

Фадєєв Андрій Валерійович, докторант кафедри Технології машинобудування та металорізальних верстатів, +38(067)570-58-10, fan17@gmail.com

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002*

Набока Олена Володимирівна, к.т.н., професор кафедри Технології машинобудування та металорізальних верстатів, +380(50)986-50-27, Olena.V.Naboka@khpі.edu.ua

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, Харків, Україна, 61002*

ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ТА ТЕХНІЧНІ ДОКУМЕНТИ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ РЕВЕРСИВНОМУ ІНЖИНІРИНГУ

***Анотація.** Розглянуто основні принципи організації та технологічної підготовки машинобудівного виробництва відновлення деталей машин при реверсивному інжинірингу, етапи проектування та сучасні засоби технологічних процесів, що забезпечать якість відновлення деталей та знижувати трудомісткість.*

***Ключові слова:** технологія, відновлення, проектування, реверсивний інжиніринг.*

Fadieiev Andrii, doctoral student, Department of «Technology of Mechanical Engineering and Metal-Cutting Machine Tools», +38(067)570-58-10, fan17@gmail.com

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

2 Kirpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002

Naboka Olena, Candidate of Technical Sciences, professor Department of «Technology of Mechanical Engineering and Metal-Cutting Machine Tools», +380(50)986-50-27, Olena.V.Naboka@khpі.edu.ua

Olena.V.Naboka@khpі.edu.ua

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

2 Kirpychova St., Kharkiv, Ukraine, 61002

TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION AND TECHNICAL DOCUMENTS FOR THE RESTORATION OF MACHINE PARTS IN REVERSE ENGINEERING

***Abstract.** The main principles of organization and technological preparation of machine-building production for the restoration of machine parts during reverse engineering, design stages and modern means of technological processes that will ensure the quality of the restoration of parts and reduce labor intensity are considered.*

***Keywords:** technology, restoration, design, reverse engineering.*

Постановка проблеми. Процес відновлення деталей – складне конструкторсько-технологічне завдання. Особливої ваги набувають питання

технологічної підготовки виробництва, ремонтні креслення та технологічні документи, які забезпечать:

- розробку конструкторсько-технологічної документації;
- проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення;
- визначення потреби в устаткуванні;
- визначення альтернативи існуючим процесам відновлення деталей (методи адитивного виробництва, реверсивний інжиніринг).

Аналіз основних досліджень та публікацій. Аналіз існуючих досліджень свідчить про значну увагу до вирішення актуальної задачі відновлення деталей машин з урахуванням класичних схем обробки матеріалів, а також прогресивних методів з використанням енерго-ефективних технологій.

Теоретичним та методичним основам відновлення деталей присвячені праці таких вчених: О. Пермяков, О. Набока, Ю. Харламов, М. Зенкін, Ю. Тимофеев, А. Грабченко, В. Залога, М. Кундрак, М. Хорват та інші.

Незважаючи на відомі праці науковців, присвячених темі дослідження, розроблені методи потребують подальшого розвитку та вдосконалення.

Мета дослідження. Метою дослідження є забезпечення технічної та організаційної готовності підприємства до відновлення деталей необхідної якості, з урахуванням сучасного розвитку інформаційних технологій, можливості створення 3D-моделі за рахунок 3D-сканування, що значно спрощує процес виготовлення деталей.

Матеріали та методи. Інформаційно-фактологічну базу дослідження становили дані наукових та інформаційних матеріалів, сучасних досягнень у технології машинобудування щодо відновлювальних деталей машин.

Викладення основного матеріалу. На базі системного аналізу організаційно-технологічних особливостей реноваційних галузей виробництва, особливостей та переваг реверсивного інжинірингу, як сучасного потужного інструменту створення ефективних технологічних процесів, базується технологічна підготовка відновлення зношених деталей при реверсивному інжинірингу.

Метою технологічної підготовки виробництва – є забезпечення повної технологічної готовності підприємства до відновлення визначеної номенклатури деталей необхідної якості.

Технологічна підготовка складає комплекс задач, які можна розділити на групи:

1. забезпечення придатності деталей до відновлення;
2. розробка нормативно-технічної документації;
3. розробка ремонтних креслень і технологічних процесів;
4. проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення;
5. організація і керування процесом технологічної підготовки.

Основними показниками придатності деталей до відновлення є трудомісткість відновлення і витрати з обліком додаткових кінцевих витрат на реалізацію процесу.

Технічними показниками придатності деталей до відновлення є:

- застосування ремонтних розмірів і змінних елементів;
- наявність і стабільність технологічних баз, мінімальна кількість перевстановлень деталі при механічній обробці в процесі відновлення;
- наявність устаткування й оснащення для реалізації процесу відновлення;
- кількість типових поверхонь на деталі і їхній взаємозв'язок;
- кількість дефектів деталі в цілому і їхня повторюваність та ін.

У результаті рішення задач 2 групи розробляють наступну нормативно-технічну документацію:

- номенклатуру відновлюваних деталей;
- нормативи обсягів відновлюваних деталей;
- норми часу, витрати матеріалів;
- нормативи потреби устаткування, пристосувань і інструментів;
- нормативи собівартості або ціни на відновлення.

До задач 5 групи відноситься складання перспективних і поточних планів розвитку виробництв галузі. Відповідно до плану створюють типові проекти

виробництв, забезпечують ці виробництва засобами технологічного оснащення, підготовлюють кадри, впроваджують систему керування якістю.

Засоби технологічного оснащення

Засоби технологічного оснащення створюють для забезпечення виконання операцій технологічного процесу.

Класифікація засобів технологічного оснащення за технологічною ознакою представлена у вигляді блок-схеми (рис. 1).

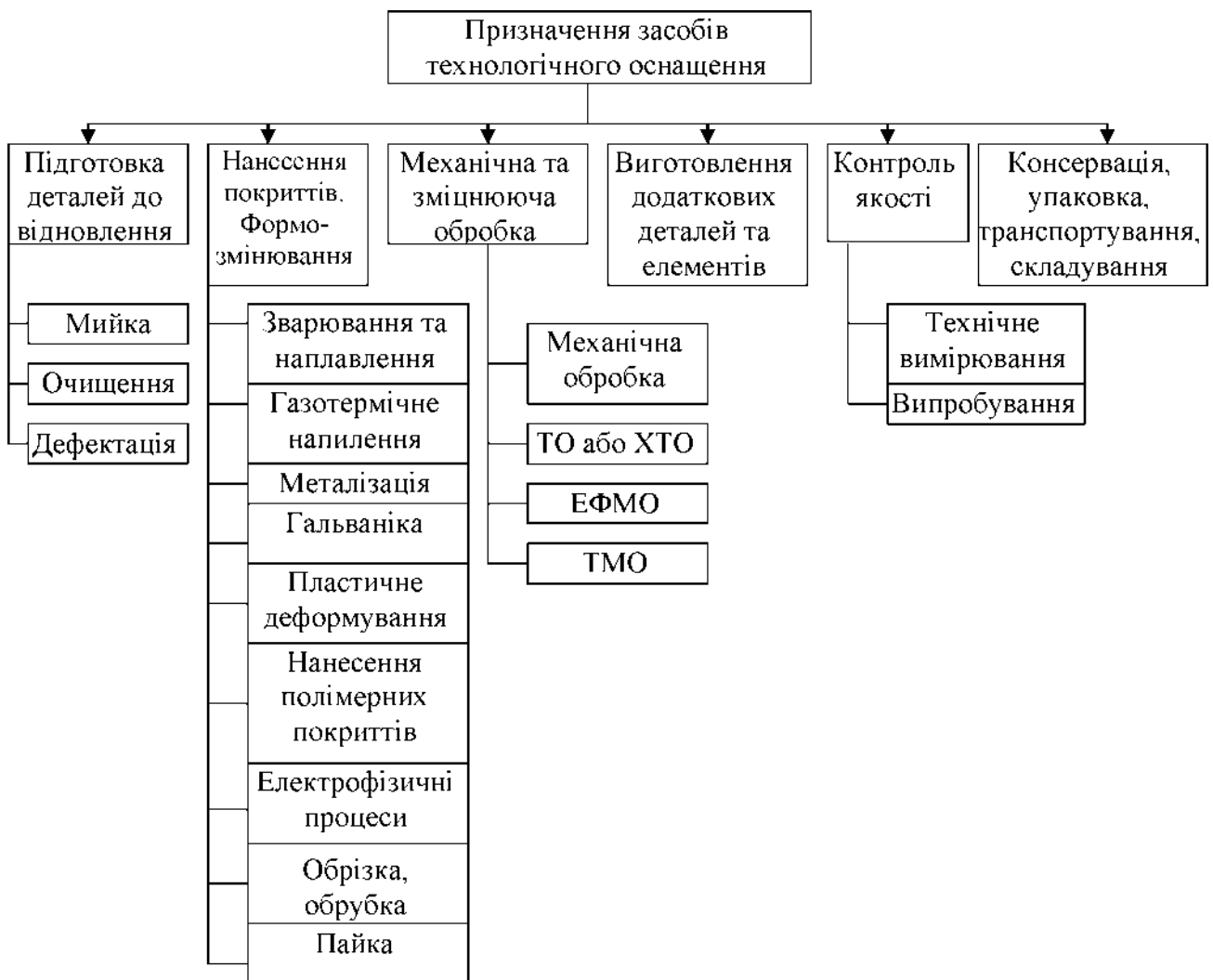


Рисунок 1 – Класифікація засобів технологічного оснащення за технологічною ознакою

Технологічна документація

Первинним документом є ремонтне креслення.

Ремонтне креслення – є конструкторським документом, що розробляють на

підставі робочих креслень на виготовлення деталей.

Порядок розробки, узгодження, затвердження і реєстрація ремонтних креслень встановлюють стандарти.

Ремонтні креслення розробляються в дві стадії: для дослідного відновлення і для серійного відновлення деталей.

Порядок розробки, узгодження і затвердження технологічних документів на відновлення деталей встановлює стандарт, а комплектність технологічної документації визначена РТМ 70.0001.026-81.

До технологічної документації відносяться:

1. Маршрутна карта, у якій описується весь процес у технологічній послідовності виконання операцій.

У МК указують технологічне оснащення, що застосовується на операціях у наступній послідовності: пристосування, допоміжний інструмент, різальний інструмент, слюсарно-монтажний інструмент, спеціальний інструмент, засоби вимірювальної техніки.

2. Операційна карта призначена для опису технологічної операції з вказівкою послідовності виконання переходів, даних про засоби технологічного оснащення, технологічних режимах і трудовитратах.
3. Карта типової (групової) операції призначена для опису типової (групової) технологічної операції з вказівкою послідовності виконання переходів і загальних даних про технологічне оснащення і режими.
4. Карта ескізів – графічний документ, що містить ескізи, схеми і таблиці. Призначений для пояснення технологічного процесу, або операцій переходу, включаючи контроль і переміщення.

Інші документи також оформляють відповідно до стандарту.

5. Відомість деталей до типового технологічного процесу або операції.
6. Відомість технологічних документів.

Аналіз технічних вимог креслення, виявлення технологічних завдань і умов відновлення деталей

Розробка технологічного процесу відновлення починається з детального

вивчення робочого креслення деталі і умов її роботи у виробі складальної одиниці. Деталь входить складовою частиною у виріб, і її розміри є ланками складальних розмірних ланцюгів або роблять вплив на характеристики якості складальних з'єднань.

Робоче креслення повинне давати повне уявлення про деталь, мати достатню кількість проєкцій, розрізів і видів; розміри усіх поверхонь з допусками на їх виконання; технічні вимоги за формою і розташуванню поверхонь, а також за їх специфічними властивостями (наприклад, твердості поверхневого шару і його глибини). Креслення по оформленню повинне відповідати стандартам.

Технічні вимоги на виготовлення деталі містять: граничні відхилення розмірів і шорсткості поверхонь; допуски форми, площинності, некруглості і профілю перерізу; допуски розташування, паралельності площин, співвісності шийок валу, симетричності профілю перерізів; вид термічної обробки і твердість робочих поверхонь, вид покриття; специфічні властивості (необхідність балансування, допустиму нерівноважність).

Аналіз якості поверхневого шару і точності розмірів форми і розташування поверхонь, а також інших вимог до деталі припускає розгляд їх з наступних позицій:

1. Обґрунтованість призначення вимог, виходячи з експлуатаційних умов, характеристик машини або складальної одиниці (тобто встановлюють, чи не завищені ці вимоги при створенні конструкції деталі);

2. Можливість досягнення заданої точності і якості, інших технічних вимог відомими і наявними на підприємстві технологічними методами нанесення покриттів, модифікування поверхонь і механічної обробки;

3. Можливість перевірки виконання призначених робочим кресленням вимог до поверхонь відомими методами контролю (для вимог по розташуванню поверхонь розробляють схеми їх контролю).

При розгляді технічних вимог виявляють технологічні завдання відновлення цієї деталі. Для цього виділяють найбільш відповідальні поверхні, сукупність вимог до яких визначає завершальні методи і маршрут обробки, необхідне

технологічне устаткування. Специфічні вимоги до відновлення деталі вимагають наявності в маршруті обробки відповідних операцій (наприклад, операцій по динамічному балансуванню деталі). Аналіз технічних вимог по розташуванню осей отворів, площин і інших поверхонь деталей встановлює технологічні завдання по вибору поверхонь заготівлі для базування при обробці, схем базування і закріплення заготовок в операціях, схем виконання обробки заданого профілю деталі, а також типів пристосувань і різальних інструментів.

Розробка технологічного процесу для існуючих виробництв припускає ретельне вивчення умов роботи підприємства. Встановлюють наявність виробничих площ, на яких розміщено устаткування, необхідне для відновлення і зміцнення заданих деталей; визначають можливості модернізації технологічного устаткування і розширення виробничих площ для збільшення обсягів випуску виробів; з'ясовують можливості діючого підприємства по застосуванню нових технологічних методів усунення дефектів і механічної обробки поверхонь заготовок, прогресивного різального і допоміжного інструменту.

Для існуючого виробництва, за технологічними класифікаторами заготовок, аналізують можливість відновлення даної деталі по діючим на підприємстві типовим і груповим технологічним процесам. Якщо такої можливості немає, то після проведення переліченої вище підготовчої роботи технолог приступає до розробки одиничних технологічних процесів.

Детальність розробки технологічних процесів залежить від типу виробництва. Розрізняють маршрутний, маршрутно-операційний і операційний опис технологічного процесу.

Визначення типу виробництва і методу роботи

Встановлення типу виробництва потрібне при розробці технологічного процесу для нових виробництв або заводів. В умовах масового і серійного виробництв розмір програми випуску виробу служить основою для встановлення такту, або ритму випуску продукції, що забезпечує виготовлення заданої програми в строк.

На початковому етапі проектування тип виробництва можна визначити лише

орієнтовно. При проектуванні механічних цехів і ділянок виготовлення або ремонту деталей можна керуватися даними таблиці 1. При відомій річній програмі по кресленню деталі оцінюють розміри виробу, що у результаті дозволяє орієнтовно вибрати тип виробництва заданої продукції.

Таблиця 1 – Кількість деталей одного найменування і типорозміру, що виготовляються в рік, для різних виробництв

Тип виробництва	Великі вироби важкого машинобудува	Вироби середніх розмірів	Дрібні вироби
Одиничне	<5	<10	<100
Дрібносерійне	5...100	10...200	100...500
Середньосерійне	100...300	200...500	500...5000
Багатосерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
Масове	1000	5000	50000

Серійність виробництва оцінюють також по коефіцієнту закріплення операцій K_{30} , значення якого обчислюють за формулою

$$K_{30} = O/P,$$

де O – кількість всіх технологічних операцій, виконаних або призначених до виконання в продовж місяця; P – кількість робочих місць.

За значенням K_{30} , розрахованому за формулою, можна прийняти рішення про тип виробництва. Якщо, наприклад, K_{30} лежить в межах від 1 до 2, то орієнтовно можна прийняти масове виробництво. Для багатосерійного виробництва $1 < K_{30} < 10$; для середньо серійного $10 < K_{30} < 20$, для дрібносерійного $20 < K_{30} < 40$.

Рішення за типом виробництва, встановлене за допомогою коефіцієнта K_{30} , порівнюють з типом виробництва, обраним за табл. 1. При неспівпадінні рішень слід прийняти тип виробництва, обраний за коефіцієнтом закріплення операцій.

Сучасні підходи до ремонту і відновлення деталей у машинобудуванні передбачають застосування методів реверсивного інжинірингу з використанням математичної моделі опису геометрії зношених деталей.

Концепція технологічного забезпечення передбачає розробку базової моделі технологічного циклу з цифровими двійниками, які використовуються при

гібридних процесах відновлення деталей.

Сучасна практика відновлення у машинобудуванні та, особливо, в аерокосмічній індустрії – це гібрид традиційних технологій та нового покоління адитивних і безтермічних методів. Впровадження адитивних методів дає змогу скорочувати час простою, зменшувати потребу в запасних частинах, виконувати локальні ремонти, відновлення геометрії.

Висновки. Можливість відновлення деталей на спеціалізованих дільницях серійного або масового типу виробництва забезпечує ефективність ремонту та доцільність відновлення деталей. Гібридні технології – найефективніший шлях для відновлення високоточних деталей: дають баланс швидкості, економії та якості.

БІБЛОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Пермяков О. А. Реверсивний інжиніринг зношених деталей як альтернатива процесів їх відновлення / Пермяков О. А., Яковенко І. Е. // Нові технології в машинобудуванні : матеріали тридцять третьої всеукр. конф., 4–7 вересня 2023/ Харків/ Україна : зб. наук. праць / Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». Харків : Видавництво Іванченка І. С., 2023. С. 48–50. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/78929>
2. Попов О. В. Технологічний реінжиніринг промислових підприємств / Монографія / Пер.з англ.; Пер.з рос.: О. В. Попов. Видавництво Харків : вид. «Центр поліграфії» м. Харків, пр. Науки, 7. e-mail nauki007@gmail.com, тел. 702-13-88, 2022. 251 арк., укр.(11,4 авт.арк.)
3. Фадеев В. А. Синтез технологических систем механической обработки. Харків : НТУ «ХПИ», 2007. 187с.
4. Demirkan H., Spohrer J. C., Welser J. J. Digital Innovation and Strategic Transformation. *IT Professional*. 2016:14–18. URL: <https://doi.org/10.1109/MITP.2016.115>.
5. [Електронний ресурс.] Джерело інформації: <http://upr-search.com.ua/44-promyshlennost-ukrainy-obshhiy-vzglyad.html>
6. Національна стратегія Індустрії 4.0, АППАУ. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-zrozvinito-yu-sifrovo-yu-ekonomiko-yu.html> (дата звернення: 12.01.2022).
7. Перспективи розвитку реверсивного інжинірингу в машинобудівній галузі / І. Е. Яковенко [та ін.] // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry : col. of sci. papers. Харків : НТУ «ХПИ», 2025. № 1 (11). С. 89–97. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/91809>

REFERENCES:

1. Permiakov O. A. Reversyivnyi inzhynirynh znoshenykh detalei yak alternatyva protsesiv yikh vidnovlennia / Permiakov O. A., Yakovenko I. E. // Novi tekhnolohii v mashynobuduvanni : materialy trydtsiat tretoi vseukr. konf., 4–7 veresnia 2023. Kharkiv. Ukraina : zb. nauk. prats / Natsionalnyi

- aerokosmichniy universytet im. M. Ye. Zhukovskoho «KhPI». Kharkiv : Vydavnytstvo Ivanchenka I. S., 2023. S. 48–50. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/78929>
2. Popov O.V. Tehnologichnij reinzhiniring promislovih pidpriyemstv / Monografiya / Per.z angl.; Per.z ros.: O .V. Popov. Vidavnictvo Harkiv : vid. «Centr poligrafii» m. Harkiv, pr. Nauki, 7, e-mail nauki007@gmail.com, tel. 702-13-88, 2022. 251 ark., ukr.(11,4 avt. ark.)
3. Fadeev V. A. Sintez tehnologicheskikh sistem mehanicheskoy obrabotki / V. A. Fadeev // Harkov : NTU «HPI», 2007. 187 s.
4. Demirkan H., Spohrer J. C., Welser J. J. Digital Innovation and Strategic Transformation. IT Professional. 2016:14–18. URL: <https://doi.org/10.1109/MITP.2016.115>.
5. [Elektronnij resurs.] Dzherelo informaciyi: <http://upr-search.com.ua/44-promyshlennost-ukrainy-obshhij-vzglyad.html>
6. Nacionalna strategiya Industriyi 4.0, APPAU. URL: <https://strategy.uifuture.org/kraina-zrozvnutoyu-cifrovoyu-ekonomikoyu.html> (data zvernennya: 12.01.2022).
7. Perspektyvy rozvytku reversyvnogo inzhynirynhu v mashynobudivnii haluzi / I. E. Yakovenko [ta in.] // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Tekhnolohii v mashynobuduvanni : zb. nauk. pr. // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry : col. of sci. papers. Kharkiv : NTU «KhPI», 2025. № 1 (11). S. 89–97. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/91809>.

Стаття надійшла до редакції: 14.02.2026; рецензування: 25.02.2026;

прийнята до публікації 05.03.2026. Автори прочитали і дали згоду рукопису.

The article was submitted on 14.02.2026; revised on 25.02.2026; and accepted for publication on 05.03.2026. The authors read and approved the final version of the manuscript.