

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 661:658.512

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2026-7-18>

АЛГОРИТМ ГРУПУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Бабенко Марина Олегівна,

кандидат педагогічних наук,

старший викладач кафедри прикладної механіки

Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет»

ORCID ID: 0009-0005-3125-1990

Вірич Світлана Олександрівна,

кандидат технічних наук,

завідувач кафедри прикладної механіки

Державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет»

ORCID ID: 0000-0003-4734-345X

В статті представлені дослідження впливу чинників формування груп деталей на ефективність реалізації групового технологічного процесу, розроблення адаптованого до сучасних виробничих умов алгоритму групування за деталі-операціями із урахуванням завантаженості верстатів. З урахуванням чинників розробленого алгоритму проведено конструктивно-технологічний аналіз для заданої групи деталей з урахуванням партії виробництва. Серед розглянутих можливих варіантів оброблення поверхонь заготовок, обрані більш раціональні за ознакою рівномірності завантаження технологічного обладнання. Розроблено альтернативний варіант групового технологічного процесу шляхом перерозподілу деталіоперацій із урахуванням чинника завантаженості токарних і фрезерних верстатів із ЧПК. В результаті було суттєво зменшено час простою задіяних верстатів із ЧПК, загальний час оброблення заготовок деталей зменшено на 40 %, час роботи токарного верстату із ЧПК зменшено на 30% у порівнянні із початковим варіантом оброблення. Встановлено закономірності впливу технологічних чинників на процес формування груп деталей при проектуванні групового технологічного процесу; розроблено алгоритм групування деталей, що дозволяє підвищити ефективність використання виробничих ресурсів; підтверджено ефективність запропонованого алгоритму на основі розрахунку та аналізу техніко-економічних показників. Запропоновано використання алгоритму групування деталей із урахуванням завантаженості верстатного обладнання в умовах серійного виробництва із використанням сучасних машинобудівних технологій. Раціональна організація технологічних процесів забезпечує підвищення продуктивності праці за рахунок забезпечення мінімізації часу простоїв обладнання та робочих, уможливлення визначення оптимальних розмірів партій оброблюваних деталей, зменшення кількості переналадок верстатів, отримання безперебійного подавання деталей до складання виробів.

Ключові слова: *груповий технологічний процес, технологічна підготовка, верстати із ЧПК, технологічні групи деталей, верстатне обладнання, технологічне оснащення, техніко-економічні показники ефективності технологічного процесу.*

Babenko Maryna, Virych Svitlana. Algorithm for Grouping Parts Considering Equipment Utilization

The article presents studies of the influence of factors of forming groups of parts on the efficiency of the implementation of the group technological process, the development of an algorithm of grouping by part operations adapted to modern production conditions, taking into account the workload of machines. Taking into account the factors of the developed algorithm, a structural and technological analysis was carried out for a given group of parts, taking into account the production batch. Among the considered possible options for processing the surfaces of workpieces, more rational ones were selected based on the uniformity of the loading of technological equipment. An alternative version of the group technological process was developed by redistributing detail operations, taking into account the factor of loading of CNC lathes and milling machines. As a result, the downtime of the CNC machines involved was significantly reduced, the total time for machining workpieces was reduced by 40%, the operating time of the CNC lathe was reduced by 30% compared to the initial machining option. The patterns of influence of technological factors on the process of forming groups of parts when designing a group technological process were established; an algorithm for grouping parts was developed, which allows to increase the efficiency of the use of production resources; the effectiveness of the proposed algorithm was confirmed based on the calculation and analysis of technical and economic indicators. The use of a parts grouping algorithm taking into account the workload of machine tools in serial production using modern machine-building technologies is proposed.

Key words: *group technological process, technological preparation, CNC machines, technological groups of parts, machine tool equipment, technological equipment, technical and economic indicators of the efficiency of the technological process.*

Вступ. Забезпечення конкурентоспроможності виробів шляхом забезпечення високого рівня якості за збереження доступної цінової політики вимагає реорганізації діяльності промислового підприємства способом автоматизації процесів при використанні сучасних комп'ютерних засобів та спеціалізованих ІТ-технологій інформатизації технологічної підготовки виробництва.

Автоматизація сучасного виробництва має враховувати такі тенденції розвитку: мала серійність виробництва зі зміною номенклатури продукції; забезпечення реконфігурованості обладнання та виробництва в цілому; комплексність технічних рішень; широке впровадження наукомістких технологій, впровадження мехатронних систем для забезпечення багатofункціональності та одночасно компактності обладнання.

Обов'язковою складовою ефективності сучасного виробництва є його гнучкість, яка полягає у здатності підприємства швидко, ефективно та з мінімальними витратами адаптувати технологічні процеси до випуску широкої номенклатури виробів.

Успішна реалізація чинників автоматизації та гнучкості потребує наявності алгоритмів адаптивного управління технологічними процесами, методи статистичної корекції баз даних, що є основою створення автоматичних виробничих систем, що самонавчаються.

При вирішенні завдань організації та управління пріоритетним є використання віртуальних виробничих систем, у яких інформація зберігається лише в пам'яті електронно-обчислювальних машин. Тому створення єдиної системи технологічної підготовки виробництва та управління дозволяє реалізувати найефективніші технічні рішення, максимально розкрити технічні та технологічні можливості автоматизованої виробничої системи. Взаємозв'язок між організацією, управлінням та технологічним проектуванням вимагає наявності відповідних алгоритмів програмної взаємодії та наявності віртуальної інформаційної бази ефективним способом підвищення гнучкості автоматизованого виробництва є застосування групової технології. Особливість якої полягає в об'єднанні деталей у групи за загальними технологічними ознаками. Це дозволяє використовувати під час оброблення широку номенклатуру деталей, що випускаються невеликими партіями та є дуже ефективним в малoserійному та середньо-serійному виробництві.

Використання гнучкої системи групування урізноманітнює види оброблюваних деталей

шляхом включення нових відповідно до номенклатури, що змінюється. Це дозволяє розширити жорсткі рамки типів деталей, швидко та успішно розбудувати виробництво на якісно новому рівні [1].

Широке використання за умови організації групового виробництва зумовлене необхідністю підвищення продуктивності виробництва продукції машинобудування, яка набуває постійного вдосконалення та оновлення.

При вирішенні питання раціонального використання верстаного обладнання із числовим програмним керуванням (ЧПК): безсистемність відбору деталей, нестаток уніфікованих технологічних рішень щодо організації спеціальних робочих місць. Тому застосування системного групування деталей для їх оброблення в автоматизованому виробництві дозволяє усунути означені недоліки. У зв'язку з цим актуальним є питання скорочення термінів технологічної підготовки в частині формування груп деталей з урахуванням швидкої зміни номенклатури виробів в умовах гнучкого автоматизованого виробництва.

Мета дослідження – дослідити вплив чинників формування груп деталей на ефективність реалізації групового технологічного процесу, розроблення адаптованого до сучасних виробничих умов алгоритму групування за деталі-операціями із урахуванням завантажності верстатів.

Методи та методики дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі застосовано комплексний методологічний підхід, що поєднує теоретичні положення машинобудування, методи алгоритмізації та графічно-розрахунковий аналіз. Фундаментом дослідження є основні положення теорії групової технології та концепція гнучких автоматизованих виробничих систем. В основу методики покладено системний аналіз процесу технологічної підготовки виробництва, який розглядає групування деталей як багатокритеріальне завдання даних досліджень.

Результати. Питання організації технологічної підготовки автоматизованого виробництва з використанням методів групової технології розглядалися в роботах Є.С. Пуховського [1; 2]. Необхідно відмітити роботи [3; 4; 5], в яких розглядалися основи групування деталей та алгоритмізації процесів.

Значна частина інших робіт присвячена розгляду питань конструктивно-технологічної класифікації деталей, яка є основою вирішення багатьох завдань удосконалення конструкторської, технологічної, матеріальної та

організаційної підготовки групового виробництва [6; 7; 8; 9; 10]. Оцінюючи означені наукові праці, слід відзначити, що автори цих робіт розкривали окремі аспекти проблеми, локальний досвід підприємств, досягнуті результати та показники ефективності групових технологічних процесів.

За результатами проведеного аналізу наукових досягнень підсумовано, що сучасне машинобудування має достатній досвід з організації групового виробництва. Проте існуючі методики групування потребують постійного переглядання з метою удосконалення відповідно до вимог сучасного виробництва, створення нових матеріалів та удосконалення конструкцій, швидкозмінну багато-номенклатурність машинобудівної продукції. Таким чином, проектування групових технологій оброблення заготовок деталей є актуальним, тому потребує подальших наукових пошуків з питань підвищення ефективності групування деталей.

В умовах серійного виробництва значного зниження трудомісткості технологічного підготування виробництва можливо досягти за рахунок комплексного підходу до уніфікації прийнятих рішень на усіх етапах конструкторського та технологічного підготування виробництва.

Етап групування деталей є відповідальним і визначає подальшу ефективність групової технології. Тому розроблення алгоритму групування потребує аналізу повної бази даних, яка включає в себе змінну, умовно-постійну і постійну складові (рис. 1).

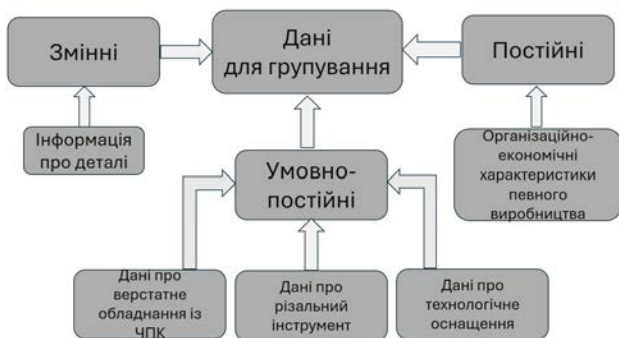


Рис. 1. Схема структури даних групування

Групову технологію характеризує спільність обладнання та технологічного оснащення при виконанні окремих технологічних операцій або при повному виготовленні групи різнотипних деталей. Такі ознаки є умовно-постійною складовою інформації у базі даних для процесу групування деталей.

Організаційно-економічні показники, які є постійною складовою бази даних, включають

у себе інформацію про трудові нормативи, економічні показники про використання виробничих площ, обладнання.

Змінна інформація містить дані про конструктивно-технологічні характеристики деталей, які підлягають групуванню при проектуванні групових технологічних процесів. Глибокий аналіз змінної інформації вагомо впливає на формування груп деталей.

Групування деталей за послідовністю дій розподіляється на попереднє – відбирання описів деталей за їх умовними позначеннями, та остаточне, яке здійснюється за результатами проектування технології для точного визначення складу груп. При формуванні груп деталей для оброблення у груповому технологічному процесі важливо враховувати інформацію про конструктивні та технологічні ознаки деталі. Саме при використанні групового методу технологічна класифікація превалює над конструкційною. Тому звернемо увагу на обмеження за технологічною ознакою при комплектуванні груп деталей.

Важливою технологічною ознакою є розмірна, оскільки вона у значному ступеню визначає верстатне обладнання, розміри затискних пристосувань та спосіб установлення деталі у затискному пристосуванні. Маса деталі є впливовим чинником групування деталей, який впливає на час встановлення заготовки відповідно до використаних при цьому засобів автоматизації, обсяги оброблення.

Чинник затискного пристосування при групуванні деталей необхідно розглядати з позиції інформаційного поєднання схеми базування, розмірів і конструкційних особливостей. Для оброблення групи деталей, які мають спільні способи закріплення, проектується групові та універсально-наладнані пристосування. При цьому наявність змінних регульованих елементів та швидкодіючих затискувачів реалізує роботу одного пристосування для оброблення деталей різної конфігурації, забезпечуючи швидке і стійке встановлення усіх деталей групи.

Урахування чинника матеріалу деталі впливає на обґрунтування способу отримання заготовки, обрання матеріалу різального інструмента та призначення режимів різання. Поверхні заготовок повинні відповідати вимогам до оброблення на верстатах із ЧПК: не мати усадкових раковин, тріщин, значних макронерівностей. Тому при формуванні груп деталей бажано добирати заготовки одного рівня якості.

Ознака форми деталей визначає вид оброблення і також враховується у подальшому

розробленні деталеоперацій групового технологічного процесу, основними ознаками яких є оброблювані поверхні, верстат, пристосування, інструмент.

Вимоги щодо точності розмірів та шорсткості поверхонь деталей є вагомим показником при формуванні груп деталей. Враховуючи показник точності, треба зважати на точність отриманих розмірів і взаємного розташування оброблених поверхонь.

Проектування групових наладок комплектування деталей у групи має відбуватися з урахуванням інформаційної моделі формуючої системи верстата із ЧПК та обмежень стосовно технологічних можливостей верстатів. Зважаючи на достатню оснащеність верстатів із ЧПК різальними інструментами та пристроями їхньої автоматичної зміни, чинник різального інструмента розглядається на етапі безпосереднього проектування детале-операцій.

Щодо чинника застосування верстатів із ЧПК зауважимо, що економічний ефект від їхнього використання вагомо залежить від рівня їх

використання, в тому числі від коефіцієнта та рівномірності завантаження. Раціональне використання машинного часу обладнання є одним із основних джерел економічної ефективності групової технології, спричиняє удосконалення організації виробництва та зменшує терміни виконання замовлень.

Тому етап вирішення проблеми забезпечення ефективності експлуатації верстата має бути включений до алгоритму групування деталей. Отже, при групуванні за детале-операціями необхідним є врахування таких техніко-економічних ознак як кількість та трудомісткість виконання технологічних операцій для кожної деталі для подальшого оцінювання рівномірності завантаженості та синхронізації роботи верстатного обладнання.

Розроблений алгоритм відпрацювання групового технологічного процесу за детале-операціями представлений на рис. 2.

При використанні запропонованого алгоритму проектування групового технологічного процесу (див. рис. 2) розроблено груповий технологічний

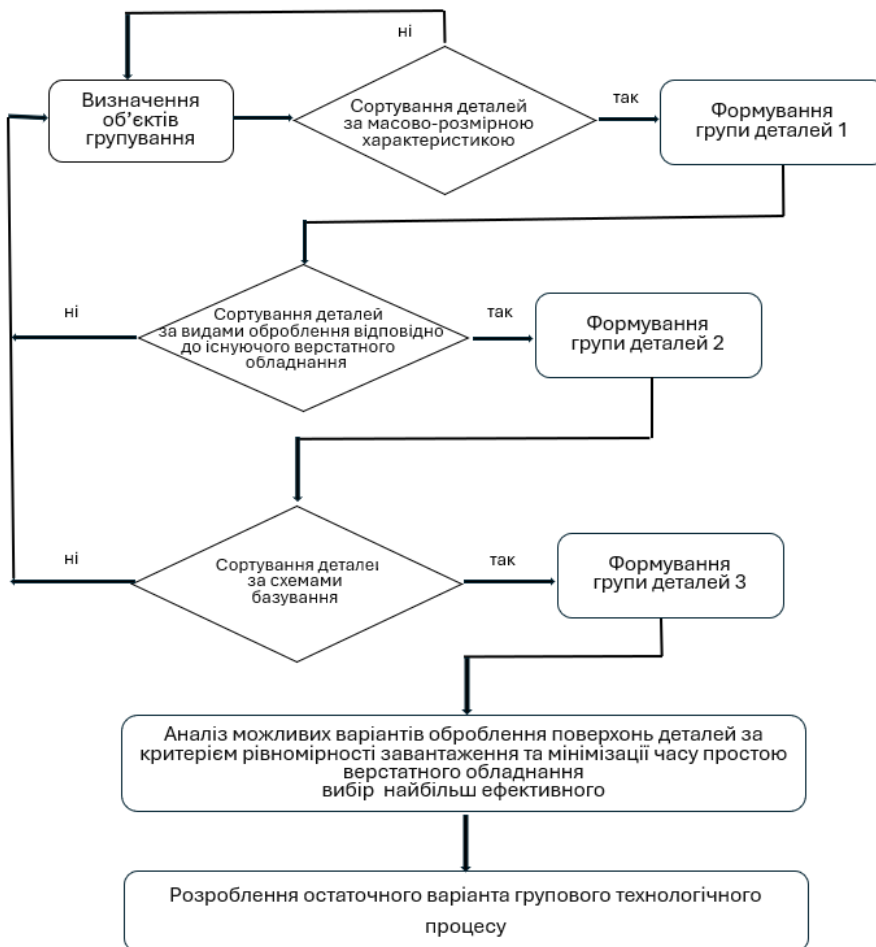


Рис. 2. Алгоритм групування деталей за детале-операціями з урахуванням завантаження обладнання

процес оброблення заготовок деталей, які відрізняються конструктивними характеристиками (рис. 3), що унеможлиблює формування комплексної деталі. Зважаючи на невелику кількість деталей, доцільним способом групування було обрано групування за деталю-операціями.

Аналіз деталей (див. рис. 3) було проведено за наступними ознаками: конструкція деталі, матеріал, габаритні розміри і маса, вид заготовки, вимоги щодо точності та якості поверхонь, види оброблення, розмір партії.

№	Вид деталі	Матеріал	Габаритні розміри, маса	Шорсткість поверхонь, точність розмірів	Розмір партії
1		сталь 30 ДСТУ 7809:2015	198x Ø 58 2,054 кг	Ra 1,6–Ra 6,3 Клас точності 6–12	210
2		сталь 30Л ДСТУ 8781:2018	Ø 90x16 0,65 кг	Ra 2,5–Ra 12,5 Клас точності 7–12	150
3		сталь 20 ДСТУ 7809:2015	50x50x44 0,4 кг	Ra 1,6–Ra 12,5 Клас точності 6–12	190
4		сталь 40Х ДСТУ 7809:2015	Ø 132x70 2,52 кг	Ra 1,6–Ra 12,5 Клас точності 6–12	110
5		сталь 45 ДСТУ 7809:2015	34,6x30x65 0,37 кг	Ra 2,5–Ra 12,5 Клас точності 7–12	140
6		СЧ 15 ДСТУ 8833:2019	Ø 150x75 2,5 кг	Ra 2,5–Ra 12,5 Клас точності 7–12	50

Рис. 3. Конструктивно-технологічні дані про деталі групи

Для оброблення кожної поверхні деталі вивчені можливі варіанти видів та послідовності оброблення поверхонь, призначено відповідне верстатне обладнання, інструмент і оснастку, розрахований час оброблення. При цьому було враховано, що точність та шорсткість

заготовок для заданої групи деталей відповідає означеним вище обмеженням групової технології.

Зауважено, що деякі поверхні деталей можуть бути оброблені різними способами: точінням або фрезеруванням, розточуванням або обробленням осьовим інструментом. З урахуванням розширених технологічних можливостей сучасних верстатів із ЧПК реалізацію групової технології запропоновано на верстатах токарної та фрезерної груп. При розробленні першого варіанту групового технологічного процесу пріоритетність технологічних операцій визначалася за критерієм мінімального машинного часу, оброблення деталей розглядалося за порядком черги: оброблення деталі №1, №2 і т. д.

За результатами розрахунку машинного часу першого варіанту групової технології з урахуванням величини партії деталей з'ясовано нерівномірність завантаження верстатів (рис. 4, а): час простою токарного верстату склав 8% від загального часу роботи обладнання, фрезерного верстату – 74% від загального часу роботи обладнання.

Зважаючи на це, з метою скорочення часу простою фрезерного верстату та зменшення навантаження на токарний верстат, було здійснено перерозподіл деталюоперацій з урахуванням можливості забезпечення потрібної послідовності технологічних переходів. Чинник рівномірності завантаження верстатів враховано при розробленні другого варіанта групової технології. При цьому розглянуто можливість заміни оброблення точінням на фрезерування без шкоди для досягнення технічних вимог до деталей групи. Приклад розроблення двох варіантів технологічного процесу для деталі №6 наведено на рисунку 5. При розробленні другого варіанта значна частина технологічних переходів токарної операції замінені на альтернативний варіант оброблення на фрезерному

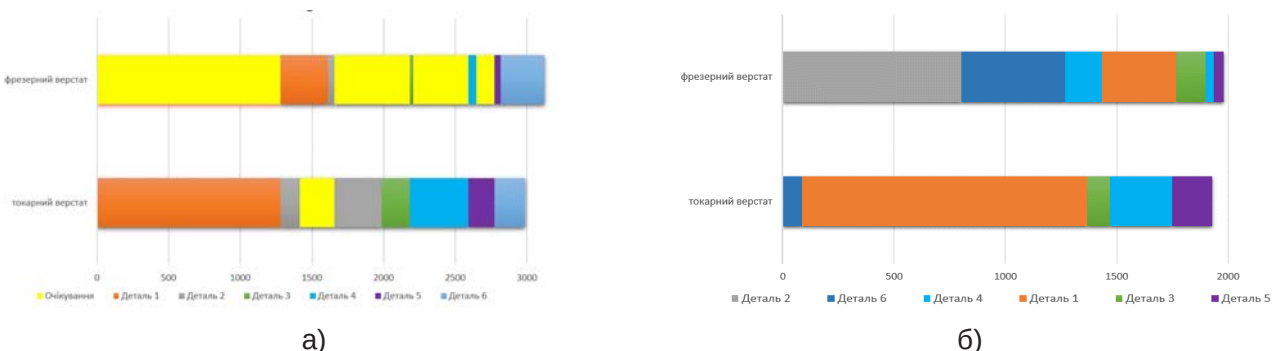
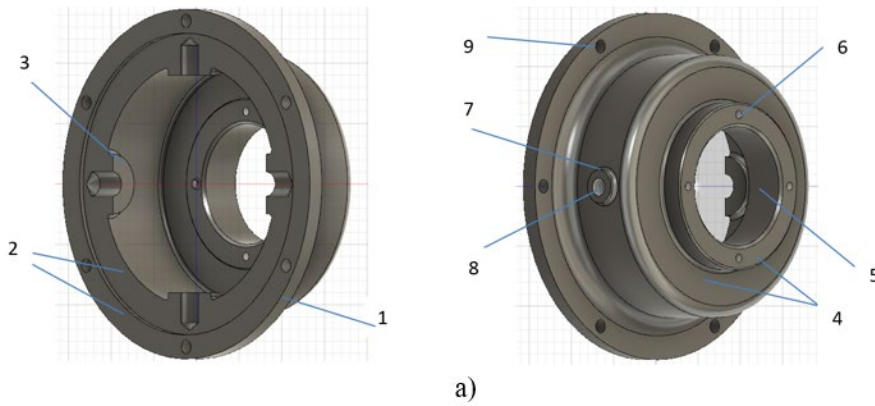


Рис. 4. Послідовність реалізації групового технологічного процесу: а) без урахування завантаженості верстатів; б) з урахуванням завантаженості верстатів



№ поверхні	Оброблення на токарному верстаті з ЧПК			№ поверхні	Оброблення на фрезерному верстаті з ЧПК		
	Номер установка	Найменування операції	T, хв		Номер установка	Найменування операції	To, хв
1	1	Точіння	0,144	1	1	Фрезерування	0,45
2	1	Точіння	1,59	2	1	Фрезерування	1,6
				3	1	Фрезерування	0,1
4	2	Точіння торців	1,46	4	2	Фрезерування	2,54
5	2	Розточування рідцем	1,1	4	2	Розточування роточувальною головкою	0,65
				6	2	Свердління	0,6
				6	2	Розвернення	1,43
				6	2	Нарізаня різі	1,2
				9	2	Свердління	0,167
				7	3	Фрезерування	0,08
				8	3	Свердління	0,46
				8	3	Розвернення	1,5
				8	3	Нарізаня різі	0,56
			Σ=4,294				Σ=6,097

б)

№ поверхні	Оброблення на токарному верстаті з ЧПК			№ поверхні	Оброблення на фрезерному верстаті з ЧПК		
	Номер установка	Найменування операції	T, хв		Номер установка	Найменування операції	To, хв
1	1	Точіння	0,144	1	1	Фрезерування	0,45
2	1	Точіння	1,59	2	1	Фрезерування	1,6
				3	1	Фрезерування	0,1
				9	1	Свердління	0,167
4	2	Точіння	1,46	4	1	Фрезерування	2,54
5	2	Розточування	1,1	5	2	Розточування роточувальною головкою	0,65
				6	2	Свердління	0,6
				6	2	Розвернення	1,43
				6	2	Нарізаня різі	1,2
				7	3	Фрезерування	0,08
				8	3	Свердління	0,46
				8	3	Розвернення	1,5
				8	3	Нарізаня різі	0,56
			Σ=1,734				Σ=9,287

в)

Рис. 5. Розроблення можливих варіантів послідовності оброблення поверхонь:
а) деталь; б) технологічний процес, розроблений за критерієм мінімізації машинного часу;
в) технологічний процес, розроблений за критерієм завантаженості верстатів

Таблиця 1

Порівняння часу роботи верстатів для двох варіантів групового технологічного процесу

	Час оброблення, хв.		Час простою, хв.		Загальний час сумісної роботи, хв.
	Токарний верстат, %	Фрезерний верстат, %	Токарний верстат, %	Фрезерний верстат, %	100%
Варіант 1	2744,65	921,52	243	2314,15	3122,32
Варіант 2	1930,19	1979,77	-	-	1979,77

верстаті із ЧПК. За рахунок цього перенесено технологічне завантаження з токарного на фрезерний верстат. Аналогічним чином було змінено технологічні процеси інших деталей. З орієнтацією на зменшення часу простою верстатів також було змінено послідовність подавання деталей.

Аналізуючи діаграму завантаженості верстатів варіанта альтернативного групового технологічного процесу після перерозподілу деталеоперацій (рис. 4, б) видно, що після перерозподілу технологічного навантаження між токарним та фрезерним верстатами із ЧПК та зміною послідовності виконання деталеоперацій було суттєво зменшено час простою

задіяного верстатного обладнання. Крім того, загальний час оброблення заготовок зменшено на 40%, час роботи токарного верстату із ЧПК зменшено на 30% (табл. 1).

Висновки. За результатами аналізу чинників впливу на ефективність групової технології розроблено алгоритм групування деталей за детале-операціями з урахуванням завантаження обладнання. Ефективність застосування алгоритму розглянута на прикладі формування структури групового технологічного процесу з урахуванням чинника рівномірності завантаженості верстатів. В результаті мінімізовано час простою верстатного обладнання та зменшено машинний час оброблення заготовок.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пуховський Є. С. Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва : навч. посіб. – К. : Вища школа. Головне вид-во, 1989. 240 с.
2. Пуховський Є. С., Малафєєв Ю. М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування : навч. посібник. Ч. 1. К. : НТУУ «КПІ», 2017. 286 с.
3. Liu C. L., Wang J. Application of group technology in mechanical processing. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. Vol. 109. P. 191–194. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.109.191>.
4. Wemmerlöv U., Hyer N. L. Cellular manufacturing in the U.S. industry: A survey of users. *International Journal of Production Research*. 1989. Vol. 27, No. 9. P. 1511–1530.
5. King J. R., Nakornchai V. Machine–component group formation in group technology: Review and extension. *International Journal of Production Research*. 1982. Vol. 20, No. 2. P. 117–133.
6. Марков А. М., Маркова М. І., Плетнєва Е. М. Алгоритм проектування групового технологічного процесу механічного оброблення деталей. *Оброблення металів*. 2012. № 4 (57). С. 5–9.
7. Надкєрнична Т. М., Лебєдєва О. О., Терєтьєв Є. О. Класифікація виробів машинобудівельної галузі за класифікатором ЄСКД промислової продукції. URL: <https://ng-kg.kpi.ua/files/Класифікатор2019.pdf> (дата звернення: 10.11.2025).
8. Ariafar S., Ismail N. An improved genetic algorithm for multi-objective cell formation problem with production volume and machine load. *Computers & Industrial Engineering*. 2016. Vol. 98. P. 347–362.
9. Paydar M. M., Saidi-Mehrabad M. A hybrid genetic–ant colony algorithm for designing cellular manufacturing systems under demand uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*. 2017. Vol. 109. P. 169–181.
10. Renna P., Ambrico M. Machine learning-based reconfiguration of cellular manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*. 2019. Vol. 53. P. 353–365.

REFERENCES:

1. Pukhovskiy, Ye. S. (1989). *Tekhnologichni osnovy hnuchkoho avtomatyzovanoho vyrobnystva* [Technological foundations of flexible automated production]. Vyshcha shkola. [in Ukrainian]
2. Pukhovskiy, Ye. S., & Malafiev, Yu. M. (2017). *Design of flexible manufacturing systems in mechanical engineering: Part 1*. – Kyiv: NTUU «KPI». [in Ukrainian]
3. Liu, C. L., & Wang, J. (2011). Application of group technology in mechanical processing. *Applied Mechanics and Materials*, 109, 191–194. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.109.191>.
4. Wemmerlöv, U., & Hyer, N. L. (1989). Cellular manufacturing in the U.S. industry: A survey of users. *International Journal of Production Research*, 27(9), 1511–1530.
5. King, J. R., & Nakornchai, V. (1982). Machine–component group formation in group technology: Review and extension. *International Journal of Production Research*, 20(2), 117–133.
6. Markov, A. M., Markova, & M. I., Pletniova, E. M. (2012). Algorithm for designing a group technological process of mechanical machining of parts. *Metal Processing*, 4 (57), 5–9. [in Ukrainian]
7. Nadkernychna, T. M., Lebedeva, O. O., & Terentiev, Ye. O. (2019). Classification of machine-building products according to the ESKD industrial product classifier. <https://ng-kg.kpi.ua/files/Класифікатор2019.pdf> (accessed: 10.11.2025). [in Ukrainian]
8. Ariafar, S., & Ismail, N. (2016). An improved genetic algorithm for multi-objective cell formation problem with production volume and machine load. *Computers & Industrial Engineering*, 98, 347–362.
9. Paydar, M. M., & Saidi-Mehrabad, M. (2017). A hybrid genetic–ant colony algorithm for designing cellular manufacturing systems under demand uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 109, 169–181.
10. Renna, P., & Ambrico, M. (2019). Machine learning-based reconfiguration of cellular manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 53, 353–365.



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

Дата першого надходження статті до видання: 17.04.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 13.05.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026