

СТРАТЕГІЯ, ЗМІСТ ТА НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ З ВИЩОЮ ТЕХНІЧНОЮ ОСВІТОЮ

<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2026-184-1-180-185>

УДК 621.757(075)

С. В. Репінський¹
О. В. Дерібо¹
О. В. Піонткевич¹

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ КІЛЬКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА КОЕФІЦІЄНТІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ В МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

¹Вінницький національний технічний університет

Розглянуто задачу підвищення ефективності проектування механоскладальних дільниць шляхом формалізації та автоматизації визначення кількості основного технологічного обладнання в умовах непотокового виробництва. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зниження трудомісткості проектних розрахунків, підвищення їхньої точності та обґрунтованості вибору складу обладнання під час проектування виробничих підрозділів машинобудівних підприємств.

Запропоновано алгоритм розрахунку кількості верстатів, що базується на визначенні верстатомісткості операцій технологічного процесу механічної обробки заготовок деталей з урахуванням річної програми випуску, структури маршруту обробки та ефективного фонду часу роботи обладнання. Алгоритм забезпечує визначення розрахункової і прийнятої кількості верстатів, а також коефіцієнтів завантаження та використання обладнання за основним часом як узагальнених показників ефективності функціонування технологічної системи.

Розроблено блок-схему алгоритму та програмний засіб у середовищі Delphi, який автоматизує розрахунки, зменшує ймовірність помилок і забезпечує аналіз структури завантаження обладнання. Результати формуються у числовій формі з можливістю подальшого графічного аналізу, що дозволяє виявляти дисбаланс навантаження між операціями та визначати резерви підвищення ефективності технологічного процесу.

Наукова новизна полягає у формалізації процедури визначення складу обладнання механоскладальних дільниць з інтегрованою аналітичною оцінкою ефективності його використання на основі системи коефіцієнтів. Практичне значення результатів полягає у можливості застосування запропонованого програмного засобу для проектування виробничих підрозділів машинобудівних підприємств та у навчальному процесі підготовки фахівців машинобудівного профілю.

Ключові слова: механічна обробка, технологічне обладнання, коефіцієнт завантаження, коефіцієнт використання за основним часом, автоматизація розрахунків, алгоритм, комп'ютерна програма.

Вступ

Ефективність функціонування сучасного машинобудівного виробництва значною мірою визначається раціональним вибором і кількістю технологічного обладнання, що використовується на дільницях механічної обробки. Надлишкова кількість верстатів призводить до зростання капітальних витрат і зниження коефіцієнтів їхнього використання, тоді як недостатня — до перевантаження обладнання, збільшення тривалості виробничого циклу та зниження продуктивності. Тому задача обґрунтованого визначення кількості обладнання є однією з ключових для проектування механоскладальних дільниць і цехів.

Виробниче обладнання цехів механічної обробки складається переважно з металорізальних верстатів, параметри завантаження яких залежать від структури технологічного процесу,

трудомісткості операцій, річної програми випуску деталей і типу виробництва. У практиці технологічного проектування застосовують різні підходи до визначення кількості технологічного обладнання [1]—[4], серед яких найобґрунтованішим є метод розрахунку за верстатомісткістю операцій технологічного процесу. Проте виконання таких розрахунків вручну є трудомістким, потребує затрат часу та супроводжується ризиком помилок.

Сучасні тенденції розвитку машинобудування орієнтовані на цифровізацію інженерних розрахунків та впровадження програмних засобів підтримки проектування. Автоматизація визначення кількості обладнання дозволяє не лише скоротити тривалість проектних робіт, а й підвищити точність оцінки завантаження верстатів та ефективності їх використання. Незважаючи на наявність відомих методик розрахунку, питання їх алгоритмізації та трансформації в прикладні комп'ютерні програми залишаються актуальними.

Мета роботи — розробити алгоритм та програмне забезпечення для автоматизованого визначення кількості технологічного обладнання (верстатів) і показників його завантаження на дільницях механічної обробки.

Основні завдання дослідження:

- проаналізувати наявні підходи до визначення кількості технологічного обладнання в механо-складальному виробництві;
- формалізувати методіку розрахунку верстатомісткості операцій та коефіцієнтів завантаження обладнання;
- розробити алгоритм розрахунку кількості верстатів і показників їх завантаження;
- реалізувати алгоритм у вигляді прикладної комп'ютерної програми;
- оцінити можливості використання програми для аналізу ефективності технологічних процесів.

Результати дослідження

Розглянемо методіку виконання розрахунків кількості основного обладнання на операціях технологічного процесу механічної обробки заготовок деталей машин в умовах непотокового виробництва. Згідно з [1] кількість основного обладнання (верстатів) визначається за формулою

$$C_p = \frac{T_{\Sigma\text{шт-к}}}{60 \cdot F_{\Delta}}, \quad (1)$$

де $T_{\Sigma\text{шт-к}}$ — сумарна верстатомісткість обробки річної кількості деталей, що виготовляються на дільниці (в цеху) на верстатах певного типорозміру, хв.; F_{Δ} — ефективний річний фонд часу роботи верстата, год.

Сумарна верстатомісткість

$$T_{\Sigma\text{шт-к}} = T_{\text{шт-к}} \cdot N_{\text{прив.}}, \text{ шт.} \quad (2)$$

де $T_{\text{шт-к}}$ — штучно-калькуляційний час виконання операції на певному верстаті, хв.; $N_{\text{прив.}}$ — приведена річна програма обробки деталей на певному обладнанні.

Розрахована кількість верстатів на кожній із операцій технологічного процесу механічної обробки округлюється до найближчого більшого числа $C_{\text{пр}}$ — прийнята кількість обладнання.

Коефіцієнт завантаження верстата η_3 визначається як відношення розрахункової кількості верстатів C_p , задіяних на певній операції процесу, до прийнятої (фактичної) $C_{\text{пр}}$

$$\eta_3 = \frac{C_p}{C_{\text{пр}}}. \quad (3)$$

Коефіцієнт використання верстатів за основним часом визначається за співвідношенням основного часу T_o до штучно-калькуляційного часу $T_{\text{шт-к}}$ виконання операцій

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{\text{шт-к}}}. \quad (4)$$

За значеннями η_3 та η_o для всіх верстатів виводяться середні значення коефіцієнтів $\eta_{3\text{сер.}}$ і $\eta_{o\text{сер.}}$ (як середнє арифметичне).

Згідно з запропонованою методикою виконання розрахунків кількості верстатів та коефіцієнтів завантаження обладнання розроблено блок-схему алгоритму розрахунків, яка показана на рис. 1.

Розрахунок кількості обладнання та коефіцієнтів завантаження оформлюють у вигляді зведеної таблиці. Наприклад, у табл. 1 показано результати розрахунку кількості верстатів та коефіцієнтів завантаження для технологічного процесу механічної обробки, який складається з трьох операцій.



Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунку кількості обладнання на дільниці (в цеху) механічної обробки

Розрахунок кількості обладнання

Таблиця 1

№ операції	Технологічне обладнання (верстат)	Розрахункова кількість верстатів, C_p	Прийнята кількість верстатів, $C_{пр}$	Коефіцієнт завантаження обладнання, η_z	Середній коефіцієнт завантаження обладнання, $\eta_{z,ср}$	Коефіцієнт використання обладнання за основним часом, η_o	Середній коефіцієнт використання обладнання за основним часом, $\eta_{o,ср}$
005	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30	0,78	1	0,78	0,75	0,68	0,62
010	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30	0,77	1	0,77		0,66	
015	Вертикально-фрезерний з ЧПК ЛТ260МФ3	0,71	1	0,71		0,51	

У відповідності до розробленого алгоритму розрахунків (рис. 1) створено прикладну комп'ютерну програму «Розрахунок кількості обладнання та коефіцієнтів завантаження на дільниці (в цеху) механічної обробки» [5], [6]. Програмна реалізація виконана в середовищі Delphi (Embarcadero). Інтерфейс програмного засобу показано на рис. 2. Вхідні дані для тестування програми відповідали параметрам технологічного процесу подані у табл. 1.

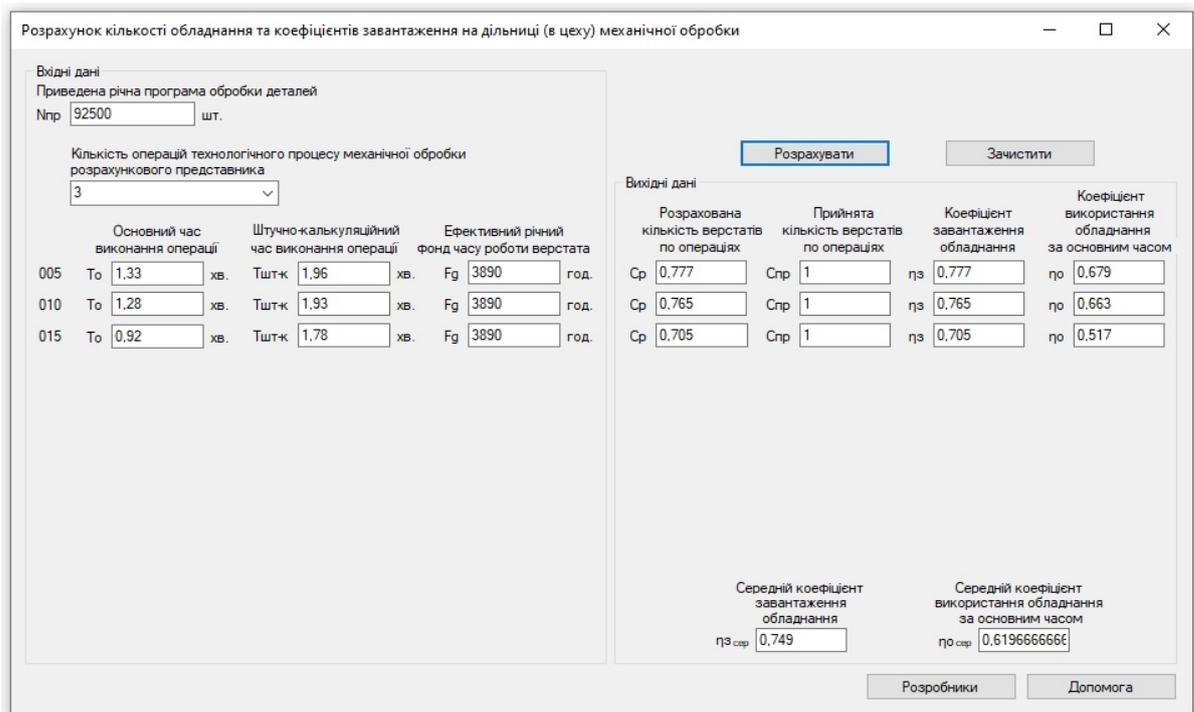


Рис. 2. Інтерфейс програми для розрахунку кількості обладнання на дільниці (в цеху) механічної обробки

Програмний модуль реалізує автоматизовану обробку таких вхідних параметрів: приведеної річної програми випуску деталей, кількості операцій технологічного процесу, значень основного та штучно-калькуляційного часу виконання операцій, а також ефективного річного фонду часу роботи верстата. На основі введених даних здійснюється розрахунок сумарної верстатомісткості, визначається розрахункова і прийнята кількість верстатів, коефіцієнти їх завантаження та використання за основним часом, а також середні значення цих показників по дільниці.

Для аналітичної оцінки ефективності використання обладнання програмою передбачено побудову графічних залежностей: гістограми коефіцієнтів завантаження верстатів та гістограми коефіцієнтів використання обладнання за основним часом. Графік завантаження відображає розподіл ступеня використання обладнання по операціях технологічного процесу, що дозволяє виявляти дисбаланс навантаження та визначати операції, які обмежують пропускну здатність дільниці.

Аналіз отриманих графічних даних дає можливість встановити причини значних відхилень коефіцієнтів завантаження окремих верстатів від середнього значення та сформулювати рекомендації щодо удосконалення структури технологічного процесу. При цьому враховується, що застосування високопродуктивного обладнання може бути економічно доцільним навіть за відносно невисокого коефіцієнта завантаження, якщо це забезпечує скорочення виробничого циклу або зменшення трудомісткості операцій. Отже, оцінка ефективності використання обладнання повинна проводитися з урахуванням техніко-економічних показників виробництва.

Графік використання верстатів за основним часом характеризує співвідношення між основним і допоміжним часом виконання операцій та відображає рівень раціональності організації технологічного процесу. Низькі значення цього показника свідчать про значні витрати часу на допоміжні операції (установлення заготовок, налагодження, зміну інструмента тощо) і можуть бути підставою для впровадження засобів автоматизації, зокрема автооператорів та пристроїв автоматичного завантаження-розвантаження.

На основі результатів програмних розрахунків побудовано графік завантаження верстатів (рис. 3) та графік використання обладнання за основним часом (рис. 4).

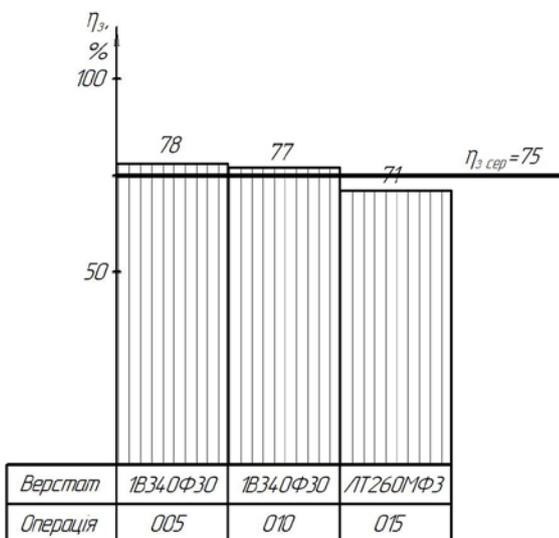


Рис. 3. Графік завантаження верстатів

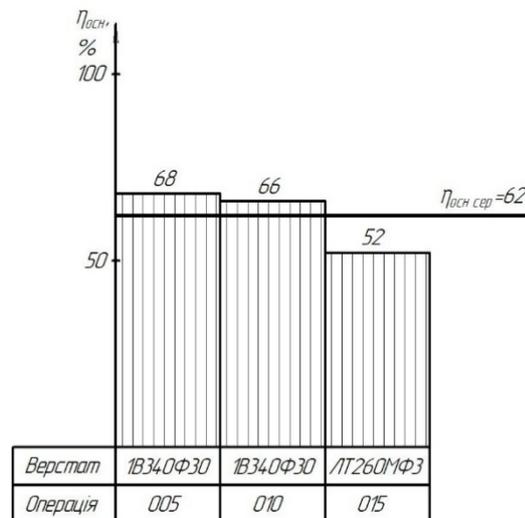


Рис. 4. Графік використання обладнання за основним часом

Відомо [1], що рекомендовані значення коефіцієнта завантаження верстатів становлять: для масового виробництва — 0,65...0,77; серійного — 0,75...0,85; дрібносерійного та одиничного — 0,8...0,9. Відхилення показників у меншу сторону свідчить про неповне використання обладнання та доцільність додаткового завантаження верстатів обробкою інших деталей.

Коефіцієнт використання верстатів за основним часом може змінюватися в межах 0,35...0,9 залежно від типу обладнання та рівня автоматизації. Підвищення цього показника досягається за рахунок зменшення допоміжного часу, автоматизації технологічних переходів і раціоналізації організації робочих місць. Високі значення коефіцієнта характеризують ефективну побудову операцій, тоді як низькі вказують на наявність резервів удосконалення технологічного процесу.

Висновки

1. Розроблено алгоритм автоматизованого визначення кількості технологічного обладнання на дільницях механічної обробки, що базується на розрахунку верстатомісткості операцій технологічного процесу та дозволяє формалізувати процедуру визначення складу обладнання.

2. Запропоновано програмну реалізацію алгоритму у вигляді прикладного програмного засобу, який забезпечує розрахунок кількості верстатів, коефіцієнтів їх завантаження та використання за основним часом, а також визначення середніх показників ефективності використання обладнання по дільниці.

3. Показано можливість застосування програмного засобу для аналітичної оцінки структури завантаження обладнання на основі графічного відображення результатів, що створює умови для виявлення дисбалансу навантаження та резервів підвищення ефективності технологічного процесу.

4. Використання розробленого підходу дозволяє зменшити трудомісткість проектних розрахунків, підвищити їхню точність і обґрунтованість, що має практичне значення для проектування механоскладальних дільниць, а також у навчальному процесі підготовки фахівців машинобудівного профілю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, В. В. Савуляк, і О. В. Сердюк, *Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні*, практикум. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016, 148 с.
- [2] Є. О. Джур, і О. В. Бондаренко, *Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина*, навч. посіб. Дніпро, Україна: Інновація, 2011, 109 с.
- [3] Л. О. Борушак, В. Г. Панчук, Л. Я. Роп'як, і Л. Д. Пігулей, *Основи проектування механоскладальних дільниць і цехів*, навч. посіб. Івано-Франківськ, Україна: ІФНТУНГ, 2018, 194 с.
- [4] С. Ю. Олійник, *Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні*, навч. посіб. для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання. Краматорськ, Україна: ДДМА, 2021, 260 с.
- [5] Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, Я. А. Молчанов, і Д. А. Тарабанський, «Автоматизація розрахунку кількості обладнання на дільниці (в цеху) механічної обробки заготовок деталей.» *матеріали XLVIII науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2019)*, Вінниця, 13–15 березня 2019 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2019/paper/view/7103>.
- [6] С. В. Репінський, Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, Я. А. Молчанов, і Д. А. Тарабанський, «Комп'ютерна програма «Розрахунок кількості обладнання та коефіцієнтів завантаження на дільниці (в цеху) механічної обробки.» *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 90760*. Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Дата реєстр. 15.07.2019.

Рекомендовано кафедрою технологій та автоматизації машинобудування ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 05.02.2026

Репінський Сергій Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: repinskyisv@gmail.com ;

Дерібо Олександр Володимирович — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Піонткевич Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

S. V. Repinskyi¹
O. V. Deribo¹
O. V. Piontkevych¹

Automation of Calculating the Amount of Technological Equipment and Load Factors in Mechanical Assembly Production

¹Vinnitsia National Technical University

The paper addresses the problem of improving the efficiency of designing mechanical assembly sections through the formalization and automation of determining the required amount of main technological equipment under non-flow production conditions. The relevance of the study is determined by the need to reduce the labor intensity of design calculations, increase

their accuracy, and ensure the validity of equipment selection when designing production units of machine-building enterprises.

An algorithm for calculating the number of machine tools is proposed, based on determining the machine-time capacity of machining operations, taking into account the annual production program, the structure of the technological route, and the effective annual operating time of equipment. The algorithm provides determination of both the calculated and accepted number of machines, as well as equipment load factors and utilization factors based on main processing time, which serve as generalized indicators of the efficiency of the technological system.

A block diagram of the algorithm and a software tool implemented in the Delphi environment have been developed. The software automates calculations, reduces the probability of errors associated with manual data processing, and enables analysis of the equipment load structure. The results are generated in numerical form with the possibility of further graphical analysis, which makes it possible to identify load imbalance between operations and determine reserves for improving the efficiency of the technological process.

The scientific novelty lies in the formalization of the procedure for determining the equipment composition of mechanical assembly sections with an integrated analytical assessment of its utilization efficiency based on a system of coefficients. The practical significance of the results lies in the possibility of applying the developed software tool in the design of production units of machine-building enterprises as well as in the educational process for training specialists in mechanical engineering.

Keywords: machining, technological equipment, load factor, main time utilization factor, calculation automation, algorithm, computer program.

Repinskyi Serhii V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, e-mail: repinskyisv@gmail.com ;

Deribo Oleksandr V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Chair of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, e-mail: deriboov@ukr.net ;

Piontkevych Oleh V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Technologies and Automation of Mechanical Engineering, e-mail: piontkevych@vntu.edu.ua