

Міністерство освіти України  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут”

На правах рукопису  
УДК 621.934.323.2

**ТРОЯН ІГОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

**Вдосконалення кінематичних та динамічних  
характеристик механізмів подачі заготовок  
токарних автоматів**

Спеціальність 05.03.01 - “Процеси механічної обробки, верстати та  
інструменти”

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата  
технічних наук

Київ - 1996

21.2  
Дисертацією є рукопис.

AB 36.515

Робота виконана на кафедрі "Технічного університету України"

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00743926 (V)

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, академік Академії інженерних наук України Струтинський В.Б.

Науковий консультант: кандидат технічних наук Шевчук В.А.

Офіційні опоненти: 1. Доктор технічних наук Гуржій А.М.  
2. Кандидат технічних наук Дяченко Ю.П.

Провідне підприємство: Академія легкої промисловості України.

Захист дисертації відбудеться "27" січня 1997 р., о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.02.09 при Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут" за адресою: 252056, м. Київ-56, пр. Перемоги, 37, корпус 1.

Відгук на автореферат у двох примірниках, які завіряються печаткою, просимо надсилати за вказаною адресою на ім'я вченого секретаря спеціалізованої ради.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "25" зрудня 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради доктор технічних наук, професор

Н.С.Равська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність проблеми.* Токарні горизонтальні багатощпиндельні пруткові автомати (ТБА) широко використовуються на підприємствах з багатосерійним та масовим типами виробництва. З метою подальшого підвищення продуктивності ТБА все більше скорочується час їх робочих та допоміжних ходів, що призводить до підвищення динамічних навантажень, які з'являються у механізмі під час роботи, та до погіршення точностних характеристик верстатів. Тому в процесі інтенсифікації роботи ТБА з'являється задача забезпечення необхідної точності виготовлення деталей. Актуальність задачі підвищується завдяки зв'язку, що існує між точністю заготовки та економією металу як заготовки так і інструмента. Одним з найбільш динамічно навантажених механізмів допоміжних рухів в ТБА є механізм подачі матеріала (МПМ). Це призводить до появи проблеми забезпечення потрібної точності лінійного розміру виготовляємих виробів.

*Метою* дисертаційної роботи є вдосконалення кінематичних та динамічних характеристик механізмів мірної подачі заготовки токарних автоматів (ТА), шляхом вибора раціональних законів рухів на основі комплексного обліку динамічних характеристик механізмів та робочих процесів взаємодії заготовки з упором матеріала.

Для досягнення вказаної мети ставились та розв'язувались наступні задачі: 1) аналіз точностних параметрів МПМ ТА; 2) дослідження кінематичних та динамічних параметрів роботи МПМ ТА; 3) синтез закону руху матеріала, що подається, на ділянці його підвода до упора, забезпечуючого нерозкриття зазорів у механізмі, стабільність швидкості зустрічі прутка з упором матеріала та нековзання прутка у цанзі подачі; 4) розробка умов відриву прутка від упора матеріала після їх зіткнення; 5) проведення аналізу впливу параметрів руху матеріала, що подається та динамічних характеристик механізму на величину відскока прутка від упора після їх зустрічі; 6) розробка метода профілювання кулачків подачі з аналітичним визначенням, до обліку опорних точок профіля, максимального кута тиску в механізмі та умови передачі заданого закону руху робочого органа без викривлень кінематичного характеру; 7) проведення аналізу можливості подачі прутка без встановлення упора матеріалу в робочій зоні верстата.

ІНБ ім. В. Стефанука  
АН УкрАкад

**Наукова новизна.** Розроблені нові методи підвищення точності роботи МПМ ТА в умовах інтенсифікації роботи обладнання, які включають в себе синтез комбінованих законів руху робочих органів, що рухаються поступально, які дозволяють гнучко керувати параметрами руху прутка та забезпечують стабільність швидкості зустрічі прутка з упором матеріала. Знайдено закон руху примінення якого на ТБА ряду ІБ290Н дозволяє виключити розкриття зазорів у кінематичному ланцюгу МПМ. Розроблені нелінійні математичні моделі кулачкових МПМ, нелінійні математичні моделі механізму для аналізу ефективності розроблених законів руху матеріалу, що подається. Розроблена математична модель зіткнення прутка, що подається з упором матеріала. Визначені умови відскока прутка від упора після зіткнення, вплив конструктивних параметрів механізму та величини швидкості зустрічі прутка з упором на умови відскока. Обгрунтовані нові методи подачі прутка в робочу зону ТА без використання упора матеріала в робочій зоні верстата. Запропоновані нові методи раціонального профілювання кулачка, що задає закон руху повзуна подачі матеріала.

**Практична цінність** роботи складається у створенні методів, доведених до рівня використання в інженерній праці, які дозволяють обгрунтовано розв'язувати задачі, що зв'язані з проектуванням МПМ, що забезпечують високі технічні показники ТА.

**Апробація роботи.** Основні положення та результати роботи були викладені на міжнародній науково-технічній конференції "Автоматизація та діагностика в механообробці" (м. Луцьк, 1993 р.); науково-технічній конференції "Проблема качества в условиях рынка" (м. Херсон: ХКЗ ім. Г.І.Петровсько-го, 1993 р.).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 4 роботи.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, заключення, переліка основної використаної літератури, який включає 112 найменувань, додатку, та викладена на 153 стор. машинописного тексту та 43 стор. рисунків.

НАУКОВА БІБЛІОТЕКА  
ІНСТИТУТУ МЕХАНІКИ  
НАН України  
Київ

## ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У *вступі* дається обґрунтування актуальності роботи та її загальна характеристика.

В *першому розділі* здійснено аналіз стану питання по темі дисертації; розглянуті вимоги, що пред'являються до МПМ, їх класифікація, а також проведено аналіз існуючих методів удосконалення МПМ.

Основний вплив на точність лінійного розміру деталей, що виготовлені на ТБА, мають наступні фактори: деформація упора поданим та затиснутим прутком; невідповідність кінцевого положення торця поданого прутка положенню упора; неточність встановлення пристрою, інструмента або упору матеріала; зміщення затиснутого прутка при різанні т.і.

Нестабільність деформації упора пояснюється, головним чином, нестабільністю сили проковзування прутка в цанзі подачі. Зменшити та стабілізувати деформацію упора поданим прутком можна шляхом підвищення жорсткості упора та забезпечення притискання прутка до упора з постійною силою до його повного затискання.

Серед причин що визивають невідповідність положення торця поданого прутка положенню торця упору можна назвати наступні: цанга механізму затискання матеріала в процесі затискування зміщує пруток в осевому напрямі; в процесі подачі матеріала можливо його просковзування у цанзі подачі, причому, у разі якщо величина просковзування на ділянці розгону прутка перевищує величину просковзування на ділянці гальмування, то пруток у кінці свого руху може не досягти упора; зазори які є у МПМ, наявність просковзування прутка в цанзі подачі та висока швидкість зустрічі прутка з упором призводять до появи відскока прутка від упора матеріалу.

Неточність встановлення пристрою, інструмента або упору матеріалу є слідством впливу людського фактору, який виявляється як в процесі роботи верстата, так і при проектуванні наладки для виготовлення деталі.

Зміщення затиснутого прутка при різанні може з'являтися у випадку невправного вибору силових характеристик затисного патрона, його зношуванням, т.і.

В процесі затиску поданого прутка цанговим патроном, з'являється осева похибка закріплення заготовки. Тому лінійна точність положення поданого прутка

залежить не тільки від точності роботи МПМ, а й від величини похибок, які вносяться механізмом затискування матеріала (МЗМ) в процесі закріплення прутка. Застосування високоточних цангових патронів дозволяє задовільно вирішити цю проблему.

В ТА подача матеріалу в робочу зону звичайно здійснюється до нерухомого упора. Введення міцного демпфуючого зв'язку між прутком, що подається, та упором дозволяє істотно знизити величину відскока прутка від упора та зменшити динамічне навантаження МПМ у мить гасіння швидкості прутка, що рухається, упором матеріала.

Але, застосування демпфуючого упора не зменшує динамічне навантаження МПМ на ділянці підвода прутка до упора. Отже, для того, щоб зменшити час подачі прутка, необхідно крім введення демпфуючого зв'язку між прутком та упором матеріала, оптимізувати кінематичну схему МПМ у випадку проектування нового механізму, та розробити і забезпечити застосування закона руху матеріалу, що подається, який дозволяє зменшити динамічне навантаження МПМ на ділянці підвода прутка до упора.

У *другому розділі* здійснено кінематичний аналіз роботи МПМ, вибрані циклограми роботи МПМ та МЗМ, а також розроблен ряд законів руху матеріалу, що подається.

МПМ є цикловим механізмом, тобто для зменшення його динамічного навантаження можна застосувати відомий метод, основою якого є збільшення циклового кута роботи механізму. Аналіз циклограм роботи МПМ, МЗМ та механізму повороту шпіндельного барабана (МПШБ) ТМА ряду 1Б290Н дозволив збільшити, за рахунок одночасної роботи МЗМ, цикловий кут роботи МПМ з  $40^\circ$  до  $55^\circ$ .

Суттєвого покращення характеристик процесу подачі можна досягнути через оптимізацію закона руху матеріалу, що подається. Питання вибору законів руху робочих органів, що поступально рухаються, достатньо широко освітлене у літературі.

Під час визначення законів руху повзуна подачі, які забезпечують підвод прутка до упора з наперед заданою швидкістю, можна скористатись законами синтезованими на основі комбінації синусоїдальних та косинусоїдальних законів зміни прискорення.

Реальні циклограми ТБА мають значні відхилення від циклограм наведених у паспортах верстатів, тому, при розробці циклограм роботи механізмів необхідно враховувати на критичних ділянках можливість їх відхилень від номінальних значень. Тому, для забезпечення підхода прутка до упора з обчисленою швидкістю, необхідно щоб у кінці подачі прутков деякий час рухався з незмінною швидкістю.

Для забезпечення вимоги підводу прутка, що подається, з постійною на останній ділянці підвода швидкістю  $V_{vy}$ , виведена низка законів руху робочих органів, що поступально рухаються, які включають ділянку розгону, ділянку попереднього гальмування, ділянку руху з незмінною швидкістю та ділянку кінцевого гальмування (див. рис. 1). Нижче наведений аналітичний вираз закону руху, що включає ділянку розгону зі зміною прискорення за косинусоїдальним законом, ділянку попереднього гальмування зі зміною прискорення за синусоїдальним законом, ділянку руху з незмінною швидкістю та ділянку кінцевого гальмування зі зміною прискорення за синусоїдальним законом.

$$S = \begin{cases} \frac{4kS_p}{\pi} (1 - \cos \frac{\pi}{2kT_y} t), \text{ при } 0 \leq t \leq kT_y, \\ kS_p \left( \frac{4}{\pi} - 1 \right) + V_{vy} \left( t - \frac{kT_y}{2} \right) + \left( \frac{S_p}{T_y} - \frac{V_{vy}}{2} \right) \left( t - \frac{T_y(1-k)}{\pi} \sin \frac{\pi(t + T_y(1-2k))}{T_y(1-k)} \right), \text{ при } kT_y < t \leq T_y, \\ S_{pp} - \frac{V_{vy}}{2} (T_p + T_{pp}) + V_{vy} t, \text{ при } T_y \leq t < T_p, \\ S_{pp} + \frac{V_{vy}}{2} \left( t - T_{pp} - \frac{T_{pp} - T_p}{\pi} \sin \frac{\pi(t + T_{pp} - 2T_p)}{T_{pp} - T_p} \right), \text{ при } T_p \leq t < T_{pp}, \\ S_{pp}, \text{ при } t \geq T_{pp} \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} \frac{S_p}{T_y} \sin \frac{\pi}{2kT_y} t, \text{ при } 0 \leq t \leq kT_y, \\ V_{vy} + \left( \frac{S_p}{T_y} - \frac{V_{vy}}{2} \right) \left( 1 - \cos \frac{\pi(t + T_y(1-2k))}{T_y(1-k)} \right), \text{ при } kT_y < t \leq T_y, \\ V_{vy}, \text{ при } T_y \leq t < T_p, \\ \frac{V_{vy}}{2} \left( 1 - \cos \frac{\pi(t + T_{pp} - 2T_p)}{T_{pp} - T_p} \right), \text{ при } T_p \leq t < T_{pp}, \\ 0, \text{ при } t \geq T_{pp} \end{cases}$$

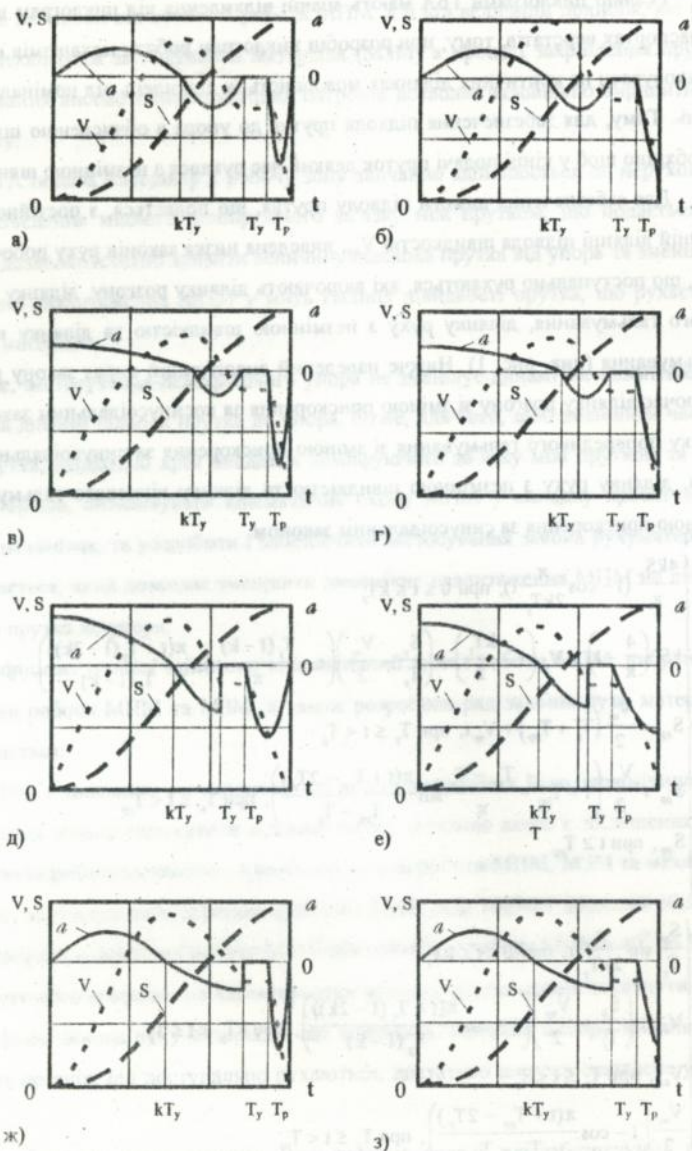


Рис. 1. Виведені закони руху робочого органу: S - перміщення, V - швидкість,  $a$  - прискорення робочого органу;  $t$  - час руху;  $T_{pp}$  - повна тривалість руху робочого органу.

$$A = \begin{cases} \frac{\pi S_p}{kT_y^2} \cos \frac{\pi}{2kT_y} t, & \text{при } 0 \leq t \leq kT_y \\ \frac{\pi(2S_p - V_{vy} T_y)}{2T_y^2(1-k)} \sin \frac{\pi(t + T_y(1-2k))}{T_y(1-k)}, & \text{при } kT_y < t \leq T_y \\ 0, & \text{при } T_y \leq t < T_p \\ \frac{\pi V_{vy}}{2(T_{pp} - T_p)} \sin \frac{\pi(t + T_{pp} - 2T_p)}{T_{pp} - T_p}, & \text{при } T_p \leq t < T_{pp} \\ 0, & \text{при } t \geq T_{pp} \end{cases}$$

$$\text{де } S_p = \frac{S_{pp} + \frac{V_{vy}}{2}(T_y(1+k) - T_p - T_{pp})}{k\left(\frac{4}{\pi} - 1\right) + 1}$$

Коефіцієнт  $k$ , при якому додержується рівність абсолютних величин прискорення робочого органа на ділянках розгону та попереднього гальмування, знаходиться за формулою:

$$k = b + \sqrt{b(b-1) - \frac{\pi}{4-3\pi}}, \quad \text{де } b = 2\pi \frac{S_{pp} - \frac{V_{vy}}{2}(T_p + T_{pp})}{V_{vy} T_y (4-3\pi)}$$

У третьому розділі проведено математичне моделювання динамічних та робочих процесів, що протікають у МПМ при наборі та подачі прутка, аналітично одержана умова відрива прутка від упора матеріалу.

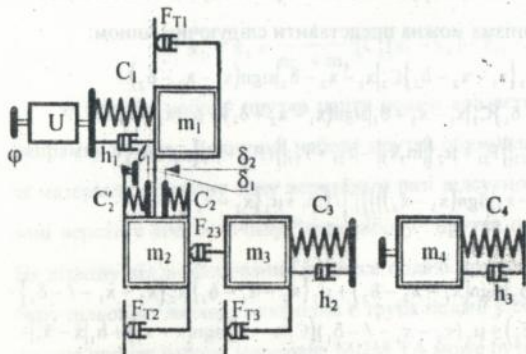


Рис. 2. Спрощена динамічна модель МПМ ТА.

тї обчислень. На рис. 2 наведено спрощену динамічну модель МПМ.

Для аналізу динамічних процесів, що протікають у механізмі, була розроблена математична модель МПМ, яка враховує тільки ті параметри, про які є достовірні відомості. Дослідження показали, що розроблену динамічну модель МПМ можна спростити без зниження точності

При розробці динамічної моделі були прийняті наступні позначки:  $m_1$  - сума приведеної маси тяги та куліси, мас ведучого та ведомого повзунів подачі;  $m_2$  - маса труби та цанги подачі;  $m_3$  - маса матеріала, що подається;  $m_4$  - маса упора матеріала;  $\varphi$  - кут повороту коромисла, як функція від кута повороту розподільчого вала (РВ);  $x$  - переміщення повзунів подачі як функція від кута повороту коромисла  $x=f(\varphi)$ ;  $x_1, x_2, x_3, x_4$  - переміщення повзунів подачі, труби подачі, прутка, упора матеріала, відповідно;  $C_1, h_1$  - приведені жорсткість та коефіцієнт демпфування ланок механізму що знаходяться між РВ та ведомим повзуном подачі, відповідно;  $C_2$  - жорсткість ланцюга підшипник труби подачі - цанга подачі;  $C'_2$  - жорсткість ланцюга підшипник труби подачі-цанга подачі з урахуванням жорсткості механізму блокування подачі прутка;  $C_3, h_2$  - жорсткість та коефіцієнт демпфування стика пруток - упор, відповідно;  $C_4, h_3$  - приведені жорсткість та коефіцієнт демпфування упору матеріала, відповідно;  $F_{T1}$  - сума приведених сил тертя, які діють на ланки кінематичного ланцюга, що знаходяться між РВ та ведомим повзуном подачі включно;  $F_{T2}, F_{T3}$  - сили тертя, які діють на трубу подачі матеріала та на матеріал, що подається, з боку нерухомих ланок ланцюга, відповідно;  $F_{23}$  - сила яка діє на пруток, що подається, з боку цанги подачі;  $u$  - кінематична передавальна функція ланок ланцюга, що знаходяться між РВ та повзунами подачі матеріала;  $\delta_1$  - приведені зазори в ланцюгу підшипник труби подачі - лівий зуб вилки повзуна;  $\delta_2$  - приведені зазори в ланцюгу підшипник труби подачі - правий зуб вилки повзуна.

Математичну модель механізму можна представити наступним чином:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 = & [C_1(x - x_1) + h_1(\dot{x} - \dot{x}_1) - F_{T1} - \mu_1\{x_1 - x_2 - \delta_2\}C_2|x_1 - x_2 - \delta_2|\text{sign}(x_1 - x_2 - \delta_2) + \\ & + \mu_1\{x_2 - x_1 - \delta_1\}\mu_2\{x_2 - x_1 - \ell - \delta_1\}C'_2|x_1 - x_2 + \delta_1|\text{sign}(x_1 - x_2 + \delta_1) + \mu_1\{x_2 - x_1 - \\ & - \ell - \delta_1\}(F_{T2} + \mu_1\{|m_3\ddot{x}_3| - |F_{23} + F_{T3}\})F_{23} + \mu_2\{|m_3\ddot{x}_3| - |F_{23} + F_{T3}\}|(F_{T3} + \mu_1\{x_3 - x_4\} \cdot \\ & \cdot (C_3|x_3 - x_4|\text{sign}(x_3 - x_4) + h_2|\dot{x}_3 - \dot{x}_4|\text{sign}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4))))] / (m_1 + \mu_1\{x_2 - x_1 - \ell - \delta_1\} \cdot \\ & \cdot (m_2 + \mu_2\{|m_3\ddot{x}_3| - |F_{23} + F_{T3}\}|m_3)) \\ \ddot{x}_2 = & [\mu_1\{x_1 - x_2 - \delta_2\}C_2|x_1 - x_2 - \delta_2|\text{sign}(x_1 - x_2 - \delta_2) + \mu_1\{x_2 - x_1 - \delta_1\}\mu_2\{x_2 - x_1 - \ell - \delta_1\} \cdot \\ & \cdot C'_2|x_1 - x_2 + \delta_1|\text{sign}(x_1 - x_2 + \delta_1) + \mu_1\{x_2 - x_1 - \ell - \delta_1\}(C_1|x - x_1|\text{sign}(x - x_1) + h_1|\dot{x} - \dot{x}_1| \cdot \\ & \cdot \text{sign}(\dot{x} - \dot{x}_1) - F_{T1}) - F_{T2} - \mu_1\{|m_3\ddot{x}_3| - |F_{23} + F_{T3}\})F_{23} - \mu_2\{|m_3\ddot{x}_3| - |F_{23} + F_{T3}\}|(F_{T3} + \\ & + \mu_1\{x_3 - x_4\}(C_3|x_3 - x_4|\text{sign}(x_3 - x_4) + h_2|\dot{x}_3 - \dot{x}_4|\text{sign}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4)))] / (\mu_1\{x_2 - x_1 - \ell - \delta_1\} \cdot \\ & \cdot m_1 + m_2 + \mu_2\{|m_3\ddot{x}_3| - |F_{23} + F_{T3}\}|m_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ddot{x}_3 = & [\mu_1 \{ |m_3 \ddot{x}_3| - |F_{T2} + F_{T3}| \} F_{T2} + \mu_2 \{ |m_3 \ddot{x}_3| - |F_{T2} + F_{T3}| \} (\mu_1 \{ x_1 - x_2 - \delta_2 \} C_2 |x_1 - x_2 - \delta_2| \cdot \\ & \cdot \text{sign}(x_1 - x_2 - \delta_2) + \mu_1 \{ x_2 - x_1 - \delta_1 \} \mu_2 \{ x_2 - x_1 - \ell - \delta_1 \} C_2' |x_1 - x_2 + \delta_1| \text{sign}(x_1 - x_2 + \delta_1) - \\ & - F_{T2} + \mu_1 \{ x_2 - x_1 - \ell - \delta_1 \} (C_3 |x - x_1| \text{sign}(x - x_1) + h_1 |\dot{x} - \dot{x}_1| \text{sign}(\dot{x} - \dot{x}_1) - F_{T1}) - F_{T2} - \\ & - \mu_1 \{ x_3 - x_4 \} (C_3 |x_3 - x_4| \text{sign}(x_3 - x_4) + h_2 |\dot{x}_3 - \dot{x}_4| \text{sign}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4))] / (\mu_1 \{ x_2 - x_1 - \ell - \delta_1 \} \cdot \\ & \cdot m_1 + \mu_2 \{ |m_3 \ddot{x}_3| - |F_{T2} + F_{T3}| \} m_2 + m_3); \\ \ddot{x}_4 = & [\mu_1 \{ x_3 - x_4 \} (C_3 |x_3 - x_4| \text{sign}(x_3 - x_4) + h_2 |\dot{x}_3 - \dot{x}_4| \text{sign}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4)) - \mu_2 \{ T_{\text{пр}} \} (C_4 |x_4 - x_4^0| \cdot \\ & \cdot \text{sign}(x_4 - x_4^0) - h_3 |\dot{x}_4| \text{sign}(\dot{x}_4))] / m_4. \end{aligned}$$

Зважаючи на те, що закон руху матеріалу, що подається, повинен забезпечити подачу матеріалу в робочу зону верстата без перерозподілення зазорів у кінематичному ланцюгу кулак-пруток, для аналізу законів руху матеріалу, що подається, зазор у ланцюгу підшипник труби подачі - лівий зуб вилки повзуна подачі можна не враховувати. Розкриття зазору, при цьому, можна контролювати через зміну знака сили, що діє на масу  $m_1$  з боку маси  $m_2$ . Розкриття зазору між роликком рычага та кулаком подачі можна контролювати через зміну знака сили, що діє на кулак з боку ролика. Умова непероскозкування прутка в цанзі подачі відповідає одноіменній умові для спрощеної динамічної моделі МПМ (рис.2). Математична модель, розроблена для аналізу закону руху прутка, що подається, з точки зору нерозкриття зазорів у кінематичному ланцюгу МПМ, може бути представлена слідуючим чи-ном: 
$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} (C_1 (x - x_1) + h_1 (\dot{x} - \dot{x}_1) - C_2 (x_1 - x_2) - F_{T1});$$

$$\ddot{x}_2 = \ddot{x}_3 = \frac{1}{m_2 + m_3} (C_2 (x_1 - x_2) - F_{T2} - F_{T3}).$$

В процесі набору прутка цанга подачі ковзається по нерухомому в осевому напрямку прутку. Величина набору прутка обумовлює номінальну довжину подачі матеріалу в робочу зону верстата у разі відсутності упора матеріалу в робочій зоні верстата або величину "перенабору" прутка при подачі до упора матеріалу. На відміну від моделювання процесу подачі прутка при моделюванні процесу набору цільовою ланкою механізму є труба подачі у сборі. Математична модель, що описує процес набору матеріалу МПМ ТА може бути представлена у вигляді:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 = & [C_1 (x - x_1) + h_1 (\dot{x} - \dot{x}_1) - F_{T1} + \mu_1 \{ x_2 - x_1 - \delta_2 \} C_2 |x_2 - x_1 - \delta_2| \text{sign}(x_2 - x_1 - \delta_2) - \\ & - \mu_1 \{ x_1 - x_2 - \delta_1 \} \mu_2 \{ x_1 - x_2 - \ell_1 - \delta_1 \} C_2' |x_1 - x_2 - \delta_1| \text{sign}(x_1 - x_2 - \delta_1) - \mu_1 \{ x_1 - x_2 - \\ & - \ell_1 - \delta_1 \} F_{T2}] / (m_1 + \mu_1 \{ x_1 - x_2 - \ell_1 - \delta_1 \} m_2). \end{aligned}$$

$$\ddot{x}_2 = [\mu_1 \{x_2 - x_1 - \delta_2\} C_2 |x_2 - x_1 - \delta_2| \text{sign}(x_1 - x_2 - \delta_2) + \mu_1 \{x_1 - x_2 - \ell_1 - \delta_1\} (C_1 (x - x_1) - h_1 (\dot{x} - \dot{x}_1) - F_{T1}) - \mu_1 \{x_1 - x_2 - \delta_1\} \mu_2 \{x_1 - x_2 - \ell_1 - \delta_1\} C'_2 |x_1 - x_2 - \delta_1| \text{sign}(x_1 - x_2 - \delta_1) - F_{T2}] / (\mu_1 \{x_1 - x_2 - \ell_1 - \delta_1\} m_1 + m_2).$$

У процесі зіткнення прутка з упором матеріала можливе розкриття зазору між прутком та упором матеріалу. Математичне моделювання процесу зіткнення дозволило вивести умову відрива прутка від упора матеріала:

$$\left( \frac{C'_4 x_4^{\max}}{F_{T4} + F_{34}} - 1 \right) \left( 1 - \frac{m_2 C'_4}{m_1 C_5} \right) \exp \left( - \frac{\pi}{\sqrt{4 \frac{C'_4 m_4}{h_4^2} - 1}} \right) \leq 1$$

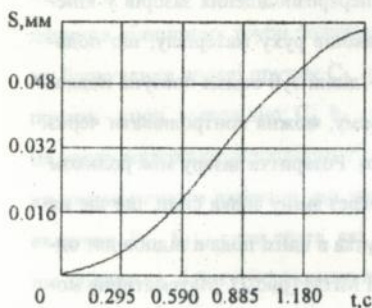


Рис. 3. Графік руху матеріала при подачі серійним МПМ з встановленими кулаками розробленого профіля.

У разі виконання умови  $h_4^2 - 4C'_4 m_4 > 0$ , кінцеве положення прутка можна знайти за формулою:

$$x_4 = \frac{F_{34} + F_{T4}}{C'_4}$$

Довжину, на яку був поданий пруток, у цьому разі можна знайти за формулою:

$$S_n = S_y + \frac{F_{34} + F_{T4}}{C'_4}, \text{ де}$$

$S_y$  - відстань між торцем прутка до його подачі та упором матеріала.

У четвертому розділі викладено методику та результати експериментальних досліджень процесів, що протікають у МПМ при подачі прутка в робочу зону верстата.

Експериментальні дослідження проводились на ТБА мод. 1Б290Н-6К. При цьому методом осцилографування реєструвалися наступні параметри: час циклу -  $t_c$ ; кут повороту РВ -  $\varphi_{рв}$ ; навантаження у приводі повзуна подачі -  $P_{пов}$ ; переміщення повзуна подачі -  $S_{пов}$ ; переміщення важеля зажима -  $S_{зж}$ ; переміщення -  $S_{пр}$ ; швидкість -  $V_{пр}$  прутка; та відскок прутка від упору матеріала -  $\Delta S_0$ ; переміщення упора в напрямку осі -  $S_y$ .

Були проведені порівняльні експериментальні дослідження слідуючих МПМ: 1) серійна конструкція з кулаками подачі традиційного профілю; 2) серійна конструкція з кулаками затискування та подачі запропонованого профіля; 3) експериментальна конструкція МПМ з кулаками затискування та подачі запропонованого профілю.

Аналіз осцилограм, що були одержані при дослідженні серійного МПМ ТБА мод. 1Б290Н-6К, показує, що при довжинах подачі прутка 60...100 мм та величинах перенабору 5...10 % від довжини подачі процес подачі матеріалу має плавний характер. Зустріч прутка з упором відбувається на швидкості до 0,1 м/с без відскока прутка від упора матеріала та практично без процесу затухаючих коливань у системі "привід подачі матеріалу - прутки - упор".

Аналіз осцилограм, що були одержані при дослідженні модернізованого МПМ ТБА мод. 1Б290Н-6К показує, що при збільшенні величини перенабору прутка ділянка руху матеріала, що подається, з постійною швидкістю зменшується та зовсім зникає при величині перенабору більшій 13 % від ходу повзуна подачі. Збільшення ходу повзуна подачі також супроводжується деяким зменшенням довжини ділянки руху з постійною швидкістю. Відповідно збільшується і швидкість зустрічі прутка з упором матеріалу.

Аналіз одержаних осцилограм дозволяє зробити висновок про ефективність розроблених профілей кулаків подачі та затискування матеріалу.

Порівняння характеристик серійного МПМ з кулаками традиційного профіля з серійним МПМ з кулаками розробленого профіля дозволяє зробити висновок про перевагу використання кулаків розробленого профіля при довжинах подачі матеріалу до 110 мм, що дає можливість виключити операцію підрізки торця.

Порівняння характеристик серійного МПМ з кулаками розробленого профілю з модернізованим МПМ свідчить що останній забезпечує необхідні характеристики процесу подачі матеріалу при довжинах подачі до 160 мм, крім того модернізований МПМ простіший у виготовленні та обслуговуванні.

Експериментальні дослідження підтвердили, що запропонована методика раціонального профілювання кулаків подачі та затискування матеріала забезпечує одержання заданого на стадії проєктування закону руху матеріалу, що подається.

У п'ятому розділі викладено методику раціонального профілювання кулака, що задає вибраний закон руху робочого органа, а також проведені теоретичні та викладені результати експериментальних досліджень можливості подачі прутка без встановлення упору матеріала в робочій зоні верстата.

Для з'ясування принципової можливості подачі прутка без встановлення упору матеріала в робочій зоні верстата були проведені експериментальні дослідження дослідного МПМ, у якому замість упора матеріала в робочій зоні верстата встановлені передній та задній упори повзуна подачі.

Виконані дослідження дозволили зробити наступні висновки.

На точність подачі прутка по схемі, що розглядається, впливає в першу чергу розкриття зазора  $\delta$  між зубом вилки каретки повзуна подачі, що є дальнім від робочої зони верстата та підшипником труби подачі. Тому, для збільшення точності подачі матеріалу, необхідно зменшити величину зазора  $\delta$ . Необхідно розрізнити початковий зазор  $\delta_n$ , який з'являється після повороту шпindelного барабана до початку подачі матеріалу та кінцевий зазор  $\delta_k$ , що утворюється після закінчення подачі прутка. Величину зазора  $\delta_n$  можна зменшити через примінення на кулачки подачі спеціальної ділянки для вибірки вказанного зазору до початку руху подачі. Величину зазору  $\delta_k$  можна мінімізувати через примінення спеціальних законів руху повзуна подачі матеріалу.

Дефекти поверхні прутка, такі як сліди точіння з великою подачою та інші, у випадку використання подачі матеріалу за розглянутою схемою, не допускаються.

Для збільшення точності подачі прутка необхідне примінення високоточних затисних патронів.

Зусилля, які повинні створювати пружні елементи механізму, повинні бути не менше ніж у 1,5 рази більші, ніж максимальне зусилля набору прутка цангою подачі.

Стискання пружного елемента МПМ при встановленні повзуна подачі на упор повинно бути не меншим за 0,3 мм.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Точність роботи МПМ ТА значною мірою залежить від закону, у відповідності з яким рухається пруток, що подається у робочу зону верстата. Закон руху матеріалу, що подається, повинен відповідати наступним умовам:

1. Для зменшення невизначеності кінцевого положення прутка необхідно, щоб у процесі подачі матеріалу пруток не проковзувався у цанзі подачі на ділянках його розгону та гальмування до моменту дотику його до упора матеріала. У випадку використання схеми подачі без встановлення упора матеріала в робочій зоні верстата це забезпечує подачу прутка на довжину, що відповідає довжині ходу труби подачі. При невиконанні цієї вимоги на ділянці розгону існує вірогідність того, що пруток у кінці подачі не досягне упора матеріала. У випадку проковзування прутка у цанзі подачі на ділянці гальмування викривлюється заданий кулаком подачі закон руху матеріалу, що подається, це призводить до збільшення швидкості зустрічі прутка з упором матеріала, що, в свою чергу, призводить до збільшення динамічного навантаження МПМ у момент зіткнення прутка з упором матеріала та до збільшення величини відскока прутка від упора після зіткнення.

2. У разі критичного, з точки зору динамічного навантаження МПМ, циклового часу подачі прутка необхідно, щоб максимальне прискорення матеріалу, що подається, на ділянці розгону було рівним за абсолютною величиною максимальному прискоренню прутка на ділянці гальмування, що дозволяє мінімізувати максимальну величину абсолютного прискорення матеріалу, що подається, і, як слідство, зменшити загальне динамічне навантаження МПМ ТА на ділянці підводу прутка до упору матеріала.

3. Підвод прутка, що подається, до упора матеріала повинен здійснюватися на швидкості, величина якої менша за критичну при перевищенні якої різко збільшується величина відскока прутка від упора матеріала після зіткнення. Необхідно також забезпечити незмінність швидкості зустрічі прутка з упором матеріалу що дозволяє прогнозувати можливу величину відскока прутка.

4. Для зменшення динамічної навантаженості МПМ ТА необхідно здійснювати подачу матеріалу за законом, що забезпечує нерозкриття зазорів у кінематичному ланцюгу МПМ. Ця вимога постає необхідністю у разі використання схеми подачі матеріала без встановлення упору в робочій зоні верстата.

5. Зважаючи на те, що робота МПМ, МЗМ та МПШБ тісно взаємозв'язана між собою необхідно проаналізувати можливість сполучення у часі процесів розтискання, подачі, затискання матеріала та повороту ШБ. Даний аналіз необхідно проводити для кожного типорозміру верстата.

Зважаючи на те, що вихідною ланкою для МПМ ТА є МЗМ, потрібно забезпечити затискання матеріалу високоточним затисним патроном. Інакше похибка роботи МЗМ істотно зменшить ефективність підвищення точності подачі матеріала на точність деталей, що виготовлені на ТА.

Результати проведених досліджень свідчать що подача прутка серійним МПМ ТБА ряду 1Б290Н відбувається зі стрибками що призводить до значних динамічних навантажень у механізмі, а відносно велика швидкість зіткнення прутка з упором призводить до неприйнятних величин відскока.

Проведенні теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити рекомендації щодо покращення роботи МПМ ТБА ряду 1Б290Н.

1. Подачу прутка бажано здійснювати за законом, що включає в себе ділянку розгону зі зміною прискорення за косинусоїдальним законом, ділянку попереднього гальмування зі зміною прискорення за синусоїдальним законом, ділянку руху з незмінною швидкістю та ділянку кінцевого гальмування зі зміною прискорення за синусоїдальним законом (рис. 1, в).

2. Набір прутка бажано здійснювати за законом руху із зміною прискорення за косинусоїдою.

3. Бажано використовувати дороблену циклограму роботи МПМ, МЗМ та МПШБ. Ділянки розтискання та затискання прутка у цій циклограмі зменшені, відповідно, до  $20^{\circ}$  та  $24^{\circ}$ . Розтискання починається при  $\varphi_{рв} = 3^{\circ}$  та закінчується при  $\varphi_{рв} = 23^{\circ}$ , а затискання починається при  $\varphi_{рв} = 50^{\circ}$ , а закінчується при  $\varphi_{рв} = 74^{\circ}$ . Зміщення закінчення затискання зроблено таким чином, що цикловий кут сумісної роботи повзуна затискання та МПШБ складає  $10^{\circ}$ . За рахунок збільшення перекриття ділянки подачі з ділянкою затискання, цикловий кут подачі прутка збільшений до  $55^{\circ}$  ( $\varphi_{рв} = 15^{\circ} - 68^{\circ}$ ).

4. Для виключення або зменшення відскоку прутка від упору матеріала після їх зіткнення потрібно встановлювати облікову швидкість зіткнення прутка що подається з упором не більшу за  $0,1$  м/с.

5. Для зменшення динамічного навантаження МПМ в мить зіткнення прутка з упором матеріалу та стабілізації швидкості зустрічі прутка з упором при відхиленні реальної циклограми роботи механізмів верстата від вказаних в паспорті, потрібно встановлювати величину перенабору прутка не більше 10 % від величини ходу повзуна подачі.

6. Для збільшення продуктивності та точності проектування кулаків подачі та затискання бажано використовувати розроблену методичку раціонального профілювання кулаків.

7. Встановлена можливість розмірної подачі прутка без примінення операції підрізки торця у випадку використання кулачків подачі розробленого профілю.

8. Встановлена та підтверджена експериментально можливість та розроблені рекомендації щодо подачі прутка без встановлення упору матеріала в робочій зоні верстата.

#### Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Струтинский В.Б., Троян И.А. Математическое моделирование привода зажима заготовки металлорежущего станка // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Машиностроение, Либідь. - 1995. Вып. 31 с. 67 - 72.

2. Струтинский В.Б., Шевчук В.А., Троян И.А. Исследование характеристик механизмов подачи материала токарных многошпиндельных автоматов // Автоматизация и диагностика в механообработке: Сб. тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. - Луцк, 1993.

3. Струтинский В.Б., Шевчук В.А., Троян И.А. Метод достижения необходимой точности осевого габарита деталей, изготовляемых на токарных автоматах // Проблемы качества в условиях рынка. - Херсон, 1993. с. 4 - 9.

4. Струтинский В.Б., Шевчук В.А., Троян И.А., Киловатый Б.Я. Экспериментальное исследование механизмов подачи материала токарных многошпиндельных автоматов // Вестн. Киев. политехн. ин-та, Либідь. - 1993. Вып. 30 с. 190 - 203.

### Анотація

Троян Ігор Олександрович. Вдосконалення кінематичних та динамічних характеристик механізмів подачі заготовок токарних автоматів.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - "Процеси механічної обробки, верстати та інструменти". Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", Київ, 1996.

Захищається 4 наукові роботи.

Розроблен ряд математичних моделей процесу подачі матеріалу у токарному автоматі. Виведена низка законів руху прутка що подається. Знайдено закон руху матеріалу примінення якого дозволяє уникнути розкриття зазорів у механізмі при подачі прутка в робочу зону верстата. Розроблена методика раціонального профілювання кулаків подачі та затискання матеріалу. Встановлена можливість подачі прутка без встановлення упору матеріалу в робочій зоні верстата.

Ключові слова: токарний автомат, подача прутка, відскок, точність, закон руху, кулак, профілювання, динамічне навантаження.

### Abstract

Troyan Igor Olexandrovich. Improve cinematic and dynamic characteristic of feed mechanisms workpiece automatic lathe.

Research on receiving scientific degree of candidate of science by specialization 05.03.01 - "Process of mechanically treatment, mashines and tools". National technical university of Ukraine "Kiev politechnical institute". Kiev, 1996.

4 scientific works are defending.

Mathematical models of feed workpiece process in automatic lathe, was worked out. Some move law of bar was derivation. The move law of workpiece without open clearens space was established. The method of rational profiling of feed and clamp cams, was worked out. The possibiliti of feed workpiece in the zone of working without mount the rest of bar was established.

Key words: automatic lathe, feed of bar, rebound, precision, move law, cam, profiling, dynamic loading.



AB 36.515

**AB 36.515**