротити час підготовки і налагоджування, що при частій заміні оснащення у малосерійному виробництві є досить актуальним. Зокрема, застосування автоматизованої системи заміни матриць з допомогою маніпулятора дозволяє скоротити час переналагоджування з 30-40 хв. до 2-3 хв.

Отримано залежності для оцінки надійності автоматизованого комплексу штампування обкочуванням шляхом визначення таких ймовірнісних величин, як середній час повної працездатності системи та середній час роботи системи до першої повної відмови.

Таким чином, «Дослідження надійності автоматизованого комплексу штампування обкочуванням» має систематизувати та узагальнити ключові результати дослідження, підкреслити їхню важливість для практики та вказати напрямки подальших досліджень у цій області.

Література

1. Штуть А.А. Удосконалення процесів штампування обкочуванням на основі моделювання механіки формоутворення заготовок: Дисертація 2024 (271) с.
2. Matvijchuk, V., Shtuts, A., Kolisnyk, M., Kupchuk, I., Derevenko, I. Investigation of the tubular and cylindrical billets stamping by rolling process with the use of computer simulation. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 66, № 1. P. 51-58. [in Hungary].
3. Lebedev A. A., Mikhalevich V. M. On the Choice of Stress Invariants in Solving. *Problems of Mechanics. Strength of Materials* N 35 (3) , Plenum Publishing Corporation (USA), May - June, 2003, 217-224. [in USA].
4. Shtuts A., Kolisnyk M., Vydmysh A., Voznyak O., Baraban S., Kulakov P. Improvement of Stamping by Rolling Processes of Pipe and Cylindrical Blades on Experimental Research. *Actual Challenges in Energy & Mining*. 2020. Vol. 844. P.168-181. [in Switzerland].
5. Aliev I., Zhbankov Y., Martynov S. Forging of shafts, discs and rings from blanks with inhomogeneous temperature field. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 51 (4). 2016. pp. 393-400.
6. Матвійчук В. А. Розвиток енерго- і ресурсозберігаючих технологій заготівельного виробництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 4 (119). С. 110-119.
7. Матвійчук В.А., Михалевич В. М., Колісник М.А. Оцінка деформовності матеріалу заготовок при прямому і зворотному витискуванні методом штампування обкочуванням. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. №1(104). С. 81-91.
8. Матвійчук В. А. Михалевич В. М. Розвиток процесів локального деформування: Теорія і практика обробки матеріалів тиском. АТ «Мотор Січ» *Монографія*: 2016. С. 339-363.
9. Mikhalevich V. M., Lebedev A. A., Dobranyuk Y.V. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression. *Strength of Materials*. Volume 43, Number 6 (2011). P. 591-603.
10. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні. Вінниця: ВНТУ *Монографія.*, 2013. – 180 с. ISBN 978-966-641-532-8.
11. Михалевич В. М., Добранюк Ю. В., Краєвський О. В. Порівняльне дослідження моделей граничних пластичних деформацій. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. – № 2(8). С. 56-64.
12. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*. 2020. pp. 440-445.

13. Sheykin S.Y., Grushko O.V., Melnichenko V.V., Studenets S.F., Rostotskiy I.Y., Iefrosinin D.V., Melnichenko Y.V. On the Contact Interaction between Hard-Alloy Deforming Broaches and a Workpiece during the Shaping of Grooves in the Holes of Tubular Products. *Journal of Superhard Materials*, 43 (3). 2021. pp. 222-230.

14. Shapoval A., Savchenko I., Markov O. Determination coefficient of stress concentration using a conformed display on a circle of a single radius. *Solid State Phenomena*, 316 SSP. 2021. pp. 928-935.

15. Возняк О.М., Штуць А.А., Колісник М.А. Сучасні системи електроприводів. Теорія та практика (частина 1): навч. посіб. Вінницький національний аграрний університет. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ». 2021. 280 с.

References

1. Stuts A.A. Improvement of rolling stamping processes on the basis of modeling of the mechanics of forming blanks. Dissertation 2024 (271) p. [in Ukrainian].
2. Matvijchuk, V., Shtuts, A., Kolisnyk, M., Kupchuk, I., Derevenko, I. Investigation of the tubular and cylindrical billets stamping by rolling process with the use of computer simulation. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2022. Vol. 66, № 1. P. 51-58. [in Hungary].
3. Lebedev A. A., Mikhalevich V. M. On the Choice of Stress Invariants in Solving. *Problems of Mechanics. Strength of Materials* N 35 (3), Plenum Publishing Corporation (USA), May - June, 2003, 217-224. [in USA].
4. Shtuts A., Kolisnyk M., Vydmysh A., Voznyak O., Baraban S., Kulakov P. Improvement of Stamping by Rolling Processes of Pipe and Cylindrical Blades on Experimental Research. *Actual Challenges in Energy & Mining*. 2020. Vol. 844. P.168-181. [in Switzerland].
5. Aliev I., Zhbakov Y., Martynov S. Forging of shafts, discs and rings from blanks with inhomogeneous temperature field. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 51 (4). 2016. pp. 393-400. [in Ukrainian].
6. Matvijchuk V. A. Development of energy- and resource-saving technologies of procurement production. *Technology, energy, transport of agricultural industry*. 2022. No. 4 (119). P. 110-119.
7. Matvijchuk V.A., Mikhalevich V.M., Kolisnyk M.A. Evaluation of the deformability of the material of the blanks during direct and reverse extrusion by the rolling stamping method. *Vibrations in engineering and technology*. 2022. No. 1(104). P. 81-91. [in Ukrainian].
8. Matvijchuk V. A. Mikhalevich V. M. Development of processes of local deformation: Theory and practice of processing materials by pressure. *JSC "Motor Sich" Monograph*: 2016. P. 339-363. [in Ukrainian].
9. Mikhalevich V. M., Lebedev A. A., Dobranyuk Y.V. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression. *Strength of Materials*. Volume 43, Number 6 (2011), P. 591-603. [in Ukrainian].
10. Mikhalevich V. M., Dobranyuk Yu. V. Modeling of the stress-strain and limit states of the surface of cylindrical samples under end compression. *Vinnytsia: VNTU Monograph*, 2013. – 180 p. ISBN 978-966-641-532-8. [in Ukrainian].
11. Mikhalevich V. M., Dobranyuk Yu. V., Kraevsky O. V. Comparative study of models of limit plastic deformations. *Herald of mechanical engineering and transport*. 2018. – No. 2(8). P. 56-64. [in Ukrainian].
12. Belokon Y., Yavtushenko A., Protsenko V., Bondarenko Y., Cheilytko A. Mathematical modeling of physical properties of anisotropic materials. *METAL 2020 - 29th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings*. 2020. pp. 440-445. [in Ukrainian].
13. Sheykin S.Y., Grushko O.V., Melnichenko V.V., Studenets S.F., Rostotskiy I.Y., Iefrosinin D.V., Melnichenko Y.V. On the Contact Interaction between Hard-Alloy Deforming Broaches and a Workpiece during the Shaping of Grooves in the Holes of Tubular Products. *Journal of Superhard Materials*, 43 (3). 2021. pp. 222-230. [in Ukrainian].
14. Shapoval A., Savchenko I., Markov O. Determination coefficient of stress concentration using a conformed display on a circle of a single radius. *Solid State Phenomena*, 316 SSP. 2021. pp. 928-935. [in Ukrainian].
15. Vozniak O.M., Shtuts A.A., Kolisnyk M.A. Modern systems of electric drives. Theory and practice (part 1): teaching. manual Vinnytsia National Agrarian University. Vinnytsia: "TVORY" LLC. 2021. 280 p. [in Ukrainian].