

3. Балака М. М., Кім А. О., Міщук Д. О., Ходневич М. М. Особливості робочого циклу і організації скреперних робіт. *Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України: тези доповідей Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (23–24 верес. 2021 р., м. Київ)*. К.: НУБіП, 2021. С. 16–18.

4. Balaka M., Gorbatyuk Ie., Mishchuk D., Prystailo M. Characteristic properties of support surfaces for self-propelled scrapers motion. *Fundamental and applied research in the modern world: Abstracts of the 6th International scientific and practical conference (January 20–22, 2021)*. BoScience Publisher. Boston, USA, 2021. Pp. 53–58. ISBN 978-1-73981-124-2. URL: <https://sci-conf.com.ua/vi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-fundamental-and-applied-research-in-the-modern-world-20-22-yanvarya-2021-goda-boston-ssha-arhiv/> (дата звернення: 31.03.2023).

5. Балака М. М., Педоряка М. В. Сучасні тенденції розвитку скреперного обладнання. *Енергоощадні машини і технології: тези доповідей II Міжнар. наук.-техн. конф. (29 верес. – 01 жовт. 2015 р., м. Київ)*. К.: КНУБА, 2015. С. 59.

6. Горбатюк Є. В., Волянчук В. О., Терентьев О. О., Свідерський А. Т. Проектування металоконструкцій будівельних машин. К.: Компринт, 2021. 283 с.

УДК 621.9:004.9

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ СКЛАДАННІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Д.О. Прищеп¹, Є.Ю. Щербина², В.А. Дербаб³

¹студент групи 131м-22н-1, e-mail: pryshchepa.d.o@nmu.one

²аспірант групи 131А-21-2, e-mail: shcherbyna.y.y@nmu.one

³кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: derbaba.v.a@nmu.one

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі виконується розв'язання науково-технічної задачі, пов'язаної з технологічним забезпеченням високопродуктивної механічної обробки деталі з чавуна шляхом оптимізації режимних параметрів та управління її оброблюваністю інструментом з твердих сплавів на багатоцільових верстатах з ЧПК за умов використання CAD-CAM систем.

Ключові слова: точіння, верстат, чавун, інструментальний матеріал, технологія, стійкість, ріжучий інструмент, режими різання, CAD, CAM.

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE MODE PARAMETERS OPTIMIZATION WHEN ASSEMBLING THE MECHANICAL PROCESSING AUTOMATED TECHNOLOGY ON MACHINES WITH CNC

Dmytro Pryshchep¹, Evhen Shcherbyna², Vitalii Derbaba³

¹Student of group 131м-22н-1, e-mail: pryshchepa.d.o@nmu.one

²Postgraduate student of group 131A-21-2, e-mail: shcherbyna.y.y@nmu.one

³Ph.D., Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Materials Science, e-mail: derbaba.v.a@nmu.one

^{1,2,3}Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper deals with solving a scientific and technical problem related to the technological support of high-performance machining of a cast iron part by optimizing the operating parameters and controlling its machinability with a hard-alloy tool on multi-axis CNC machines using CAD-CAM systems.

Keywords: turning, machine, cast iron, tool material, technology, stability, cutting tool, cutting modes, CAD, CAM.

Вступ. Сьогодні без комп'ютерної автоматизації вже неможливо виробляти сучасну складну техніку, що вимагає високої точності. У всьому світі відбувається різке зростання комп'ютеризації на виробництві та в побуті. Впровадження комп'ютерних і телекомунікаційних технологій підвищує ефективність і продуктивність праці.

В сьогоднішній спостерігається швидкий розвиток систем автоматизованого проектування (САПР) в таких галузях, як авіабудування, автомобілебудування, важке машинобудування, архітектура, будівництво, нафтогазова промисловість, картографія, геоінформаційні системи, а також у виробництві товарів народного споживання, наприклад побутової електротехніки. [1, 2]. САПР в машинобудуванні використовується для проведення конструкторських, технологічних робіт, у тому числі робіт з технологічної підготовки виробництва. За допомогою САПР виконується розробка креслень, проводиться тривимірне моделювання виробу та процесу складання, проектується допоміжна оснастка, наприклад штампи і прес-форми, складається технологічна документація та керуючі програми (КП) для верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), складається база даних. Сучасні САПР, САМ системи застосовуються для наскрізного автоматизованого проектування, технологічної підготовки, аналізу і виготовлення виробів в машинобудуванні, для електронного управління технічною документацією.

САМ системи були створені і тепер набули широкого поширення. Однак, на жаль, першими розробниками таких систем були фахівці з програмування, накреслювальної геометрії та, в останню чергу, фахівці з металообробки. В результаті такі системи блискуче вирішують завдання проектування формоутворюючих рухів для виготовлення поверхонь майже будь-якої складності, але не враховують, що така поверхня утворюється на верстаті в результаті процесу різання, який має силові, температурні збурення, знос інструменту і т.п. Склалася ситуація, коли з боку обладнання

з'явилися можливості управління процесом різання у широкому діапазоні, а з боку САМ систем такі можливості ігноруються чи просто не використовуються. Така суперечність є рушійною силою подальшого розвитку металообробки різанням, теорії різання [3].

Мета роботи і постановка задачі. Оптимальним управлінням вважатимемо такий вплив на процес різання, що у кожний час забезпечує максимум продуктивності (мінімум собівартості) при задоволенні всім умовам обмежень. У цьому розумінні завдання оптимізації є однокритеріальною і може бути вирішена класичними методами нелінійного програмування, тобто можуть бути однозначно визначені оптимальні керуючі дії. Під керуючими впливами зазвичай розуміють подовжню подачу на оборот заготівлі та швидкість різання, а глибину різання вважають головним обуренням. Таким чином, теоретично, для заданих умов токарної обробки існують такі постійні значення поздовжньої подачі на оборот заготівлі та швидкості різання, що призводять до максимуму продуктивності. Однак, на практиці, при виконанні будь-якого процесу різання жоден із його параметрів не залишається постійним. Це визначається безперервною зміною, як зовнішніх збурень, і характеристик самої технологічної обробної системи (ТОС) [4].

В кожний момент часу процесу підтримки його вихідних характеристик оптимальному рівні необхідно безупинно визначати нові оптимальні величини керуючих впливів та діяти ними на процес різання. Таким чином, оптимальне управління має бути перманентним, враховувати змінні умови різання та виконуватися автоматично. Для задоволення таким вимогам найбільше підходять САУ, які керують подачею, швидкістю різання, а іноді і глибиною різання [5].

Щодо практичного застосування процесу оптимізації. Необхідно проаналізувати креслення досліджуемого виробу та матеріал з якого планується його виготовляти. Проаналізувати конструкцію деталі на технологічність за якісними і кількісними показниками та надати характеристику об'єкту виробництва.

Потрібно виконати тривимірну модель в САД-системі, яка слугуватиме цифровим еталоном для подальшої її механічної обробки в САМ-системі та розрахунку керуючої програми для верстата з ЧПК.

Отримані результати оптимізованих режимів різання при точінні підставити до інтерфейсу спеціалізованої інженерної програми та отримати оптимальну керуючу програму (NC-файл) для верстата з ЧПК.

Основна частина. Основні труднощі реалізації оптимального управління за допомогою замкнутої системи автоматизованого управління (САУ) обумовлені принциповою неможливістю створення вимірювального

приладу продуктивності або собівартості, щоб застосовувати його як датчик зворотного зв'язку. Тому оптимально керувати процесом різання можна тільки на основі оцінки допоміжних параметрів, пов'язаних з необхідним критерієм оптимальності відповідної апріорної математичної моделі.

У сучасних САУ-системах технологічної підготовки виробництва найбільш раціональним є оптимальне керування, яке реалізовано програмними засобами. Взагалі, для оцінки обурень та отримання інформації про фактичний хід процесу різання в САУ оптимального управління застосовують різноманітні підходи, що ґрунтуються на непрямому вимірі припуску, температура зони різання, темпи зношування інструменту. Найбільш близьким до запропонованої САУ є метод, який оцінює процес за поточним значенням перерізу шару припуску, що зрізається [1, 2].

Тому програмне забезпечення САУ оптимального управління має мати таку структуру (рис. 1).

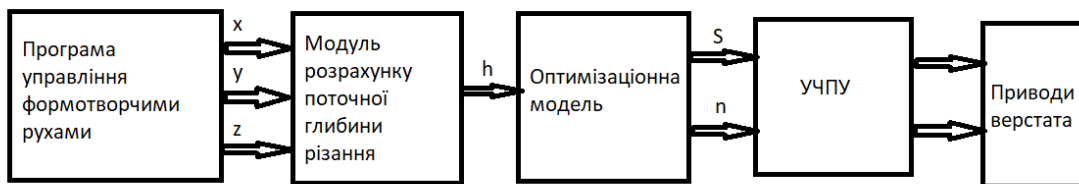


Рис. 1. – Структура САУ оптимального управління

Первинна інформація про хід процесу різання, крім констант, які вводяться раніше, виходить з модуля розрахунку поточної глибини різання, який пов'язаний із програмою управління формоутворюючими рухами. далі, Відповідно до оптимізаційної математичної моделі процесу різання визначаються оптимальні величини керуючих впливів (наприклад, подачі та швидкості різання). Розраховані таким чином величини надходять на модуль програмного управління, який виробляє команди відповідних приводів верстата.

Таким чином, основною такою САУ оптимізації процесу різання є його оптимізаційна математична модель, яка пов'язує критерій оптимізації з керуючими впливами-подачі та швидкістю різання. В результаті вирішення задачі оптимізації знаходять керуючий вплив, який забезпечує максимум продуктивності або мінімум собівартості при безумовному виконанні вимог обмежень щодо якості обробки. Крім традиційних критеріїв оптимізації (продуктивність та собівартість) залежно від результатів техніко-економічного аналізу застосовують критерій максимальної інтенсивності зняття припуску. Іноді з виробництва ставиться таке завдання-досягнення

максимальної продуктивності чи мінімальної собівартості при заданих значеннях стійкості інструмента.

Розробка математичної моделі процесу різання є найважливішим етапом створення алгоритму оптимізації. При традиційному, класичному підході математична модель будується у вигляді системи рівнянь та нерівностей, які виражають зв'язки між керуючими впливами, обмеженнями та прийнятими критеріями оптимальності на основі класичних залежностей теорії різання [5].

Для випадку обробки поздовжнім точінням за один прохід з постійною глибиною різання, що дорівнює припуску на обробку (ідеальний випадок), режим різання буде оптимальним при такому поєднанні подачі та швидкості різання, коли основний технологічний час буде мінімальним. Таке оптимальне рішення знаходять, відшукуючи такі невід'ємні значення керуючих впливів (подачі S і частоти обертання n шпинделя) при задоволенні всім обмеженням, які доставляють мінімум критерію оптимальності-технологічного часу t_0 . Таким чином, для випадку поздовжнього точіння, оптимізаційна математична модель може бути виражена наступною системою рівнянь і нерівностей. Зв'язок між управліннями S і n та періодом T стійкості інструменту, які визначають його ріжучу здатність, отримують за відомою з теорії різання залежності:

$$v = \frac{\pi D n}{5444} = \frac{C_v k_v}{T^m H^{x_v} S^{y_v}},$$

звідки

$$n S^{y_v} = \frac{75 < C_v k_v}{D T^m H^{x_v}} \quad (1)$$

де, v – швидкість різання, м/хв; π – постійна величина 3,14; n – частота обертання, об/хв; H – глибина різання, мм; T – період стійкості інструменту, хв; S – подача мм/об, m , v , x , y – виправні коефіцієнти на матеріал, сил різання, режимів обробки.

Оскільки всі залежності, що становлять математичну модель, є емпіричними, слід не забувати про розмірність фізичних величин, що входять до них. Зазвичай ці розмірності не відповідають СІ-розмірностям.

У математичній моделі (1) необхідно враховувати відомі з практики обробки в'язанням в залежності від стійкості різця не тільки від матеріалу заготовки та інструменту, а й геометричних параметрів різальної частини різця в плані. Вплив головного та допоміжного кутів у плані різця відображається відомими [7] залежностями для допустимої швидкості різання:

$$v = \frac{C_\varphi}{\varphi_{iH}}, \quad v_1 = \frac{C_{\varphi 1}}{\varphi_{iH 1}}$$

Такі залежності входять до математичної моделі процесу різання, а їх вплив на обмеження (1) виконується за рахунок коефіцієнта k_v , величина якого розраховується за конкретними умовами обробки. Наступне обмеження-за потужністю різання N_p , кВт:

$$N_p = \frac{P_z \pi D n}{1000 \cdot 6 \cdot 10^4} = \frac{C_p h^{x_p} S^{y_p} k_p \pi D n}{6 \cdot 10^7} \leq N_{cm} \eta,$$

звідки
$$n S^{y_p} \leq \frac{1,91 \cdot 10^7 N_{cm} \eta}{C_p h^{x_p} k_p D}, \quad (2)$$

де N_{cm} – ефективна потужність верстата в кВт;

η – коефіцієнт корисної дії;

C_p, k_p, x_p, y_p – коефіцієнти та показники емпіричної залежності сили різання від режиму та умов обробки.

Подача, що допускається необхідною шорсткістю обробки, може бути визначена за детермінованою складовою профілю шорсткості обробленої поверхні, яка, у свою чергу, визначається за геометричними залежностями формування мікронерівностей поверхневого шару деталі для кожного з чотирьох можливих профілю [7].

Блок-схема алгоритма досліджень

Для вирішення такого завдання доцільно використати чисельний метод, який побудований за інтеративним принципом наближення із заданим кроком до вирішення відповідно до алгоритму, блок-схема якого представлена на малюнку 2.

Такі випадки визначаються співвідношеннями між геометричними параметрами вершини різця у плані (головний φ , допоміжний φ_1 кути в плані і радіус r округлення вершини різця в плані) і подачею S навпаки заготовки.

При $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином головного і допоміжного різальних лез інструменту, при $\varphi > \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином допоміжного різального леза і радіусною частиною вершини інструменту, при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 > \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином головного різального леза і радіусної частини вершини інструменту, а при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ виступ профілю формується перетином винятково радіусних частин вершин інструменту. Таким чином, в умову визначення допустимої (по шорсткості) подачі входить сама подача, що унеможливіє отримання відповідної аналітичної залежності [1].

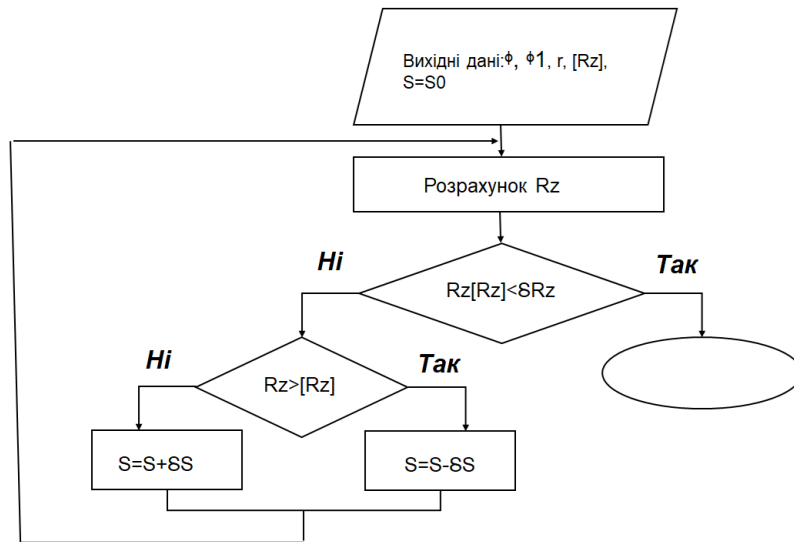


Рис. 2. – Блок-схема алгоритму

Наступне обмеження, яке накладається на поздовжню подачу, вибирається з умов міцності жорсткості ТОС. Наприклад, подача за максимальною силою, яку забезпечує привід подачі верстата, може бути розрахована за наступною залежністю:

$$[S_p]_{\text{доп}} = \left(\frac{2P_n}{C_p h^{X_p} k_p} \right)^{\frac{1}{Y_p}}$$

Подача, що допускається, вибирається як найменша з подач, які розраховані за міцністю інструменту $[S_l]_{\text{доп}}$ або тяговою силою механізму подачі верстата $[S_p]_{\text{доп}}$:

$$S \leq \min\{ [S_p]_{\text{доп}}, [S_l]_{\text{доп}} \}. \quad (3)$$

Конструктивні обмеження які визначаються за можливостями металорізального верстата:

діапазон поздовжніх подач:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (4)$$

діапазон частот обертання шпинделя:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}. \quad (5)$$

Як оцінну функцію за критерієм максимальної продуктивності приймають

$$f = nS \rightarrow \max, \quad (6)$$

оскільки при цьому основний час обробки $t_0 = L/n \rightarrow \min$ (де L – довжина обробки).

Отримана математична модель (3) – (6) складає ядро прикладної програми "Оптимізація точіння" [1], яку ми будемо використовувати для оптимізація режимів різання при точінні.

Для виконання роботи використовується прикладна програма, інтерфейс представлений на малюнку 3. Інструкції та пояснення для роботи

з програмою містяться в самій програмі та з'являються на екрані монітора при натисканні кнопки "Help".

Після активації програми, введення даних відповідно до варіанта та натискання кнопки "Застосувати дані" у графічному вікні інтерфейсу з'являються всі розраховані обмеження, що утворюють область D допустимих значень частоти обертання шпинделя та подачі, яка відповідає представленим на інтерфейсі вихідним даним верстата і процесу різання. На малюнку 3.2 ця область утворена перетином наступних обмежень: 1 – мінімальна подача, 3 – мінімальна частота обертання шпинделя, 5 – мінімальна подача по шорсткості поверхні, 7 – обмеження за стійкістю інструменту, 8 – обмеження за потужністю верстата. Лінія 9 відображає функцію оптимізації за максимальною продуктивністю і задовольняє залежності (6).

Лінія 9 з'являється у графічному вікні інтерфейсу та пересувається в ньому за перехрестям мишки. Для визначення оптимальних координат області допустимих значень необхідно перевести мишку так, щоб лінія максимальної продуктивності була дотичною до найбільш віддаленої від початку координат вершини області допустимих значень, а перехрестя мишки збігалось з такою вершиною.

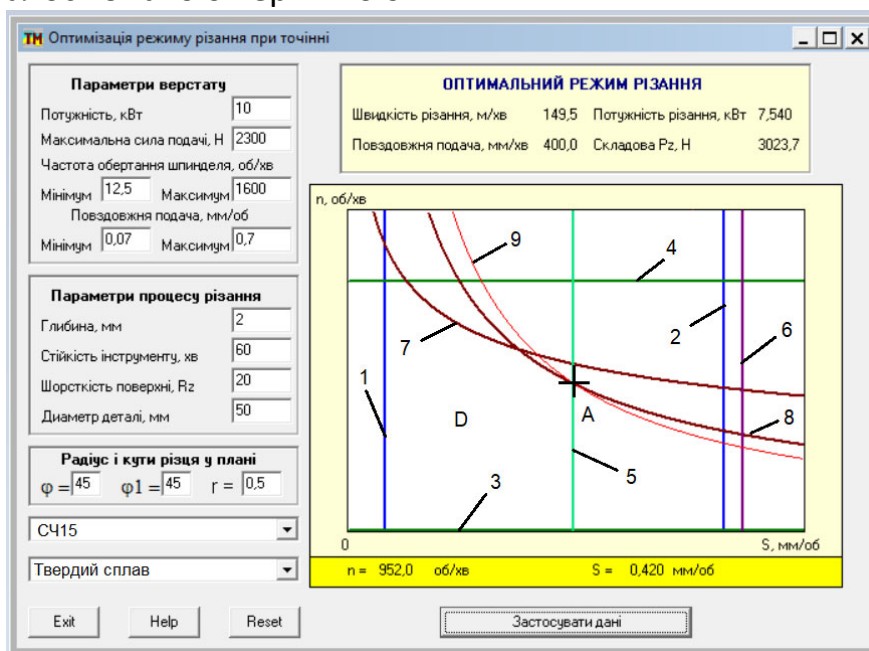


Рис. 3. – Інтерфейс прикладної програми оптимізації режимів різання

Після натискання лівої клавіші мишки, при утриманні її перехрестя у вершині області допустимих значень, на інтерфейсі з'являються оптимальні величини режиму різання. Визначається такі складові режиму різання та його головні характеристики: частота обертання шпинделя (952 об/хв), подача на оборот (0,42 мм/об), швидкість різання (149,5 м/хв), поздовжня

подача (400 мм/хв), потужність різання (7,54 кВт), що становить сили P_z різання (3023,7 Н).

Звертаємо увагу на те, що відповідно до прийнятого критерію оптимальності - максимальна продуктивність - його величину зручно оцінювати безпосередньо за величиною поздовжньої подачі.

В якості прикладу виконання роботи нижче представлено перебіг досліджень для вихідних даних, які вказані у вікнах головного інтерфейсу програми на малюнку 3.

Для виконання експериментальних досліджень за першими трьома завданнями, які виконуються у функції глибини різання, перед активацією прикладної програми необхідно скласти таблицю експериментальних даних визначивши діапазон і крок зміни глибини різання (табл. 1). На малюнку 4 представлено стан області D допустимих значення частоти обертання шпинделя та поздовжньої подачі під час проведення експериментальних досліджень за даними таблиці 1.

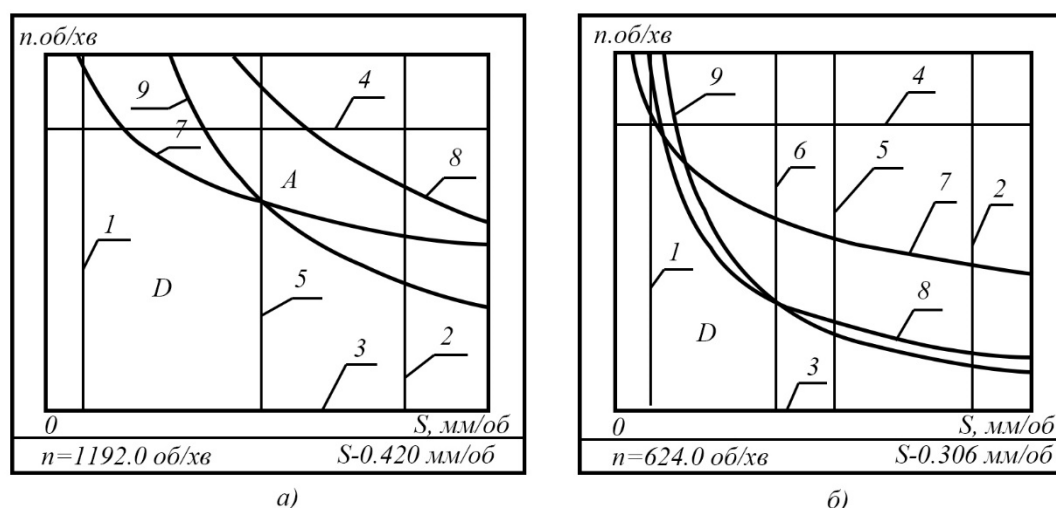


Рис. 4. – Результати визначення оптимального режиму різання:
 а - при глибині різання 1 мм ($n=1192,0$ об/хв; $S=0,420$ мм/об);
 б - при глибині різання 4 мм ($n=624,0$ об/хв; $S=0,300$ мм/об).

Тут прийняті ті самі позначення, що і на малюнку 4: лінія 1 і 2 - обмеження по мінімальній і максимальній подачі, лінія 3 і 4 - обмеження по мінімальній і максимальній частоті обертання шпинделя, лінія 5 - обмеження подачі по заданій шорсткості, лінія 6 - обмеження подачі за допустимою силою механізму подачі приводу верстата, лінія 7 - обмеження за стійкістю інструменту, лінія 8 - обмеження потужності верстата. Лінія 9 відображає оцінну функцію оптимізації максимальної продуктивності. Видно, що зі зміною глибини різання вершина A області допустимих значень, яка відповідає оптимальному (за продуктивністю) режиму різання, утворюється перетином різних обмежень. Так, при глибині різання 1 мм ця

вершина утворена обмеженнями по стійкості інструменту і необхідної шорсткості поверхні, а при глибині 4 мм - обмеженнями за потужністю різання і максимально допустимою силою приводу подачі. Отримані експериментальні дані, що визначають оптимальний режим різання за різних величин глибини H різання представлені в таблиці 2. За експериментальними даними з використанням пакету Excel побудовано графіки відповідної залежності, що представлені на рис.5.

Таблиця 1. – Експериментальні дані за одним технологічним переходом

№	H , мм	$n_{об}$, об/хв	$S_{об}$, мм/об	$N_{різ}$, кВт	P_z , Н	S_{min} , мм/хв	v , м/хв
1	0,5	1320	0,420	2,80	810	554	207
2	1,0	1192	0,420	4,88	1565	501	187
3	1,5	1120	0,420	6,75	2301	470	176
4	2,0	952	0,418	7,50	3011	389	150
5	2,5	768	0,418	7,48	3722	321	121
6	3,0	648	0,418	7,51	4426	271	232
7	3,5	624	0,362	7,51	4600	226	112
8	4,0	624	0,306	7,52	4603	191	112

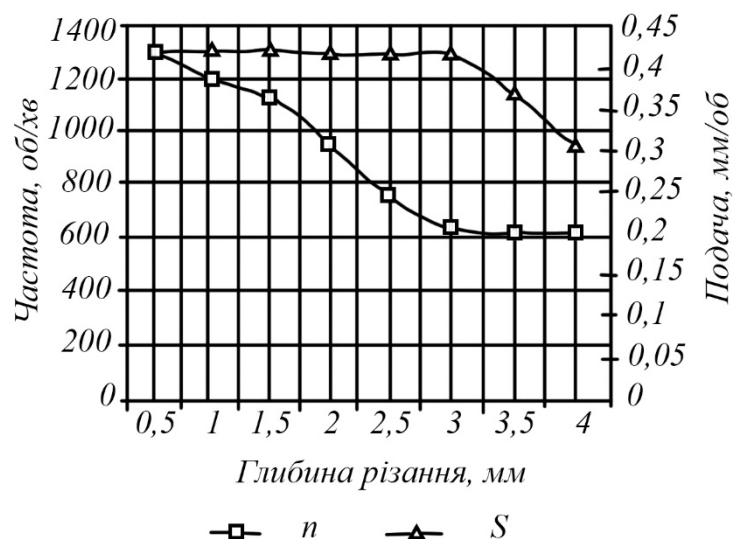


Рис. 5. – Експериментальні залежності оптимального режиму різання від глибини різання

Аналіз отриманих експериментальних результатів (рис. 5) свідчить, що закон оптимального управління має дві зони:

1) оптимальна обробка до глибини різання 3 мм відбувається з постійною подачею на заготовлю, проте частота обертання зменшується майже за лінійною залежністю;

2) оптимальна обробка з глибиною, яка перевищує 3 мм, виконується з постійною частотою обертання заготовки, проте поздовжня подача знижується також майже за лінійною залежністю.

При проведенні експериментів можна помітити, що оптимальна точка фазової площини n - S утворюється в основному трьома обмеженнями: стійкістю, потужністю і шорсткістю. До глибини різання 3 мм основним обмеженням, яке накладається на подачу, є обмеження необхідної шорсткості обробленої поверхні. При збільшенні глибини різання набуває чинності четверте обмеження-за силу подачі верстата.

Подібні числові значення розрахунків режимів різання були отримані і при класичному аналітичному методі корегування стосовно геометрії ріжучого інструменту, матеріалу і параметрів деталі [7, 8, 9], відносна похибка розрахунків не перевищувала 6-8%. Це говорить про те, що модель перевірна на адекватність результатів режимів механічної обробки стосовно нашої деталі «Стакан підшипниковий правий» та його геометричних параметрів.

Далі ми послідовно повторюємо процедуру зміни вхідних даних для кожного технологічного переходу при точінні (поперечному, подздовжьому, розточування, точінні канавки та відрізання). Отримані результати заносимо в таблицю 2. де скореговуємо режими різання для кожного випадку при точінні.

Таблиця 2. – Оптимізовані режими різання токарних операцій на верстаті з ЧПК

Назва операції	Глибина, мм	Подача, мм/об (мм/зуб)	Швидкість, м/хв
Відрізання торців	-	0.427	228
Точіння зовнішнє (чорнове)	3.0	0.418	232
Точіння зовнішнє (чистове)	0.85	0.162	267
Розточування (чорнове)	2.25	0.281	188
Розточування (чистове)	0.25	0.143	241
Точіння внутрішньої канавки	1.15	0.182	215
Відрізка деталі	-	0.221	194

Примітка. Значення режимів різання при фрезеруванні, свердлінні та формоутворенні нарізі не оптимізувались, а обирались як середьозважене з діапазону режимів рекомендованих виробником та врахуванням паспортних діапазонів режиму обробки верстата з ЧПК.

Для того щоб якісно та коректно підійти до складання автоматизованого технологічного процесу виготовлення необхідно дослідити конструкцію деталі, зробити відповідні висновки щодо лідійних, діаметральних та допускових розмірів на кресленнику. Проаналізувати з кресленника технічні вимоги до деталі, шорсткості та якості оброблювальних поверхонь. Проаналізувати хімічний склад і механічні властивості матеріалу деталі, надати загальну характеристику об'єкта дослідження та виконати якісний аналіз технологічності конструкції деталі. На прикінці розділу необхідно змодельювати в тривимірному вигляді деталь в CAD-системі Autodesk Power Shape за розмірами згідно кресленника. Для прикладу обрана деталь «Стакан підшипниковий» (рис. 6) входить до складу коробки швидкостей трактора. В середині деталі обертається вал в шарикових підшипниках. Стакан після установки в корпус залишається нерухомим.

Autodesk PowerShape це проста в засвоєнні та застосуванні CAD-система, що поєднує можливості поверхневого, твердотільного та фасетного 3D-моделювання. Має ефективний функціонал для реверсивного інжинірингу та відновлення пошкоджених імпортованих даних [6, 7, 8].

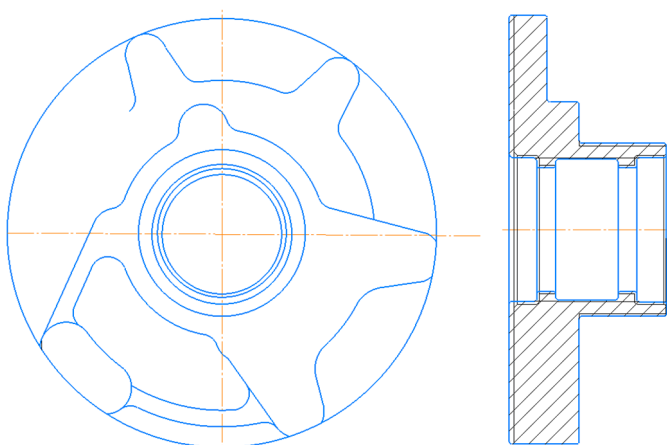


Рис. – 6 Ескіз деталі «Стакан підшипниковий»

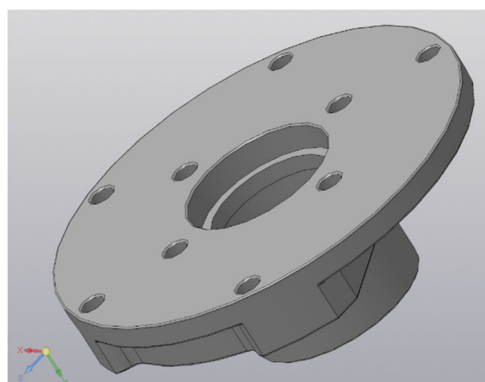


Рис. 7. – Тривимірна модель у програмі Autodesk PowerShape

Використовуємо вказану програму для виконання тривимірної моделі деталі «Стакан підшипниковий». За допомогою простих ліній, простих геометричних форм та кривих інтерфейсу PowerShape, створюємо крок за

кроком об'єкта ра розмірами і пропорціями, в масштабі, ідеально схожий що на кресленику, який в нас є технічним завданням.

Створена модель деталі представлена на рис.7.

Для складання коректної автоматизованої технології механічної обробки деталі на верстаті з ЧПК за умов використання CAD-CAM систем необхідно виконати певну послідовність операцій:

- створити тривимірну модель за креслеником або ескізом (технічне завдання) в обраній CAD-системі;
- розрахувати та створити тривимірну модель заготовлі або скористатися функціоналом обраної CAM-системи та розрахувати її з простих геометричних форм;
- обрати логічну і вірну послідовність маршруту обробки деталі (МОД), приймаючи до уваги її геометрію, вимоги до точності та якості, матеріал, обладнання, режими та умови обробки деталі;
- підібрати необхідне обладнання з програмним керуванням, прогресивний ріжучий інструмент, оснащення та призначити режими різання за довідниками стандарту ISO;
- обрати CAM-систему та скласти в ній оптимальну послідовність операцій (технологічних переходів) задіявши чисельні розрахунки та режимні параметри, які отримані та описані переліком вище;
- візуалізувати в режимі 3D та на верстаті виконаний процес механічної обробки деталі, внести певні уточнення або реакції у параметри технології;
- по завершенні корегування технології, за допомогою CAM-системи, скласти керуючу програму для багатокординатного верстата з ЧПК;
- зберегти NC-файл керуючої програми у відповідному форматі та проект технології у CAM-системі для подальшого корегування та переміщення інформації на CNC обладнання.

Імпортуємо модель деталі і інтерфейс програми FeatureCAM, призначаємо розміри заготовлі, які вираховували у попередньому розділі, встановлюємо локальну систему координат деталі, обираємо в базі даних існуючий постпроцесор верстата та модель тривимірний гібрид верстата MAZAK Integrex 200-IV S, отримуємо наступний вигляд комп'ютерного експерименту з підготовки до автоматизації технології, рис.8.

Послідовно згідно МОД таблиці 1 та 2 призначаємо відповідні операції обробки, обираючи з інтерфейсу програми відповідні опції: «Точіння», «Підрізка торцю», «Розточування», «Фрезерування», «Свердління», «Відрізка заготовлі».

На останньому етапі програмування механічних операцій, за допомогою функцій програми FeatureCAM, формуємо керуючу програму

(КП) для верстата з ЧПК та зберігаємо її у форматі *.txt. Фрагмент КП з інтерфейсу для верстата показаний на рис.9.

Саме з таб.2 беремо скореговані режимі різання і заносимо до налаштувань кожного технологічного переходу (операції) механічної обробки у інтерфейсі операцій програми FeatureCAM.

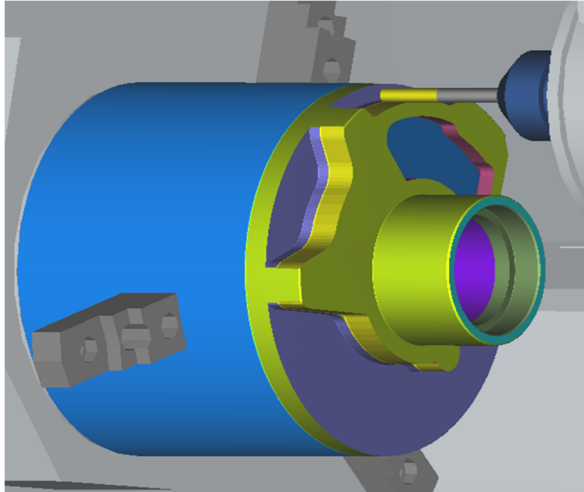


Рис. 8. – Підготовка проекту до автоматизації інтерфейсу FeatureCAM

```
( FEATURECAM MILL/TURN )
( MORI SEIKI TURNING CENTER )
( MITSUBISHI CONTROL WITH Y-AXIS )
( TURRET #1 )

N1          ( OPERATION: ROUGH FACE TOPEЦЗ )
G28 V0
G18 G99 M46 ( TURN MODE )
G0 T0101 ( TOOL:01 SCLCR2525M12_CCMT120408MT )
G50 S6000
G96 S559 M3
G0 X3.3216 Z8.2864 M8
G72 W0.1969 R0.0197
G72 P90 Q95 U0. W0.0039 F0.015
N90 G1 Z8.0407 Z8.0407 F0.015
N95 X-0.0472
G0 Z8.2864

( OPERATION: FINISH FACE TOPEЦЗ )
G50S6000
G97 S940 M3
G0 X3.29 Z8.31 M8
G96 S810
Z8.0998
G70 P140 Q155
N140 G41G1 X3.0854 Z8.0407 Z8.0407 F0.006
X0.
X-0.0472
N155 G40X0.1573 Z8.0998
G0 X3.4249 Z8.5286
G53 X0 Z0
M01
```

Рис. 9. – Фрагмент керуючої програми для верстата з ЧПК

Висновки. Обґрунтований і встановлений повний системний зв'язок параметрів оброблення з властивостями оброблюваного матеріалу, геометрією інструменту, інструментального матеріалу і конструкторсько-технологічних чинників деталі на розрахунок оптимізованої технології токарної обробки.

Виконана методика значно спрощує громістки аналітичні розрахунки за класичними методами з купою виправних коефіцієнтів та враховує сучасну геометрію інструментів показники і режимів різання стосовно конкретної деталі та більш того, може буди адаптована до інших типів деталей типу тіл обертів різних галузей виробництва.

Проаналізовані конструктивні особливості деталі, матеріалу та надана загальна характеристика об'єкта дослідження, виконаний якісний аналіз технологічності конструкції деталі. Якісно виконана тривимірна модель у CAD-системі.

Складена оптимальна технологія механічної обробки деталі. Застосований прогресивний ріжучий інструмент стандарту ISO, оснащення

для сучасного багатоцільового верстата з ЧПК. Програмна реалізація і комп'ютерний експеримент з розрахунку автоматизованої технології механічної обробки реалізований у програмі Autodesk FeatureCAM.

Надані практичні рекомендації щодо оптимального використання CAD-CAM систем, коригування результатів технології та режимних параметрів для отримання оптимальних результатів на стадії підготовки виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Петраков, Ю.В. (2006). Лабораторно-комп'ютерний практикум з теорії різання. *Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для вищих навчальних закладів (Лист МОН України №1.4/18-Г-212), Київ, Політехніка, 190.*
2. Петраков, Ю.В., Сохань, С.В., Фролов, В.К. & Кореньков, В.М. (2018). Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 380.
3. Петраков, Ю.В., & Мацківський, О.С. (2015). Моделювання фрезерування кінцевими фрезами. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №1, 73.*
4. Петраков, Ю.В. (2011). Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПК: *Монографія. – Київ, Січкар, 220.*
5. Васильченко, Я.В. (2019). Математичне моделювання процесів різання та різальних інструментів. *Практикум. ДДМА, Краматорськ, 249.*
6. Zhuravel, O.Yu., Derbaba, V.A., Protsiv, V.V., & Patsera, S.T. (2019). Interrelation between Shearing Angles of External and Internal Friction During Chip Formation. *Solid State Phenomena. Materials Properties and Technologies of Processing, (291), 193-203.* URL: doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.291.193.
7. Kravchenko, Yu., & Derbaba, V. (2020). Empirical definition of the shearing angle and chip-edge contact length when cutting. *Collection of Research Papers of the National Mining University, 63, 123–133.* URL: <http://znp.nmu.org.ua/index.php/en/archives/33-63en/358-63en11>.
8. Дербаба, В.А., Пацера, С.Т. & Григоренко, В.У. (2022). Особливості механічної обробки зносостійких чавунів. *Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка», 71, 217–230.* URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.217>.
9. Щербина, Є.Ю., Дербаба, В.А. & Козечко, В.А. (2022). Критерії стійкості ріжучого інструменту для висошвидкісної обробки. *Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 67, 77-95* URL: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/67.077>.