

Дослідження концентрації операцій у сучасному меблевому виробництві

Досліджено показники гнучкості та мобільності обладнання у меблевому виробництві. Розраховано річний баланс роботи різного типу обладнання. Проаналізовано штучно-калькуляційний час обробки деталей на оброблювальному центрі. Наведено порівняльну ефективність дієздатності гнучких виробничих систем.

Assoc. Prof. S.V. Gayda – UNFU

Research of concentration of operations is in modern furniture production

Explored indexes of flexibility and mobility of equipment in a furniture production. Annual balance of work of different type of equipment is expected. Artificially-calculation time of treatment of details is analysed on a processing center. Comparative efficiency of capability of the flexible systems of productions is resulted.

Для сучасних машин характерні швидкодія та надійність, що досягається підвищенням точності та інших характеристик деталей і вузлів. Процес виготовлення таких машин стає все складнішим і трудомістким, а потреба швидкого оновлення продукції меблевого виробництва вимагає скорочення термінів освоєння її виробництва, зокрема перероблення додаткових деревинних ресурсів [1, 9-15]. Дія цих чинників дещо змінює сучасне верстатобудівне виробництво, характер якого визначається мобільністю, тобто спроможністю швидко перейти на новий вид продукції, та ефективністю, що залежить від ряду виробничих показників, зокрема, від ступеня використання обладнання [2-8].

Мобільність властива також неавтоматизованому дрібносерійному та серійному виробництву, яке, однак, при відсутності автоматизації стає малоефективним. Ступінь використання обладнання в дрібносерійному виробництві, наприклад, становить усього 6 % річного фонду часу, у серійному – 8 %, тоді як у великосерійному та масовому – 22 % (табл. 1). Для неавтоматизованого виробництва характерний також тривалий виробничий цикл, оскільки лише 5 % загального часу перебування деталі в цеху припадає на її оброблення на верстаті, решта витрачається на очікування [1, 5, 6].

Табл. 1. Річний розподіл часу використання верстатів, %

Назва параметрів	Виробництва		
	Дрібносерійні	Серійні	Масові
Кількість деталей у партії	m<10	10<m<1000	m>1000
Святкові дні, відпустки	34	28	27
Невикористані друга та третя зміни, допоміжний час	60	64	51
Час роботи верстату	6	8	22

Автоматизацію дрібносерійного та серійного виробництва на можна здійснювати тими ж методами, що й масового. В умовах масового виробництва дерево оброб-

¹ Гайда Сергій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, м. Львів, 79057. Тел.: 032-258-31-75, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

лення розділяють на прості операції, кожна з яких виконується швидко та простими засобами. Однак при цьому ускладнюється автоматизація завантаження виробів на кожній робочій позиції, контролю якості їхнього оброблення та між операційного транспортування. Можна вважати, що складність автоматизації зростає пропорційно до ступеня дроблення обробки.

У зв'язку з цим при автоматизації дрібносерійного та серійного виробництва широко застосовують **концентрацію операцій**, що дає змогу: підвищити якість виробів, скоротити час їхнього оброблення шляхом зменшення кількості допоміжних операцій, поліпшити умови керування виробництвом. **Технічною базою підвищення концентрації оброблення** є обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), що забезпечує: автоматичне переміщення робочих органів верстата за складними траєкторіями, застосування великої кількості автоматично замінюваних інструментів, можливість швидкої заміни керуючих програм. Нові технічні можливості механічного оброблення на основі використання верстатів з ЧПК безпосередньо впливають на вимоги до конструкції виробу і технології його виготовлення. При розчленуванні вузла на деталі замість принципу «деталі прості, їх кількість у виробі несуттєва» доцільно використовувати принцип «складність деталей несуттєва, їх кількість у виробі мінімальна». У цьому випадку повніше використовуються **технологічні можливості верстатів з ЧПК**: знижується як вартість механічного оброблення за рахунок зменшення витрат часу на допоміжні та обслуговуючі операції, зменшується вартість наступного складання завдяки точнішому взаємному розташуванню поверхонь у складальних деталях та зменшенню загальної кількості складальних одиниць.

Інша важлива перевага обладнання з ЧПК – нескладність переналагодження – забезпечує мобільність виробництва, що сприяє підвищенню ступеня використання обладнання та скорочення термінів освоєння нових виробів. **Проблеми автоматизації багато номенклатурного виробництва вирішує гнучке автоматизоване виробництво (ГАВ)**. Технологічна і організаційна ефективність впровадження ГАВ звичайно оцінюється рядом показників – коефіцієнтом використання обладнання, коефіцієнтом змінності і завантаження обладнання, коефіцієнтом гнучкості, а також показниками надійності (напрацювання на відказ, показниками готовності, ремонтпридатності і т.п.). Однією з основних характеристик ГАВ є **гнучкість**. Дана характеристика цілком і повністю характеризує автоматичну верстатну систему, тобто її найменшу одиницю — гнучкий виробничий модуль (**ГВМ**). Під **гнучкістю** виробничої системи розуміють її властивість адаптуватися до виготовлення виробів довільної номенклатури з певними обмеженнями їхніх характеристик.

Гнучкість визначається двома величинами:

- **універсальністю**, що характеризує потенційні можливості адаптації виробничої системи, тобто її технологічні можливості (для системи, що випускає стабільну номенклатуру, універсальність визначається як кількість типорозмірів виробів, що їх можна виготовити). Широка універсальність досягається застосуванням інструментальних магазинів (до 120 інструментів), уніфікованих агрегатних вузлів (до 36 шпинделів);
- **мобільністю**, що характеризує час адаптації (швидкість переналагодження) виробничої системи при переході на виготовлення виробу іншого типорозміру. Висока мобільність забезпечується швидкою заміною управляючої програми. А це сприяє підвищенню ступеня використання обладнання та скороченню термінів освоєння нових виробів.

Кількісну характеристику гнучкості G виробничої системи (верстатної системи, якщо йдеться про один ГВМ, (одиницю обладнання з ЧПК) обчислюють за допомогою виразу

$$G = K_Y \cdot K_M \quad (1)$$

де: K_Y — коефіцієнт універсальності ГВМ; K_M — коефіцієнт мобільності ГВМ.

Коефіцієнт універсальності K_Y залежить від кількості різних функціональних станів *гнучкої виробничої системи* (ГВС), кожен з яких відповідає працездатному стану для оброблення одного з типорозмірів деталей, закріплених за системою. Враховуючи, що граничні значення K_Y дорівнюють 0 і 1 при коливанні кількості типорозмірів деталей від 1 до ∞ , отримаємо формулу для визначення в загальному вигляді **коефіцієнта універсальності**:

$$K_Y = 1 - \frac{1}{n}, \quad (2)$$

де n — кількість типорозмірів деталей, що обробляються на ГВС (рис. 1, а).

Універсальність виробничої системи залежить від універсальності кожного функціонально самостійного її елемента та характеру взаємодії між цими елементами. Наприклад, **ГВМ** для оброблення деталей включає такі функціонально самостійні елементи: верстат з ЧПК, затискний пристрій верстата, завантажувальний *промисловий робот* (ПР) із захватом та магазин-нагромаджувач деталей. Можна вважати, що верстат з ЧПК має достатню кількість технологічних рухів та широкий діапазон регулювання швидкостей і подач, щоб обробляти велику номенклатуру виробів. Кожен з інших функціонально самостійних елементів відповідно зменшує універсальність виробничої системи. Тільки певні деталі можна закріплювати одним затискним пристроєм, деякі поверхні можна обробляти тільки спеціальним інструментом, деякі деталі не можна вставляти в магазин-нагромаджувач або вони не взаємодіють із захватом ПР.

Таким чином, чим більше функціонально самостійних елементів містить виробнича система, тим нижча її універсальність. Універсальність виробничої системи, що складається з m функціонально самостійних елементів, які послідовно взаємодіють з оброблюваною деталлю, можна визначати з формули

$$K_Y = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot \dots \cdot K_m = \prod_{j=1}^m K_{Y,j}, \quad (3)$$

де: $K_{Y,j}$ — коефіцієнт універсальності j -го елемента виробничої (верстатної) системи. Наприклад, $K_{Y,1}$ — коефіцієнт універсальності верстату з ЧПК; $K_{Y,2}$ — коефіцієнт універсальності затискного пристрою верстата; $K_{Y,3}$ — коефіцієнт універсальності завантажувального ПР; $K_{Y,4}$ — коефіцієнт універсальності магазину-нагромаджувача деталей тощо.

Коефіцієнт мобільності K_M характеризує витрати часу на адаптацію верстатної системи до оброблення нового виробу. Його обчислюють з виразу:

$$K_M = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n T_{П,i} / \sum_{i=1}^n t_i P_i}, \quad (4)$$

де: $T_{П,i}$ — час переналагодження верстатної системи для оброблення деталі i -го типорозміру; t_i — час оброблення деталі i -го типорозміру; P_i — величина партії запуску деталі i -го типорозміру; n — кількість типорозмірів деталей.

Для підвищення **коефіцієнта мобільності K_M** потрібно забезпечити швидке переналагодження всіх основних і допоміжних пристроїв верстатної системи, що взаємодіють із деталлю. Крім цього, як бачимо з аналізу виразу для K_M , мобільність верстатної системи зросте при збільшенні величини партії за-

пуску деталей (рис. 1, б). Коефіцієнт гнучкості G гнучкої верстатної системи (ГВС):

$$G = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n T_{\Pi, i} / \sum_{i=1}^n t_i P_i}. \quad (5)$$

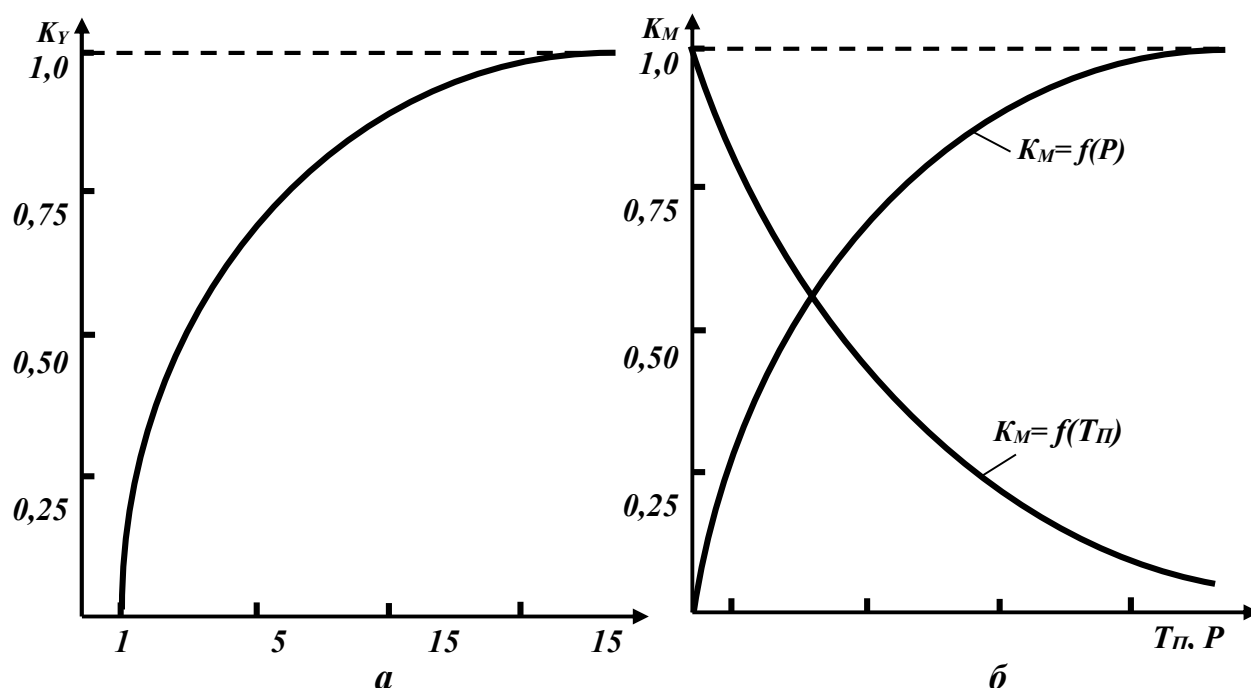


Рис. 1. Залежності коефіцієнта універсальності K_U виробничої системи від кількості типорозмірів оброблюваних деталей (а) та коефіцієнта мобільності K_M від тривалості переналагодження T_{Π} та обсягу виробничої партії P (б)

Дані теоретичні дослідження універсальності та мобільності обладнання з ЧПК були перевірені у виробничих умовах на оброблювальному центрі Optimat ВНС-350 фірми WEEKE групи HOMAG. Було хронометрично перевірено та встановлено штучно-калькуляційний час, тобто основний час на обробку фасадної поверхні деталі та допоміжний час на переналагодження оброблювального центру (табл. 2). Встановлено, що машинний час, тобто час переналагодження ОЦ, становить 1/3 від основного часу оброблення, що зовсім мало у порівнянні з часом переналагодження верстатів загального призначення, де він становить кілька разів більше, ніж час обробки.

Наближене порівняння різних ГВМ (РТК) можна проводити за **індексом гнучкості**, що визначається за формулою:

$$U = \frac{N}{P_i} \cdot \frac{k}{100}, \quad (6)$$

де: N — номенклатура деталей, що випускаються системою за визначений період часу, шт; P_i — величина партії запуску деталі i -го типорозміру, шт; k — частка деталей, що виготовляються системою вперше, %.

Індекс гнучкості найбільш доцільно визначати з середньорічних характеристик системи.

Обґрунтовано, що надання автоматизованому деревооброблювальному виробництву **гнучкості** завдяки ГВМ та РТК поліпшило б його ефективність у таких основних напрямках:

1. **Скорочення часу освоєння нового виробу**, в основному за рахунок зменшення кількості допоміжних операцій.

2. **Підвищення якості виробів**, що забезпечується більшою точністю та шорсткістю верстатів з ЧПК, високою концентрацією оброблення на кожному верстаті, та усунення впливу суб'єктивного чинника на процес оброблення. Підвищення якості деталей спрощує та здешевлює автоматичне складання виробів. На Міжнародному конгресі меблевої індустрії під час проведення спеціалізованої виставки ZOW-2006 (23 листопада 2006 року, м. Москва, Росія) було зауважено, що на сучасному етапі розвитку автоматизації деревооброблювального виробництва головним завданням є поліпшення якості продукції та скорочення часу освоєння нового виробу. Одним з найяскравіших відкриттів ZOW-2006 стала справжня виробнича лінія з випуску меблів, яку представляла компанія IMOSAG разом з EGGER і HETTICH INTERNATIONAL на території в 100 м². Це сучасна меблева фабрика з ЧПК. Ця лінія об'єднує всі стадії меблевого виробництва, а процеси контролюються однією комп'ютеризованою системою і виконуються лише однією програмою.

Табл. 2. Розрахунок штучно-калькуляційного часу оброблення деталі

Вид оброблення під час виготовлення фасадних поверхонь	Штучний час							Підготовчо-заклучний час, який припадає на одну деталь з партії даного розміру
	Основний час	Оперативний час				час на обслуговування робочого місця	час на особисті потреби оператора	
		Допоміжний час			час на встановлення та зняття заготовки			
		Машинний час						
		час на підведення інструменту	час на позионування робочих органів	час на заміну інструменту				
Оброблення за перетином фрезою №1	60	6	2	10	60	30	6	
Фрезерування пласті фрезою №2	50	5	2	10				
Фрезерування пласті фрезою №3	40	4	2	10				
Разом, с	150	15	6	30	60	30	6	3
Всього, с	300							

3. **Підвищення продуктивності**, що при гнучкій автоматизації досягають не так інтенсифікацією режимів оброблення, як шляхом використання резервів часу. Справді, в автоматизованих гнучких верстатних системах в основному застосовують одноінструментальне оброблення з режимами різання — розкрійні центри, подібними до режимів традиційного виробництва. Отже, тільки раціональне використання резервів часу дає змогу значно підвищити завантаження верстата. Найперше відчутно скорочується час виконання допоміжних і контрольних операцій, оскільки концентрація оброблення приводить до вкорочення технологічних маршрутів. Крім цього, зменшуються простої верстата, зумовлені технічними (відмова обладнання та інструментів) й організаційними (відсутність персоналу, матеріалів, інструментів, оснащення, енергії тощо) причинами та потребою переналагодження обладнання. Верстат також простоє у вихідні та святкові дні, під час третьої зміни. Інша організація роботи верстата з ЧПК, наприклад, функціонування в складі ГВС, дає змогу використовувати його протягом 6 год. у третій зміні без обслуговування, що становить 14 % фонду часу. Вер-

стат може працювати під час обідніх перерв (3 % фонду часу), можна поліпшити його постачання інструментами, заготовками, оснащенням (4 %). Усе це дає змогу підвищити час роботи верстата до 48 % календарного фонду часу.

4. **Зниження собівартості продукції**, що досягають за рахунок дешевого обслуговування промисловим роботом (ПР) порівняно з оплатою заміненіх ним робітників та зменшення витрат на зберігання міжопераційних запасів деталей. Наприклад, один ПР коштує 24 тис. дол. США, що дорівнює заробітній платі робітника за 5 років при його роботі по 8 год. на день. Зважаючи на те, що ПР може працювати більше 8 год. на добу, а термін його служби перевищує 5 років, то очевидно, що його застосування знижує собівартість продукції. Ще одним джерелом зниження собівартості продукції є зменшення обсягу незавершеного оброблення на 30...60 %, скорочення міжопераційних запасів матеріалів та комплектувальних виробів. Якщо в традиційному серійному виробництві деталь, яка є в цеху, тільки 5 % часу перебуває на верстатах, із яких лише 30 % часу її обробляють, то в умовах ГАВ деталь перебуває на верстатах 75 % часу, із яких 60 % часу витрачається на її оброблення (табл. 3).

5. При запровадженні на виробництво гнучких ліній та дільниць у 2-3 рази буде **підвищуватися ефективність використання обладнання** за рахунок мінімізації часу переналагодження його на випуск іншої продукції.

Табл. 3. Аналіз річного балансу часу роботи обладнання

Розподіл часу завантаження обладнання	Верстат загального призначення		Верстат з ЧПК		Гнучкий виробничий модуль	
	год.	%	год.	%	год.	%
Річний календарний фонд часу	8760	100	8760	100	8760	100
Вихідні та святкові дні	2730	31,16	2730	31,16	2730	31,16
Не використані 2 та 3 зміни, ремонт	2020	23,06	2020	23,06	2020	23,06
Відсутність матеріалів, інструменту, оснащення, енергії, персоналу	1008	11,51	680	7,76	680	7,76
Відмова обладнання та інструментів	380	4,34	180	2,05	280	3,20
Заміна інструменту	721	8,23	350	4,00	200	2,28
Переналагодження	1200	13,70	260	2,97	155	1,77
Втрати часу	8059	92,00	6220	71,00	6065	69,24
Робота без персоналу протягом 6 год. у третю зміну	0	0	0	0	1260	14,38
Робота під час обідньої перерви	0	0	0	0	250	2,85
Безперервна робота обладнання	701	8,00	2540	29,00	4205	48,00
Час перебування деталі на верст. в цеху		5		60		70
Час оброблення деталі стосовно часу перебування її в цеху		30		50		55
Коефіцієнт використання обладнання у першу зміну		62,23		83,22		87,84

Висновок. Об'єднання автономних гнучких виробничих модулів (ГВМ) у гнучкі виробничі системи (ГВС) дозволить змінити такі фактори (табл. 4).

Табл. 4. Порівняльна ефективність дієдатності ГВС

№	Порівняльні параметри	Верстати звичайні	ГВС	Зміна, разів
1.	Збільшиться коефіцієнт завантаження	0,4...0,6	0,85...0,95	У 2 рази
2.	Збільшиться коефіцієнт змінності роботи	1,3...1,6	2,5	У 2 рази
3.	Скоротиться виробничий цикл оброблення	100 %	10...15 %	У 6...10 разів

4.	Зменшиться час очікування деталей для оброблення	95 %	25%	У 4 рази
5.	Збільшиться час перебування деталей на верстатах у цеху	5 %	75 %	У 15 разів
6.	Збільшиться час оброблення деталей на верстатах	30 %	60 %	У 2 рази
7.	Зросте концентрація оброблення деталей	1,5 %	45 %	У 30 разів
8.	Зменшиться виробнича площа обладнання	100 %	30...50 %	У 2...3 рази
9.	Збільшиться ступень використання обладнання у річному фонді часу	6...8 %	48...56 %	У 7...8 раз
10.	Зменшення обсягу незавершеного оброблення	100 %	40...70 %	На 30...60%

Література

1. **Гайда С.В., Кшивецький Б.Я., Войтович І.Г. Прокопович Б.В.** Тлумачний словник з деревооброблення. – Львів: НЛТУ України. – 2002. – 280 р.
2. **Гайда С.В.** Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Основи робототехніки. – Львів: ВМС. – 1998, – 145 с.
3. **Гайда С.В.** Особливості та перспективи роботизації меблевої промисловості України / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2002, вип. 12.5 – С. 38-40.
4. **Гайда С.В.** Основи створення гнучких автоматизованих виробництв. – 1998. – 149 с.
5. **Гайда С.В.** Проблеми та перспективи роботизації меблевої промисловості / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 1999, вип. 9.5. – С. 192-195.
6. **Гайда С.В.** Гнучкі виробничі модулі для виготовлення ґратчастих меблевих виробів / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2003, вип. 13.2. – С. 120-122.
7. **Гайда С.В.** Інтегровані технології меблевого виробництва / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.4 – С. 118-121.
8. **Гайда С.В., Кшивецький Б.Я.** Техніко-економічні характеристики деревообробної фабрики майбутнього / Науковий вісник УкрДЛТУ. – Львів. – 1999, вип. 9.3 – С. 83-85.
9. **Гайда С.В.** Особливості розрахунку корпусних виробів на міцність / Науковий вісник УкрДЛТУ / наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ. – 2000, вип. 10.2 – С. 150-154.
10. **Гайда С.В.** Визначення стійкості та міцності вертикальних стінок корпусних меблевих виробів / Науковий вісник УкрДЛТУ. – Львів: УкрДЛТУ. – 2000, вип. 10.3 – С. 127-129.
11. **Гайда С.В., Никитюк Л.О.** До питання застосування екстрагованої деревини для плитного виробництва / Науковий вісник УкрДЛТУ. – Львів. – 1998, вип. 8 – С. 75-77.
12. **Gayda S.V.** (2001): Раціональне конструювання виробів з деревини / Rational constructing of wood Productss. Lviv: BMC. – 93 p. (in Ukr.).
13. **Gayda S.V.** (2000): Матеріали для виготовлення виробів з деревини / Materials for the Production of wood Productss. Lviv: BMC. – 160 p. (in Ukr.).
14. **Гайда С.В.** Проблема деревної сировини у Європі та Україні // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. – Львів: НЛТУ України. – 2007, вип. 33. – С. 55-63. <https://doi.org/10.36930/42073312>
15. **Гайда С.В., Максимів В.М.** Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. – Львів: НЛТУ України. – 2007, вип. 33. – С. 63-73. <https://doi.org/10.36930/42073313>