

ЛЕКЦІЯ 2

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВНОГО ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Забезпечення найбільш повного використання можливостей сучасного різального інструменту базується на підвищенні режимів роботи — швидкості різання та подачі і призводить до скорочення основного (машинного) часу — часу різання, а відповідно і до зростання продуктивності праці. Проте продуктивність зростає не пропорційно до скорочення машинного часу.

Розглянемо залежність між зростанням продуктивності праці та скороченням машинного часу.

Прийmemo такі позначення:

$T_{шт}$ – штучний час;

T_0 – основний час - час, протягом якого відбувається різання;

k' — частка основного часу в штучному $T_0 = k' T_{шт}$;

n – найбільше число обертів шпинделя верстата до модернізації;

n' – найбільше число обертів шпинделя верстата після модернізації;

q – коефіцієнт підвищення швидкохідності після модернізації

$$q = \frac{n'}{n}$$

Q - продуктивність до модернізації;

Q' - продуктивність після модернізації;

ε — коефіцієнт підвищення продуктивності верстата після модернізації

$$\varepsilon = \frac{Q'}{Q}$$

Продуктивність верстата до модернізації визначається виразом

$$Q = \frac{1}{T_{шт}}, \quad (1)$$

З метою визначення зростання продуктивності верстата при підвищенні швидкохідності представимо вираз (1) у вигляді:

$$Q = \frac{1}{T_{шт} - T_0 + T_0}$$

Оскільки

$$T_0 = k' T_{шт}$$

то
$$Q = \frac{1}{(T_{шт} - k' T_{шт}) + k' T_{шт}} = \frac{1}{(1 - k') T_{шт} + k' T_{шт}}$$

Прийmemo в першому наближенні, що при одночасному підвищенні швидкохідності та потужності основний час скорочується обернено пропорційно підвищенню швидкохідності q . Тоді продуктивність верстата Q' після підвищення швидкохідності в q разів може бути виражена формулою

$$Q' = \frac{1}{(1 - k') T_{шт} + \frac{k' T_{шт}}{q}} = \frac{q}{T_{шт} [(1 - k') q + k']}, \quad (2)$$

Відповідно підвищення продуктивності після модернізації дорівнюватиме

$$\varepsilon = \frac{Q'}{Q} = \frac{q}{(1 - k')q + k'} \quad (3)$$

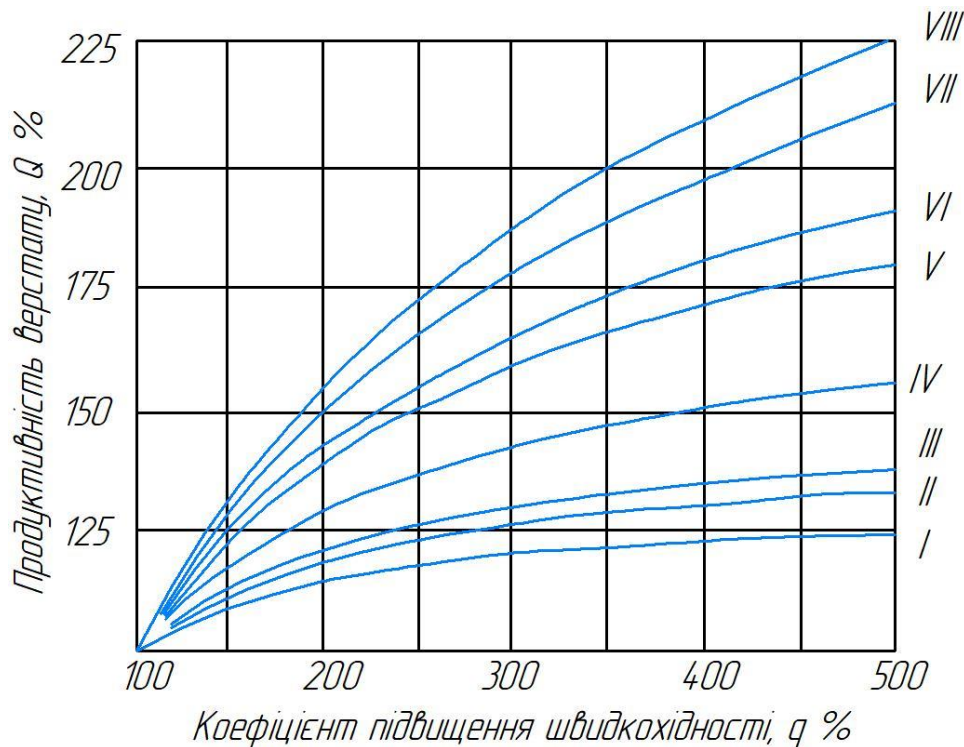
Завдяки проведеним дослідженням встановлено склад норми часу для верстатів різного типу (табл. 1), що дозволяє розглянути питання про підвищення продуктивності стосовно ряду певних видів верстатів.

Величина коефіцієнта k' визначиться як

$$k' = \frac{c}{100}$$

де c - частка часу різання у відсотках наведена у табл. 1.

На підставі формули (3) та табл. 1 побудовано графіки зростання продуктивності при підвищенні швидкохідності та потужності верстатів різних типів (рис. 1). Для окремих типів верстатів криві об'єднані, оскільки значення k' цих верстатів близько збігаються.



Тип верстату	Номера кривих для різноманітних типів виробництв	
	одиничне і дрібносерійне	масове і крупносерійне
Токарний	I	-
Токарно-револьверний	III	IV
Одношпindelний автомат	-	VII
Багатошпindelний автомат	-	VIII
Вертикально-свердлильний	IV	VII
Радіально-свердлильний	II	V
Круглошліфувальний	III	V

Рис. 1. Графік залежності підвищення продуктивності різних верстатів від підвищення швидкохідності та потужності.

Аналіз цих кривих показує, що при встановлених в даний час режимах роботи подальше підвищення швидкохідності і потужності може дати порівняно невелике підвищення продуктивності верстата. Наприклад, для найпоширенішої групи токарних верстатів підвищення швидкохідності і потужності вдвічі дає підвищення продуктивності тільки на 15%, а револьверних верстатів, що використовуються в дрібносерійному виробництві, - на 21%. Однак таке значне підвищення швидкохідності далеко не завжди можливе. При підвищенні потужності та швидкохідності в 1,5 рази підвищення продуктивності токарних верстатів становитиме лише 10%, револьверних верстатів - 13%, вертикально-свердлильних 18%, радіально-свердлильних - 12%. Дещо кращі результати виходять при підвищенні швидкохідності та потужності верстатів, що використовуються у крупносерійному та масовому виробництвах.

Практично підвищення продуктивності виявиться дещо меншим, ніж це виходить на підставі наведених на рисунку 1 кривих, так як не всі операції, які здійснюватимуться на модернізованому верстаті, можна виконати при підвищених режимах. Таким чином, фактичне підвищення продуктивності становитиме 60—70% отриманого за графіком.

Знаючи межі підвищення продуктивності, можна визначити економічний ефект, який дає модернізація. Слід зазначити, що ряд заводів не аналізує економічний ефект і нерідко вдається до складних переробок верстата, при яких витрати не окупаються підвищенням продуктивності праці, що виходить при цьому.

Слід зазначити, що аналогічна картина зростання продуктивності виходить зі збільшенням подачі або одночасному збільшенні подачі та швидкості, а також при скороченні основного часу за рахунок концентрації операцій та переходів.

Проведений аналіз показує, що у тих випадках, коли частка часу різання в загальному штучному часі не велика, часткова модернізація верстатів з метою забезпечення найбільш повного використання можливостей сучасного різального інструменту або концентрації операцій та переходів далеко не завжди дає суттєве підвищення продуктивності.

Вона виявляється доцільною тільки при одночасному проведенні заходів щодо скорочення допоміжного часу або автоматизації циклу обробки та усунення різноманітних втрат.

Межі, за якими скорочення основного часу без одночасного скорочення допоміжного часу та інших заходів мало ефективно, можуть бути встановлені за допомогою кривих фіг. 1. Використовуючи ці криві, можна виявити, який із перших трьох напрямків модернізації є найбільш актуальним. Разом з тим, встановлюючи на основі кривих межі підвищення продуктивності, можна визначити економічний ефект, що виходить, і допустимі витрати на модернізацію, а відповідно і обсяг робіт.

Забезпечення повного використання можливостей різального інструменту, як правило, вимагає підвищення потужності та швидкохідності верстата, що модернізується, що може бути досягнуто відповідною модернізацією приводу головного руху.

При підвищенні швидкохідності необхідно також модернізувати шпиндельні підшипники.

У ряді випадків для повного використання можливостей різального інструменту доводиться модернізувати також привід подач, підвищуючи верхню межу подач і

потужність приводу подачі.

У ряді випадків для повного використання можливостей ріжучого інструменту доводиться модернізувати також привід подач, підвищуючи верхню межу подач і потужність приводу подачі.

При підвищенні швидкохідності верстату можлива поява вібрацій у процесі різання, які можуть стати перешкодою для роботи з високими режимами. Одним з методів боротьби з вібраціями, поряд із застосуванням віброгасника, є підвищення жорсткості верстата, що модернізується.

Таким чином, забезпечений для найбільш повного використання можливостей сучасного різального інструменту потрібно підвищення швидкохідності, потужності та жорсткості верстата, що досягається модернізацією приводів головного руху та подачі, шпіндельних вузлів та проведенням низки заходів щодо підвищення жорсткості.

Таблиця 1

Розподіл витрат робочого часу у % протягом зміни (480 хв.) за групами витрат

Тип верстата	Тип виробництва										
	одиничне та дрібносерійне					крупносерійне та масове					
	Час різання	Допоміжний час	Час технічного обслуговування робочого місяця	Підготовчо-заклучний час	Час, що витрачається з організаційно-технічних причин	Час різання	Допоміжний час	Час технічного обслуговування	Підготуйте льно-заклучний час	Час відновлення працездатності верстата	Час, що витрачається з організаційно-технічних причин
Токарний	26,0	24	5,0	16,0	29	-	-	-	-	-	-
Токарно-револьверний	35,0	25	7,0	11,0	22	60,5	18	6	2,5	3,0	10
Круглошліфувальний	36,5	25	16,5	6,0	16	56,5	20	10:	2,5	1,5	9,5
Горизонтально-розточний	18,0	26	14,0	7,0	35	-	-	-	-	-	-
Вертикально-свердлильний	44,6	23	9,9	6,5	16	64,7	15	5	3,0	1,5	10,8
Радіально-свердлильний	32,5	17	11,5	17,0	22	57,0	18	4	5,0	1,0	15
Одношпindelний багаторізцевий напівавтомат	-	-	-	-	-	55,5	19	10	1,5	5,0	9,5
Вертикальний багатошпindelний автомат	-	-	-	-	-	53,0	14	14	1,0	10,0	7
Одношпindelний прутковий автомат	-	-	-	-	-	66,0	13	6	-	4,0	11
Багатошпindelний прутковий автомат	-	-	-	-	-	69,5	11	5	-	4,5	10

2. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВОДІВ ГОЛОВНОГО РУХУ ТА ПОДАЧІ

ФОРМИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПРИВОДІВ ГОЛОВНОГО РУХУ

Привід головного руху складається з трьох ланок: постійної передачі (ременної або зубчастою), що зв'язує електродвигун із коробкою швидкостей, коробки швидкостей і рідше – постійної передачі, що зв'язує коробку швидкостей із шпинделем.

Загальне підвищення швидкохідності приводу. Підвищення швидкохідності найпростіше, можна досягти зміною передатного відношення першої постійної передачі, що зв'язує електродвигун з першим валом коробки швидкостей. Підвищення швидкохідності можна також домогтися скасуванням першої передачі та безпосереднім з'єднанням валу електродвигуна з першим валом коробки швидкостей або заміною електродвигуна новим, більш швидкохідним.

При всіх розглянутих варіантах підвищення швидкохідності підвищується число обертів всіх ланок приводу. Це має як позитивне, так і негативне значення.

Потужність, яку може передати той чи інший елемент приводу, визначається виразом

$$N = \frac{Mn}{71620}, \text{кВт}$$

де M - крутний момент, який може передати даний елемент за умовами міцності та довговічності; n – число обертів шпинделя.

Зі збільшенням числа обертів n зростатиме і потужність, яку може передати цей елемент приводу. Однак вона зростатиме не прямо пропорційно числу обертів, оскільки зі збільшенням числа обертів та числа циклів навантажень зменшуватимуться значення допустимих напруг за умов довговічності, а відповідно і крутні моменти.

Одночасно зі збільшенням числа обертів зростають динамічні навантаження, додані до елементам приводу, що також призводить до зменшення корисних крутних моментів, які можуть передавати ці елементи.

Збільшення числа циклів навантажень і динамічних навантажень найбільше позначається на зубчастих колесах, які в першу чергу обмежують підвищення швидкохідності і потужності приводу.

Як показує аналітичне дослідження, потужність, яку може передати дана пара зубчастих коліс, спочатку з підвищенням числа обертів зростає, досягаючи свого максимуму, а потім знову падає (рис. 2, а).

Якщо до модернізації провідна шестерня даної пари мала число обертів n_1 і могла передавати потужність N_1 , то з підвищенням числа обертів до величини n_2 потужність може бути збільшена до значення N_2 (рис. 2, б). При надмірному підвищенні числа обертів до величини n_3 напруги, що допускаються, і динамічні навантаження обмежують величину потужності, яку може передати дана пара зубчастих коліс, значенням N_3 . Отже, при надмірному підвищенні швидкохідності ми будемо змушені, щоб уникнути руйнування шестерень знизити потужність приводу.

Таким чином, якщо до модернізації швидкості всіх шестерень приводу розташовані в лівій частині графіків потужності, то при загальному підвищенні швидкохідності є можливість одночасно підвищити потужність приводу.

Підвищення швидкохідності приводу під час модернізації має здійснюватися виходячи з ретельного аналізу умов роботи зубчастих передач, оскільки довільне підвищення швидкохідності може призвести до передчасного виходу верстата з ладу. Аналіз умов роботи зубчастих передач дозволить визначити оптимальну межу підвищення швидкохідності, що забезпечує одночасне підвищення потужності, що може передати привід.

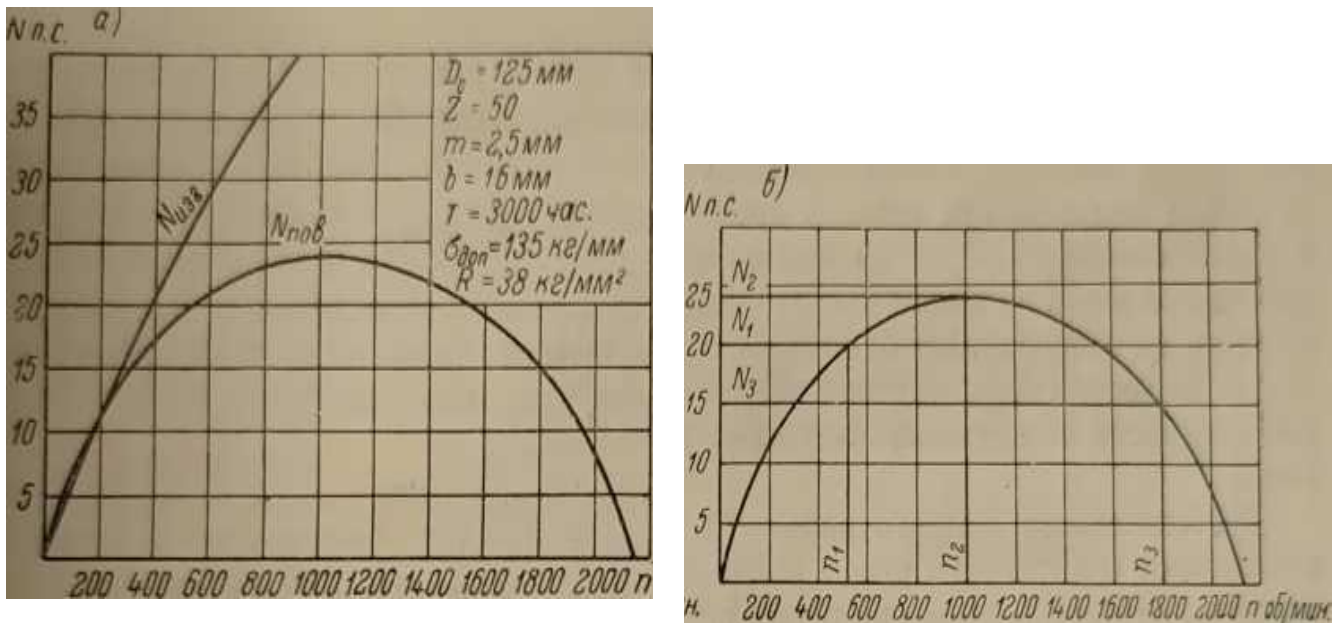


Рисунок 2. Графік залежності потужності, яку може передати пара зубчастих коліс від числа обертів провідної шестерні.

$N_{зг}$ — потужність, яку може передавати шестерня до напруг, що допускаються, вигину; $N_{пов}$ — потужність, яку може передавати шестерня за контактною напругою, що допускається.

Якщо окремі зубчасті пари обмежують підвищення швидкохідності та потужності, ці пари можуть бути замінені новими — посиленими. Посилення досягається за рахунок збільшення ширини коліс або введення термічної обробки або застосування якіснішого матеріалу для виготовлення коліс.

При загальному підвищенні швидкохідності приводу нерідко виникає необхідність удосконалення системи змащення: заміни змащення розбризкуванням циркуляційним змащенням.

З підвищенням швидкохідності приводу зростають також втрати холостого ходу, внаслідок чого ефективна потужність зростає не пропорційно потужності електродвигуна.

У цілому нині система модернізації приводу із збільшенням передавального відношення першої ланки відрізняється простотою й забезпечує у багатьох випадках підвищення швидкохідності і потужності до 2—2,5 разу. Дана форма модернізації може бути використана для підвищення потужності та швидкохідності більшості верстатів, випущених за останні 30-50 років.

Підвищення швидкохідності шпинделя. Якщо аналіз роботи елементів приводу показує, що при підвищенні швидкохідності потужність, яку можуть передати ці елементи, зменшується або швидкості тих чи інших елементів виходять за межі допустимих, можна використовувати варіант модернізації зі збільшенням передавального відношення передачі від коробки швидкостей до шпинделя (фіг. 2, а).

При підвищенні швидкохідності верстата шляхом збільшення передавального відношення останньої ланки потужність приводу може бути підвищена тільки за рахунок використання запасів міцності його деталей. Роботи, проведені в галузі модернізації приводів, показують, що в більшості випадків деталі приводів не мають достатніх запасів міцності, і ця форма модернізації не забезпечує одночасного підвищення потужності та швидкохідності. Більше того, *внаслідок зростання втрат холостого ходу ефективна потужність може виявитися навіть меншою за ту, яка була до модернізації.*

Достоїнствами даного варіанту є його простота та можливість підвищення швидкохідності у значних межах. Ця форма модернізації може бути застосована тоді, коли верстат систематично використовується для виконання напівчистових або чистових операцій, обробки деталей з малими припусками, наприклад, деталей приладів тощо.

Одночасне підвищення загальної швидкохідності приводу та швидкохідності шпинделя. Якщо загальна швидкохідність приводу при одночасному збільшенні потужності може бути підвищена тільки в обмежених межах, додаткове підвищення швидкохідності досягається збільшенням передаточного відношення передачі від коробки швидкостей до шпинделя. Ця форма модернізації також порівняно не складна і забезпечує значне підвищення потужності та швидкохідності. Вона широко застосовується рядом заводів для підвищення швидкохідності та потужності верстатів ДПІ-200, 1Д62, 1Д62М, VDF та їм подібних, причому досягається підвищення швидкохідності та потужності вдвічі.

Зміна кінематики приводу. У ряді випадків, коли попередні форми модернізації приводу не можуть забезпечити підвищення потужності та швидкохідності, необхідних результатів можна досягти шляхом більш складних змін кінематики приводу головного руху, що вимагають встановлення нових зубчастих передач, валів тощо. Такі форми модернізації пов'язані зі значними витратами та можуть виправдати себе під час модернізації важких верстатів, вартість яких значно перевищує витрати на модернізацію, а також таких верстатів, що лімітують випуск продукції на даній виробничій ділянці.

Установка ремінної передачі безпосередньо від електродвигуна до шпинделя. У тих випадках, коли розглянута вище модернізація проводиться в умовах масового виробництва, можна відмовитися також від приставної коробки швидкостей і обмежитися прямою передачею електродвигуна до шпинделя (рис. 3).

Вони дають при цьому чудові результати, перетворюючи при порівняно невеликих витратах малопродуктивний верстат на сучасну машину з дещо звуженим діапазоном використання.

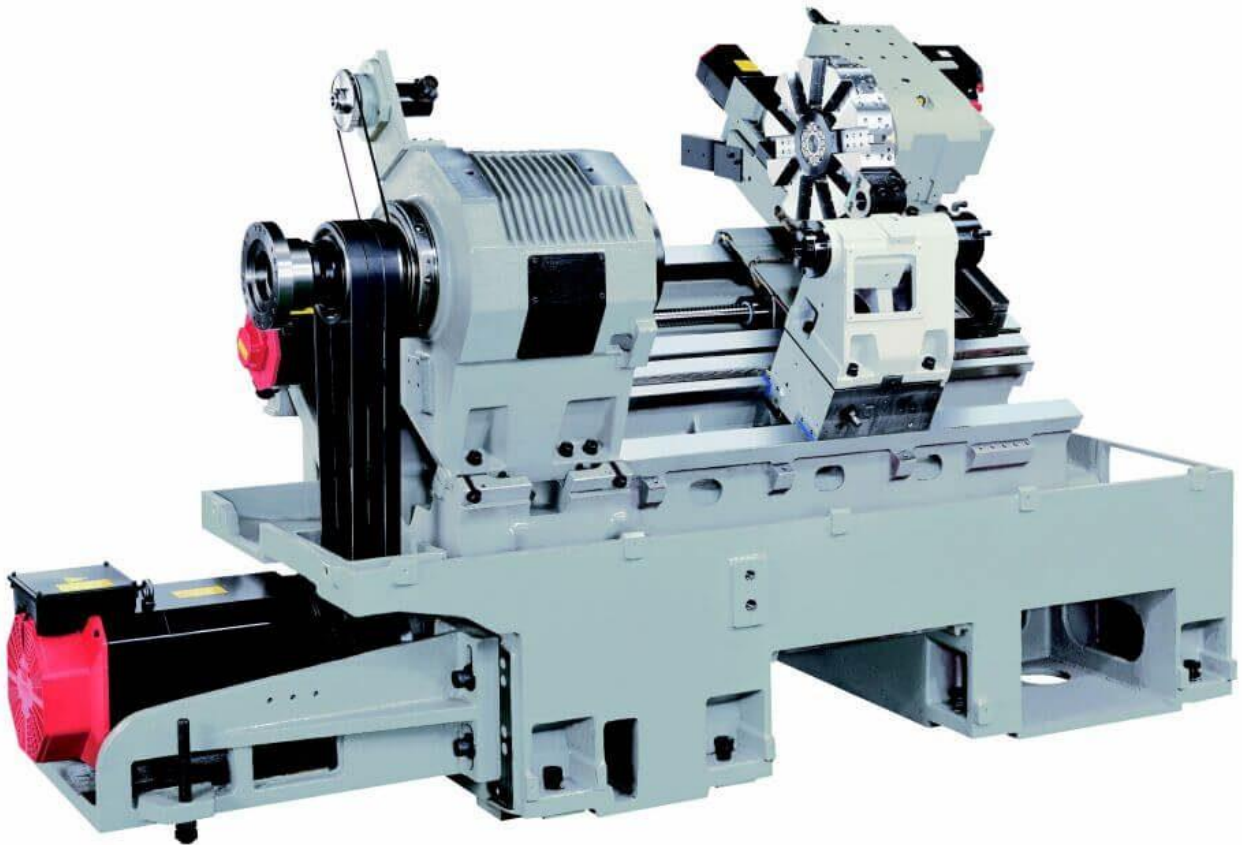


Рисунок 3. Шпиндельний вузол верстата VICTOR Vturt-A16 з передачею крутного моменту від електродвигуна на шпиндель через ремінну передачу.



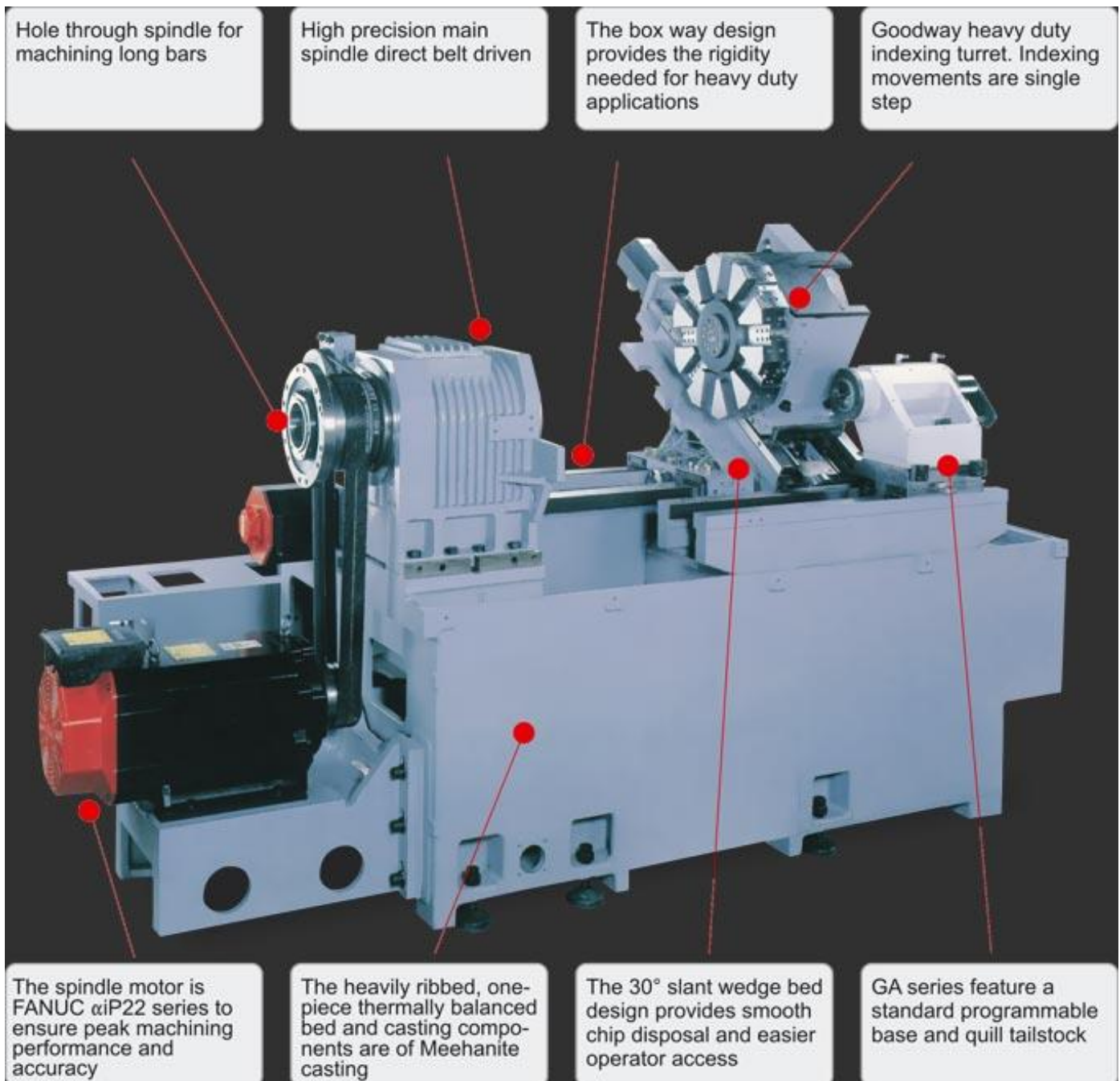


Рисунок 3а. Шпиндельний вузол верстата Goodway GA-3300 з передачею крутного моменту від електродвигуна на шпиндель через ремінну передачу.

Встановлення нових шпиндельних бабок чи коробок швидкостей. Якщо конструкція приводу або шпиндельного вузла не допускає застосування однієї з розглянутих форм модернізації або ці форми не дають потрібних результатів, то в ряді випадків замінюють існуючі привод і шпиндельний вузол новими. При цьому значно зростають витрати, і такі форми модернізації можуть виправдати себе лише за певних умов, зокрема стосовно важких і унікальних верстатів, вартість яких велика в порівнянні з витратами на модернізацію.

Розглянуті форми модернізації приводів у разі підвищення потужності та швидкохідності наведені у табл. 2.

Необхідні межі підвищення потужності та швидкохідності визначаються на підставі формул теорії різання. Для універсальних верстатів встановлюють: граничні розміри оброблюваних деталей або різальних інструментів, номенклатуру

оброблюваних матеріалів та матеріалів різальних інструментів, технологічні припуски для чорнової та чистової обробки, технологічно допустимі подачі. Найменші швидкості визначають при чорновій обробці матеріалів, що найбільш важко обробляються, найбільші — при чистовій обробці матеріалів, що найбільш легко обробляються. Визначення номенклатури оброблюваних матеріалів та деталей, а також ріжучих інструментів повинно проводитись з урахуванням реального завантаження цієї виробничої ділянки.

Таблиця 2

Форми модернізації приводів для підвищення потужності та швидкохідності

Характер модернізації	Переваги	Недоліки
Загальне підвищення швидкохідності приводу шляхом зміни передатного відношення першої ланки, установки більш швидкохідного електродвигуна або безпосереднього з'єднання валу електродвигуна з першим валом коробки швидкостей (при необхідності із заміною слабких ланок)	Простота розв'язання. У ряді випадків . підвищення потужності та швидкохідності у значних межах	
Загальне підвищення швидкохідності приводу шляхом зміни передавального відношення першої ланки в межах, обмежених можливістю одночасного підвищення потужності; додаткове підвищення швидкохідності шпинделя шляхом зміни передавального відношення останньої ланки (фіг. 2,в)	Простота розв'язання. Підвищення швидкохідності у значних справах	Обмежене підвищення потужності
Підвищення швидкохідності шпинделя шляхом зміни передатного відношення останньої ланки	Простота розв'язання. Підвищення швидкохідності у значних справах	Деяке зниження ефективної потужності. У більшості випадків обмеження галузі застосування чистовими та одержуваними роботами.
Підвищення швидкохідності шпинделя шляхом зміни кінематики приводу	Підвищення швидкохідності у значних справах	Значне збільшення трудомісткості модернізації
Підвищення потужності та швидкохідності шляхом заміни існуючого приводубоязкою швидкостей або одношвидкісним приводом безпосередньо від електродвигуна	Значне підвищення потужності та швидкохідності	Збільшення трудомісткості модернізації. Більш-менш значне звуження І технологічних можливостей
Підвищення потужності та швидкохідності шляхом: заміни існуючого приводу спільно зі шпиндельним вузлом новими.	Значне підвищення потужності та швидкохідності	Збільшення трудомісткості модернізації

КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ І ПОТУЖНІСТЬ ХОЛОСТОГО ХІДУ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Потужність N'_d одержувана електродвигуном приводу верстата від мережі, витрачається на втрати в самому електродвигуні $N_{в.д.}$ втрати холостого ходу верстата N_x , втрати в верстаті під навантаженням N_n і корисну роботу N_k

Під втратами холостого ходу мається на увазі та потужність, яка витрачається на обертання приводу, за відсутності будь-якого корисного навантаження. Ця потужність витрачається на подолання сил тертя, що виникають під дією:

- 1) вага частин, що рухаються;
- 2) попереднього натягу ремінних передач та підшипників, зтягування клинів рухомих салазок;
- 3) відцентрових сил, що з'являються завдяки дисбалансу деталей, що обертаються;
- 4) різного роду перекосів валів у підшипниках та зубчастих коліс, що є результатом неминучих відхилень при обробці та складанні;
- 5) динамічних навантажень, доданих до елементів приводу.

На холостому ходу потужність витрачається також на:

- 6) перемішування олії в масляній ванні;
- 7) тертя між дисками розчеплених реверсивних фрикційних муфт;
- 8) тертя в ущільненнях;
- 9) аеродинамічні втрати в підшипниках кочення і в деталях, що швидко обертаються.

Практично потужність холостого ходу може бути виміряна лише без навантаження, проте втрати, пов'язані із зазначеними моментами, мають місце під навантаженням. Величина втрат може тією чи іншою мірою змінюватися внаслідок того, що сили ваги врівноважуються рушійними силами, змінюється характер перекосів і т. п. З достатнім ступенем точності можна прийняти, що втрати холостого ходу за постійної швидкості шпинделя не залежать від навантаження.

Втрати під навантаженням N_n можна прийняти пропорційним навантаженням хоча і в цьому випадку існує більш складна залежність.

Втрати в електродвигуні залежать від навантаження та визначаються кривою к.к.д електродвигуна. Криві к.к.д електродвигуна наводяться в каталогах або мають бути визначені експериментально.

Коефіцієнт корисної дії верстата визначається виразом

$$\eta_{\text{вер}} = \frac{N_k}{N'_d - N_{в.д.}} \quad (4)$$

Втрати електродвигуна можуть досягати значної величини, і якщо за експериментального визначення к.к.д верстата не враховувати к.к.д електродвигуна, то вийдуть сильно спотворені результати дослідження.

Так як під потужністю двигуна зазвичай розуміється потужність на валу двигуна без урахування втрат, тобто потужність $N'_d - N_{в.д.}$ - то надалі замість виразу $N'_d - N_{в.д.}$ будемо просто писати N_d маючи при цьому на увазі потужність на валу двигуна. Тоді

$$\eta_{\text{вер}} = \frac{N_k}{N_d} \quad (5)$$

З достатнім ступенем точності можна вважати, що

$$N_{\text{к}} + N_{\text{н}} = \frac{N_{\text{к}}}{\eta_p}$$

де η_p – розрахунковий к.к.д. який визначається як добуток табличних значень к.к.д. окремих ланок приводу.

Тоді

$$N_{\text{д}} = \frac{N_{\text{к}}}{\eta_p} + N_{\text{х}}$$

і

$$\eta_{\text{вер}} = \frac{N_{\text{к}}\eta_p}{N_{\text{к}} + N_{\text{х}}\eta_p} = \frac{\eta_p}{1 + \frac{N_{\text{х}}}{N_{\text{к}}}\eta_p} \quad (6)$$

У більшості посібників, що трактують питання про к.к.д. машини, останній розглядається як величина постійна, що дорівнює добутку к.к.д окремих ланок, що визначаються за таблицями, незалежно від параметрів машини. Як очевидно з попереднього, к.к.д є величиною змінної, яка залежить від співвідношення потужності холостого ходу, значною мірою *визначається конструкцією і якістю виготовлення машини, і ефективної потужності.*

Розглядаючи при зроблених припущеннях залежність к.к.д від навантаження, можна побачити, що к.к.д підвищується із збільшенням навантаження. При цьому к.к.д спочатку підвищується різкіше, а потім менше і менше, асимптотично наближаючись до свого граничного значення. Крива к.к.д має гіперболічний характер. Експериментальне дослідження к.к.д дає аналогічну залежність. Але, на відміну від теоретичної залежності, к.к.д при деякому навантаженні досягає максимуму, а потім починає падати.

Це пояснюється тим, що *при збільшенні навантаження вище допустимої з'являються значні деформації елементів приводу, зокрема валів, що призводить до збільшення втрат у підшипниках, зубчастих колесах і т.д.*

При повному навантаженні двигуна

$$N_{\text{к}} = (N_{\text{д}} - N_{\text{х}})\eta_p$$

Підставляючи вираз для $N_{\text{к}}$, формулу (6), отримуємо к.к.д. при повному навантаженні:

$$\eta_{\text{вер}} = \eta_p \left(1 - \frac{N_{\text{х}}}{N_{\text{д}}} \right) \quad (7)$$

Як бачимо, при повному навантаженні к.к.д залежить від потужності холостого ходу. Чим менша потужність холостого ходу, тим ближче фактичний к.к.д верстата до розрахункового.

Потужність холостого ходу має значення для кожного ступеня швидкості шпинделя (рис. 4). Зі збільшенням числа обертів шпинделя за хвилину потужність холостого ходу зростає. При модернізації особливо цікава залежність зміни потужності холостого ходу від підвищення загальної швидкохідності приводу.

Графіки малюнку 4 показують зміна потужності холостого ходу у разі підвищення

числа обертів першого провідного валу коробки швидкостей револьверного верстата 1М36. Графіки знято за трьох значень чисел обертів

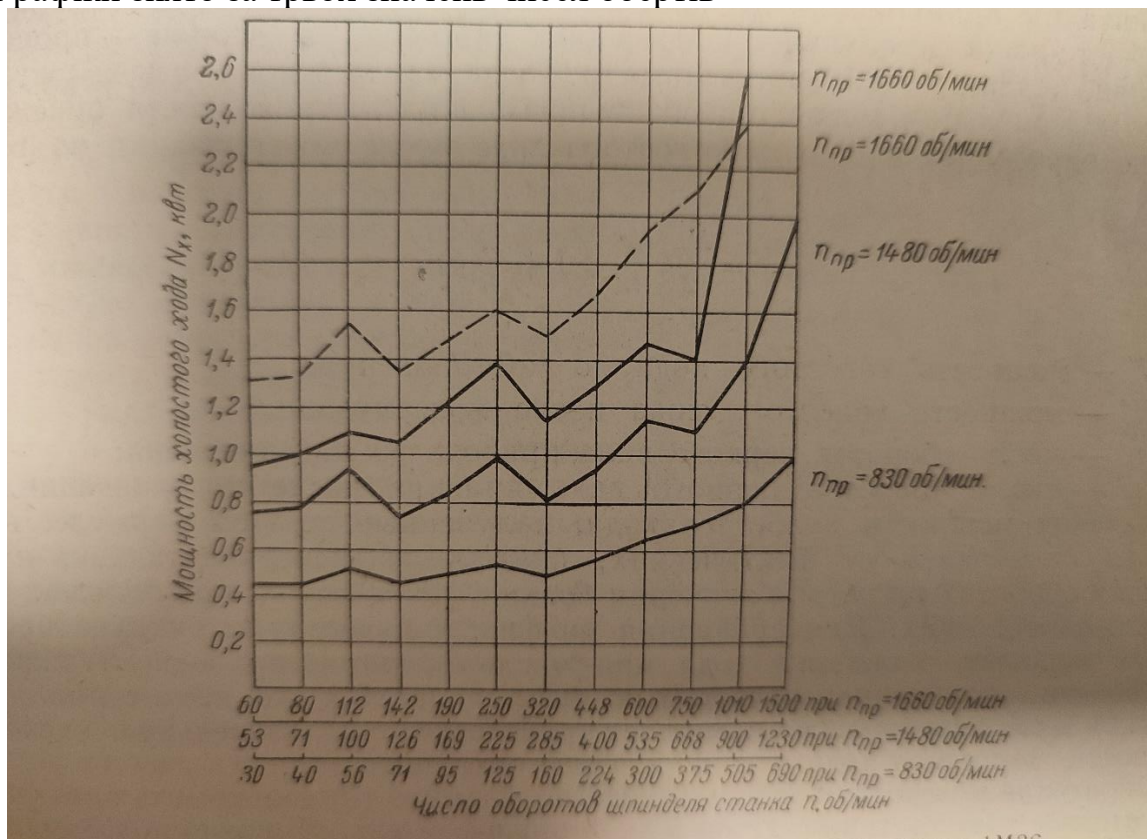


Рисунок 4. Графіки потужності холостого ходу револьверного верстата 1М36 при різних швидкостях першого валу коробки швидкостей.

Для кожного ступеня швидкості вказано три значення числа обертів шпинделя, що відповідають трьом значенням числа обертів першого провідного валу.

Характер графіків потужності холостого ходу залишається однаковим за всіх значень чисел обертів першого провідного валу.

Зі збільшенням числа обертів першого ведучого валу потужність холостого ходу зростає усім щаблях, у своїй особливо різке зростання потужності холостого ходу має місце верхніх щаблях швидкості.

Вочевидь, що при незмінній потужності двигуна к.к.д. верстата, підрахований за формулою (6), зменшуватиметься з підвищенням швидкохідності та відповідним зростанням потужності холостого ходу.

Однак у процесі модернізації паралельно з підвищенням загальної швидкохідності приводу підвищується потужність двигуна. Таким чином, зміна к.к.д. залежатиме від співвідношення між потужністю холостого ходу та потужністю електродвигуна після модернізації.

Питання попереднього визначення потужності електродвигуна після модернізації буде розглянуто нижче. Попереднє визначення потужності холостого ходу розрахунковим шляхом становить значні труднощі внаслідок наявності низки невідомих факторів: перекосу валів, якості регулювання тощо.

Частина втрат холостого ходу зростає з підвищенням швидкохідності прямо пропорційно до збільшення числа обертів; сюди відносяться втрати на тертя від ваги частин, що рухаються, попереднього натягу, перекосів та ін. Інша частина втрат зростає пропорційно квадрату швидкості; сюди відносяться втрати на тертя від дисбалансу,

аеродинамічні втрати, втрати на тертя між дисками розчеплених фрикційних муфт та ін.

Для приблизного визначення потужності холостого ходу після модернізації приймаємо, що половина втрат потужності холостого ходу зростає пропорційно до підвищення швидкості, а друга — пропорційна квадрату підвищення швидкості. Тоді, вимірявши потужність холостого ходу до модернізації, можна за загального підвищення швидкохідності орієнтовно визначити потужність холостого ходу після модернізації за формулою

$$N_x'' = \frac{N_x' n''}{2 n'} \left(1 + \frac{n''}{n'} \right), \quad (8)$$

де N_x' - потужність холостого ходу до модернізації;
 N_x'' - потужність холостого ходу після модернізації;
 n' - число обертів першого валу приводу до модернізації;
 n'' - число обертів першого валу приводу після модернізації.

Значення потужності холостого ходу, отримані за цією формулою, дещо відрізняються від фактичних, знайдених експериментально; при менших обертах розрахункові значення більші фактичних, при великих - менше фактичних. Для порівняння на рисунку 4 нанесена штрихпунктиром крива потужності холостого ходу при числі обертів приводного шківка 1660 об/хв., одержана розрахунком за формулою (8). Однак, незважаючи на неточність цієї формули, вона дозволяє провести приблизну оцінку потужності холостого ходу та к.к.д після модернізації.

Визначивши потужність холостого ходу за формулою (8) і потужність електродвигуна відповідно до наведеної нижче методики, можна за формулою (6) знайти к.к.д верстата після модернізації.

Для оцінки величини зміни к.к.д після модернізації зробимо приблизний розрахунок. Прийmemo, що потужність холостого ходу на верхніх швидкостях шпинделя до модернізації становить близько 0,2 від потужності двигуна, а потужність двигуна до модернізації дорівнює 5 кВт, тоді $N_x = 1$ кВт; розрахунковий к.к.д дорівнює 0,8.

Припустимо, що ми виробляємо підвищення швидкохідності удвічі, тобто $\frac{n''}{n'} = 2$. При підвищенні швидкохідності удвічі потужність електродвигуна, зазвичай, може бути підвищена щонайменше ніж 70—80%, т. е. потужність електродвигуна після модернізації дорівнюватиме 9 кВт.

Потужність холостого ходу після модернізації

$$N_x'' = \frac{1}{2} 2(1 + 2) = 3 \text{ кВт};$$

к.к.д. до модернізації

$$\eta'_{ст} = 0,8 \left(1 - \frac{1}{5} \right) = 0,64$$

к.к.д. після модернізації

$$\eta''_{ст} = 0,8 \left(1 - \frac{3}{9} \right) = 0,53$$

Таким чином, при одночасному загальному підвищенні швидкохідності та потужності приводу падіння к.к.д. порівняно невелике.

Інша справа при підвищенні швидкохідності за рахунок зміни передавального

відношення останньої ланки, найчастіше не вдається підвищити потужність електродвигуна. Разом з тим потужність холостого ходу шпинделя зростає. На рис. 5 показаний графік потужності, що витрачається тільки на обертання шпинделя револьверного верстата 1М36 на холостому ході. Потужність холостого ходу шпинделя сягає значної величини. З порівняння потужності холостого ходу шпинделя із загальною потужністю холостого ходу (рис. 4) видно, що вона становить в середньому близько 50% загальної потужності холостого ходу.

Тому при підвищенні швидкохідності шпинделя за рахунок зміни передавального відношення останньої ланки потужність холостого ходу значно зростатиме, а к.к.д. при незмінній потужності електродвигуна падатиме різкіше.

Як зазначалося вище, потужність холостого ходу залежить від конструкції приводу та якості його збирання.

Втрати холостого ходу тим більші, чим складніший кінематичний ланцюг. За інших рівних умов втрати в коробках з постійно зчепленими шестернями і муфтами, що перемикають більше, ніж в коробках з рухомими блоками. Ремінні передачі сприяють збільшенню втрат, оскільки створюють значні навантаження на вали з допомогою попереднього натягу. Значна витрата потужності на холостому ході викликає застосування сальникових ущільнень.

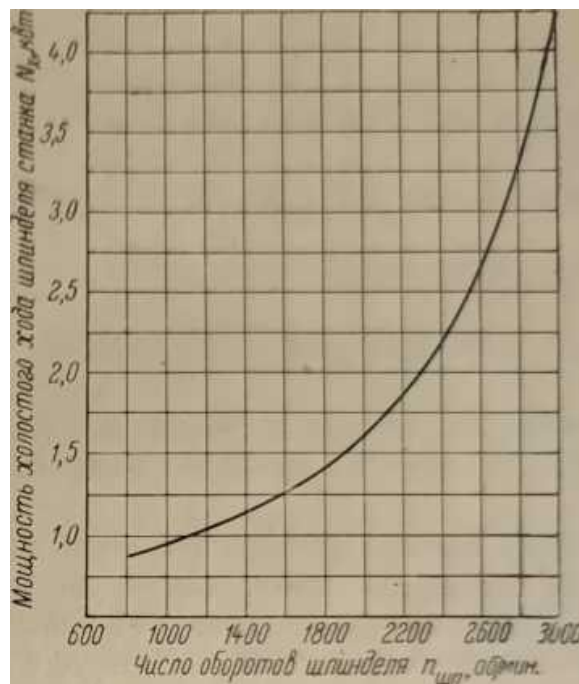


Рисунок 5. Графік потужності холостого ходу шпинделя револьверного верстата 1М36.

Істотний вплив на втрати холостого ходу має система змащення шестерень коробки швидкостей. При безпосередньому зануренні шестерень у масляну ванну на перемішування масла витрачається значна потужність (рис. 6), при цьому витрата потужності більшою мірою залежить від рівня масляної ванни,

Разом з тим, надзвичайно важливим є також правильний вибір в'язкості олії. Застосування мастил із надмірно високою в'язкістю призводить до підвищених втрат холостого ходу, не кажучи вже про інші шкідливі наслідки.

Великий вплив на втрати потужності холостого ходу мають конструкція шпиндельних підшипників і система їх змащення. На рис. 7 показані криві потужності

холостого ходу трьох коробок швидкостей, що мають однакові кінематику і конструкцію і відрізняються тільки конструкцією шпindelних підшипників, системою їх змащення та системою змащення шестерень. Крива *a*) відноситься до верстата ДП-200. Передній підшипник шпинделя - підшипник ковзання з фітільною змазкою. Шестерні працюють у масляній ванні. Крива *б*) відноситься до верстата VDF. Передній підшипник шпинделя - підшипник кочення; шестерні також працюють у масляній ванні.

Крива *в*) відноситься до верстата ДП-20М. Передній підшипник шпинделя має таку ж конструкцію, як у верстаті ДП-200, але з циркуляційним змащенням. Змащування шестерень також циркуляційне/без занурення в масляну ванну, з подачею струменя олії на шестірні.

Найменші втрати потужності холостого ходу має верстат ДП-20М.

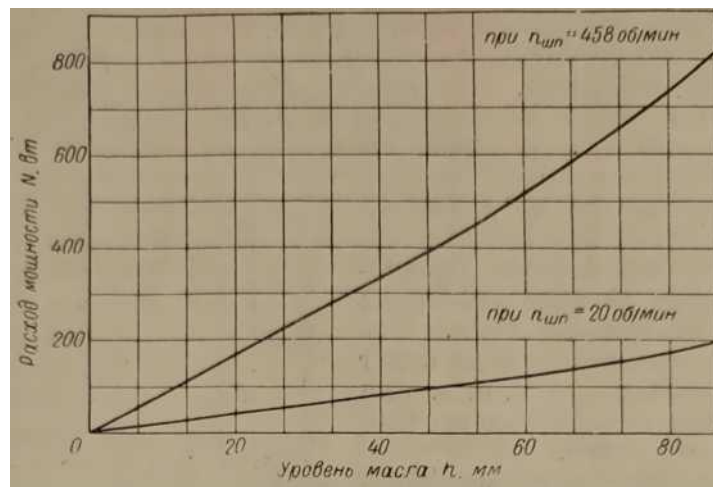


Рисунок 6. Графік витрати потужності на перемішування олії в коробці швидкостей залежно від рівня.



Рисунок 7. Потужність холостого ходу токарних верстатів.

Ця обставина підкреслює, яке значення має циркуляційне змащення шпindelних підшипників ковзання. Циркуляційне змащення різко знижує втрати на тертя в підшипнику, а, відповідно, і нагрівання підшипника. Підігрів підшипника є найважливішим фактором для роботи швидкохідних шпindelів. Втрати в масляній ванні також не мають; менш важливе значення для потужності холостого ходу, пов'язаної з роботою шестерень. Тому при модернізації верстатів шпindelні підшипники та шестерні слід переводити на циркуляційне змащування.

На величині втрат холостого ходу також дуже позначається температура підшипників, олії та інших елементів верстата. З підвищенням температури втрати холостого ходу знижуються. При роботі верстата під навантаженням температура швидко підвищується, і втрати холостого ходу в роботі відповідають температурі. Тому вимірювання потужності холостого ходу слід проводити на верстаті, що працював під навантаженням або на холостому ході протягом 50-60 хв.

При модернізації зменшення втрат холостого ходу може бути досягнуто внаслідок низки заходів:

- 1) спрощення кінематичного ланцюга за рахунок скасування зайвих ланок;
- 2) виключення ремінних передач за рахунок безпосереднього з'єднання валу двигуна з валом коробки;
- 3) виключення пластинчастих реверсивних муфт за рахунок переходу на реверсування електродвигуном;
- 4) заміни сальникових ущільнень масловідбивними кільцями та лабіринтними ущільненнями;
- 5) введення циркуляційного масщення, особливо для шпindelних підшипників;
- 6) заміни змащення шестерень зануренням у масляну ванну, струменевим циркуляційним змащенням з подачею масла по трубкам на бічні поверхні шестерень;
- 7) Дотримання правильного рівня масляної ванни за неможливості заміни системи змащування;
- 8) застосування олій належної в'язкості.
- 9) ретельного балансування деталей, що швидко обертаються.

Можна стверджувати, що при проведенні зазначених заходів щодо зменшення втрат холостого ходу к.к.д верстата при одночасному підвищенні потужності та швидкохідності падатиме незначно.

Значення к.к.д. окремих ланок при визначенні розрахункового к.к.д можна приймати за такими даними:

Ремінна передача без натяжного ролика	0,98
Ремінна передача з натяжним роликом	0,97
Клиночасова передача	0,96
Циліндричні зубчасті колеса зі шліфованими зубами	0,99
Циліндричні зубчасті колеса з нарізаними зубами	0,98
Конічні зубчасті колеса	0,97
Ланцюгова передача.....	0,96
Підшипники кочення (один вал)	0,995
Підшипники ковзання:	
при дуже, хорошому мащенні	0,98
при нормальному мащенні.....	0,97