

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБКАТУВАННЯ РІЗЬБ І ЧЕРВ'ЯКІВ РОЛИКАМИ

**О. В. Зубехіна-Хайят**, здобувач

Миколаївський національний аграрний університет

*Досліджено процеси обкатування голчастими роликами різьб з широкою впадиною і архімедових черв'яків. Запропоновано спосіб обкатування різьб і черв'яків з великими кутами підйому лінії витку за допомогою гнучких голчастих роликів. За допомогою теоретичних і експериментальних досліджень показано, що з урахуванням жорсткості системи верстат-інструмент-деталь, стабілізації зусилля обкатування, локалізації пластичної деформації в тонкому поверхневому шарі вдалося досягти оптимальних режимів обкатування і за рахунок цього розширити номенклатуру обкатуваних і розкатуваних деталей.*

**Ключові слова:** голчасті ролики, обкатування гвинтових поверхонь голчастими роликами, кривизна гвинтової поверхні, шорсткість.

**Постановка проблеми.** У процесі експлуатації різьб їхні робочі поверхні зношуються через процеси тертя та силові навантаження, втрачаються якісні показники різьб та їх надійність, тому обладнання виходить з ладу. Поверхня різьб зношується, проте не відновлюється. Способи зміцнення конічних поверхонь різьб досить дорогі та складні, тому пропонується ефективний, в той же час економічно вигідний метод зміцнення різьб обкатуванням їх голчастими роликами, що буде сприяти підвищенню зносостійкості пар тертя, контактної і втомної міцності деталей.

**Аналіз останніх досліджень.** Підвищення зносостійкості елементів машин і апаратів має велике значення для підвищення їх довговічності. При виготовленні та експлуатації деталей машин на їх поверхнях утворюються нерівності. В умовах експлуатації цей шар піддається найбільш сильному фізико-хімічному впливу: механічному, тепловому, магнітоелектричному, світловому, хімічному та ін. [3, 7]. Одним з ефективних і простих методів зміцнення поверхневого шару є метод ППД (поверхнєве пластичне деформування) [9, 11]. Це досить дешевий, проте успішний метод зміцнення деталей машин. Є безліч методів зміцнення деталей, але вони дорогі та складні.

Досліджено достатньо успішних технологій в сфері поверхневого пластичного деформування, проте дана технологія має більше можливостей для використання та розширення номенклатури деталей машин, які можна зміцнити та підвищити їх надійність, зносостійкість, що не входить до сфери дії інших методів. Ефективне використання ППД у промисловості стало можливим завдяки роботам таких учених, як П. Г. Алексєєв, М. А. Балтер, В. А. Белов, В. М. Браславський, Б. І. Бугаков, Є. Г. Коновалов, І. В. Кудрявцев, А. А. Маталін, Д. Д. Папшев, Ю. Г. Проскураков, Е. В. Рижов, Ю. Г. Шнейдер, Д. Л. Юдін, Ю. І. Бабей, Л. М. Школьник, М. В. Азаревич, Г. М. Огневец та інших, які дали наукове підґрунтя цьому методу обробки [1-8]. Проаналізувавши попередні методи поверхневого пластичного деформування, з'ясовано, що низка питань не була вирішена. Потребує теоретичних досліджень технологія обкатування голчастими роликками деталей сільськогосподарських машин з урахуванням жорсткості технологічної системи.

**Метою статті** є дослідження моделювання процесу обкатування гвинтових поверхонь голчастими роликками з метою розширення номенклатури різьб і черв'яків, які можуть обкатуватися циліндричними роликками та підвищити їх зносостійкість, надійність, продовжити строк служби деталей; при цьому дотримуватися рівності кривизни контактуючих тіл і швидкість проковзування в зоні деформації. Встановити можливість обкатування голчастими роликками з деформацією по всій глибині профілю архімедові черв'яки.

**Виклад основного матеріалу.** Для моделювання взято архімедові черв'яки з модулями 10-24 мм, що мають великі кути підйому ліній витка. Трапецеїдальні і упорні різьби мають значно менші кути підйому лінії витка і менш глибокі впадини, що не моделювалися. Номенклатура різьб і черв'яків, які можуть обкатуватися циліндричними роликками з прямолінійною твірною, обмежується граничною величиною кривизни гвинтової поверхні в площині роликів. Ця кривизна залежить від діаметру, кутів підйому лінії витка і профілю різьби.

Великі упорні різьби обкатуються самовстановлюючими циліндричними роликками малого діаметру [1]. При обкатуванні

різьб з великими кутами підйому площину роликів повертають навколо осі, що проходить через середину впадини різьби на кут  $\lambda$ , у загальному випадку відрізняється від кута  $\lambda$  підйому різьби. Крім цього площину роликів зміщують щодо осьового перерізу деталі на величину  $h$ , достатню для утворення кута  $\beta$  між площиною роликів і твірною різьби на середньому діаметрі нарізки. При  $\beta=6^\circ$  створюється складова сили, що підтискає ролики до корпусу пристосування. Зсув і розворот площини роликів призводять до появи кінцевої (позитивної або негативної) кривизни профілю різьби в площині роликів.

Номенклатура різьб і черв'яків, які можуть обкатуватися циліндричними роликами, виходячи з можливості їх деформації по всій глибині профілю, визначалася експериментально обкатуванням моделей.

Обкатування гвинтових поверхонь з позитивною кривизною в площині роликів моделювалося обкатування конусів, а поверхонь з негативною кривизною – обкатуванням гіперболоїдів.

При обкатуванні моделей збережено такі параметри процесу: а) кривизна обкатуваної поверхні в площині роликів; б) величина відносного ковзання в контакті ролика з деталлю.

Радіус кривизни ( $R_k$ ) поверхні конуса в площині ролика ( $X_2, Z_2$ , рис. 1), отриманої поворотом на кут  $\beta$  осьового перерізу конусу навколо перпендикуляру до його твірної, визначається з урахуванням формули Ейлера [2]

$$R_k = \frac{r_{cp}}{\sin \alpha_k \cdot \sin^2 \beta}, \quad (1)$$

де  $r_{cp}$  – середній радіус конусу;  $\alpha_k$  – кут при основі конусу.

З умови збереження відносного ковзання в напрямку, перпендикулярному осі ролика, маємо:

$$r_{cp} = \frac{D_{cp} \cdot \sin \alpha_k}{2 \cos \alpha}, \quad (2)$$

де  $D_{cp}$  – середній діаметр і кут профілю різьби.

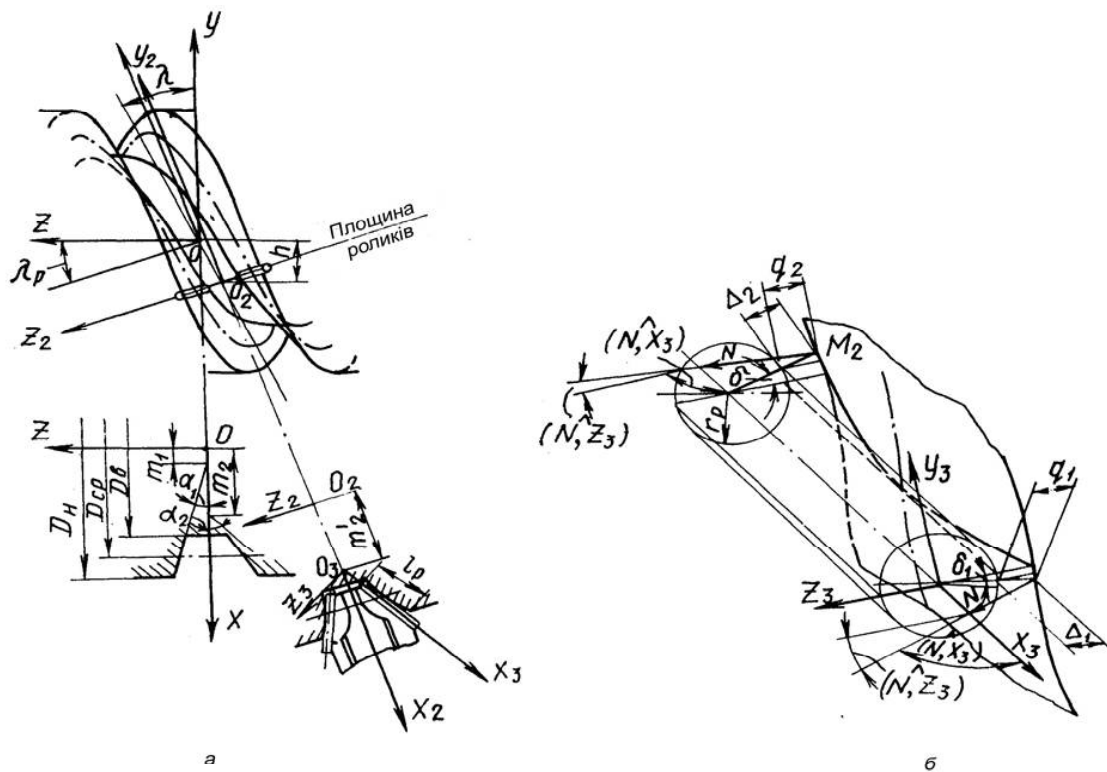


Рис. 1. Обкатування різьб з великими кутами підйому

Кут конусу ( $\alpha_K$ ), із врахуванням (1) и (2) при  $R_K=1/K_B$ , ви-  
значається

$$\alpha_K = \arctg \left[ \frac{D_{sp} \cdot K_B}{2 \cos \alpha \cdot \sin^2 \beta} \right], \quad (3)$$

З рішення геометричної задачі перетину циліндра з твір-  
ною і конічною поверхнями визначимо значення довжин кон-  
такту ролика з поверхнею різьби і макета, відношення цих  
значень дорівнює коефіцієнту уточнення ( $K_y$ ). З урахуванням  
[1] записуються рівняння гвинтової поверхні в системі коорди-  
нат  $X_3 Y_3 Z_3$  (рис. 1, а), де  $X_3$  є віссю ролика. Відстані  $\Delta_1$  і  $\Delta_2$  між  
точками  $M_1$  і  $M_2$  гвинтової поверхні відповідно на зовнішньому і  
внутрішньому діаметрі різьби і поверхнею ролика при точково-  
му контакті ролика з поверхнею різьби на середньому діаметрі  
нарізки (рис.1, б) визначається:

$$\Delta = \left| \frac{Z_3 \sin(N X_3)}{\cos(N Z_3)} \right| - r_p, \quad (4)$$

де  $r_p$  – радіус ролика.

$N X_3$  і  $N Z_3$  – відповідно кути між осями  $X_3$  і  $Z_3$  і нормаллю  $N$  до гвинтової поверхні, що проходить через точки  $M_1$  і  $M_2$  і вісь  $X_3$ .

Величина вдавнення ролика в напрямку осі  $Z_3$  до моменту торкання поверхнею ролика точок  $M_1$  і  $M_2$  гвинтової поверхні

$$q_{cp} = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta_1}{\cos \delta_1} + \frac{\Delta_2}{\cos \delta_2} \right), \quad (5)$$

де кути  $\delta_1$  і  $\delta_2$  визначаються рівністю  $\operatorname{tg} \delta = \frac{Y_3}{Z_3}$ , (6)

Довжина контакту ролика ( $l_p$ ) з гвинтовою поверхнею визначається як різниця абсцис  $X_3$  точок  $M_1$  і  $M_2$ .

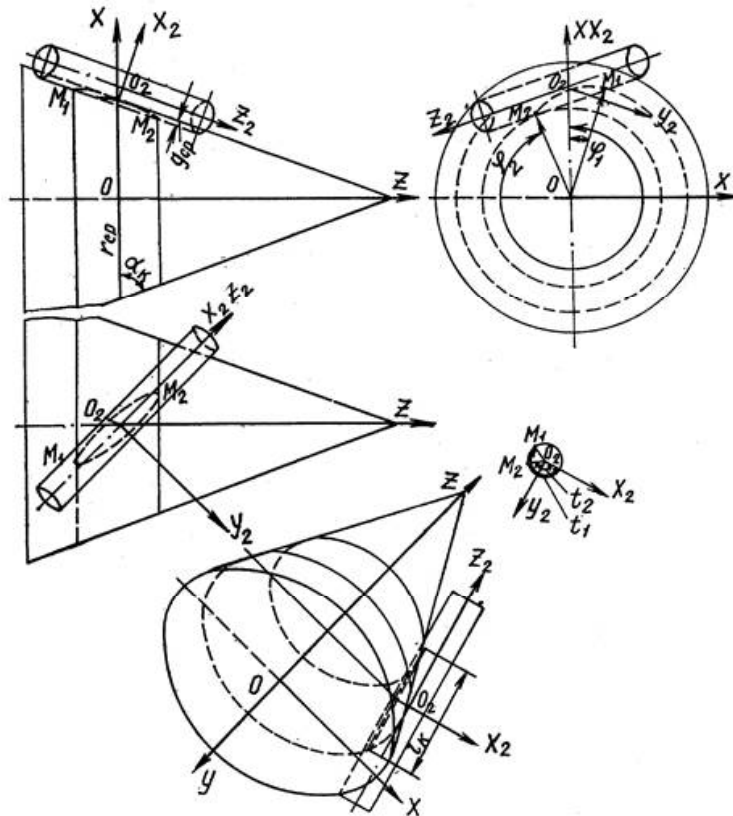


Рис.2. Схема до розрахунку довжини контакту ролика з конічною поверхнею макета

Координати  $X_3 Y_3 Z_3$  точок  $M_1$  і  $M_2$  визначаються при спільному вирішенні рівнянь (3), (4), (5), (6) гвинтової поверхні і рівняння нормалі  $N$ . Довжина контакту ролика з конічною поверхнею макета ( $l_p$ ), виміряна в напрямку осі ролика, розраховується спільним рішенням рівнянь циліндра і конуса в системі коор-

динат  $X_3Y_3Z_3$ , пов'язаної з віссю ролика, за умови вдавнення ролика в конус на величину  $q_{cp}$  (рис. 2) і дорівнює різниці координат  $Z_3$  точок  $M_1$  і  $M_2$  кінчної поверхні.

Гіперboloїд, що є моделлю гвинтової поверхні з негативною кривизною в площині роликів, утворюється при механічній обробці прямолинійною різальною кромкою різця. Ріжуча кромка, спочатку збігається з твірною конуса з кутом біля основи  $\alpha_2$ , повертається навколо перпендикуляра до твірної конуса на кут  $\gamma_p$  (рис. 3). При обертанні деталі кінчна поверхня за рахунок зрізання припуску перетворюється в гіперboloїд із середнім радіусом  $r_2$ .

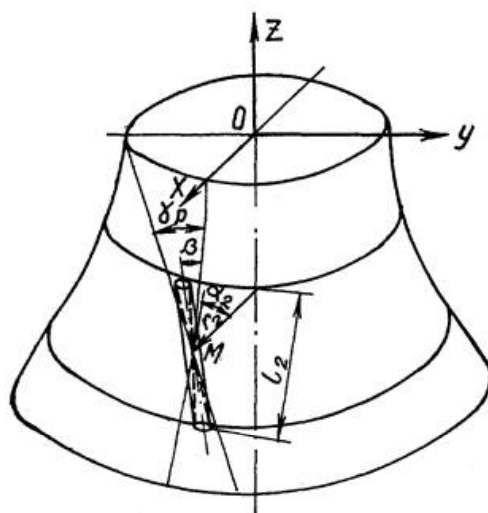


Рис. 3. Схема перетворення конічної поверхні в гіперboloїд

Площина ролика при обкатуванні гіперboloїда утворює з його осьовим перерізом кут  $\beta=6^\circ$ . Кривизна перетину гіперboloїда площиною ролика в точці  $M$  відповідно до [2] визначається:

$$\frac{1}{R} = \frac{\cos^2 \beta}{R_1} + \frac{\sin^2 \beta}{R_2}, \quad (7)$$

де  $R_1$  – радіус кривизни твірної гіперboloїда;

$R_2$  – радіус кривизни перетину, нормального до твірної.

Застосувавши формулу (7) до лінії ріжучої кромки, отримаємо:

$$\frac{\cos^2 \gamma_2}{R_1} + \frac{\sin^2 \gamma_2}{R_2} = 0. \quad (8)$$

Вирішивши спільно рівняння (7) і (8) при  $R_2 = \frac{r_2}{\sin \alpha_2}$  з урахуванням  $1/R = K_B$ , отримаємо формулу для розрахунку кута повороту ріжучої кромки різця

$$\gamma_p = \arctg \left[ \sqrt{\operatorname{tg}^2 \beta - \frac{r_2 \cdot R_B}{\cos^2 \beta \cdot \sin \alpha_2}} \right]. \quad (9)$$

Значення  $r_2$  у формулі (9) мають дорівнювати значенням радіусів  $r_{cp}$ , обчисленим за формулою (2) при  $\alpha_K = \alpha_2 = 60^\circ$ . Геометричні розміри моделей  $r_K$ ,  $r_2$ ,  $\alpha_K$  і коефіцієнт уточнення  $K_y$  розраховувалися на ПК.

Обкатування моделей здійснювалося пристроєм із самовстановлювальним циліндричним роликом на токарному верстаті [10].

У результаті цієї роботи показано, що циліндричними роликами можна обкатувати практично всі різьби з кутом підйому не більше  $10^\circ$ .

**Висновки.** Досліджено особливості обкатування різьб і черв'яків з широкою впадиною. Проведено моделювання обкатування гвинтових поверхонь голчастими роликами. Опуклі поверхні моделювались конусами, увігнуті – однополюсними гіперболоїдами. При цьому дотримувалася рівність кривизни контактуючих тіл і швидкість проковзування в зоні деформації.

Встановлено, що голчастими роликами можна обкатувати з деформацією по всій глибині профілю архімедові черв'яки з кутом підйому лінії витка  $\lambda < 10^\circ$ .

Запропоновано обкатувати архімедові черв'яки з  $\lambda > 10^\circ$  гнучкими голчастими роликами, на пристрій для цієї мети отримано патент України на винахід і патент України на корисну модель. Таким чином вдалося розширити номенклатуру обкатування різьб та архімедових черв'яків.

Список використаних джерел:

1. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение материалов / Ю.И.Бабей, Б.И.Бутаков, В.Г. Сысоев. – К. : Наук. думка, 1995. – 104 с.
2. Бронштейн И.Н. Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев – М. : Техиздат, 1956.



3. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием / Л.Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.
4. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев. – М. : Машиностроение, 1978. – 152 с.
5. Жасимов М.М. Управление качеством деталей при поверхностном пластическим деформировании / М.М. Жасимов. – Алма – Ата : Наука, 1986.– 208 с.
6. Butakov V. Исследования точности валов обкатанных устройством со стабилизацией рабочего усилия обкатывания / В. Butakov // Motrol, Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin, 2012. – Том 14 А. – С. 15 – 22.
7. Власов В.М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В.М. Власов. – М. : Машиностроение, 1987. – 304 с.
8. Роров А. Аналіз характеристик контакту поверхонь з початковим лінійним і точечним дотиком / А. Роров // Motrol, Motoryzacja I energetyka rolnictwa. – Lublin, 2015.–VOL 17, No.2. – С. 9 –16.
9. Бутаков Б.И. Определение оптимального усилия обкатывания валов роликами –Ч. 2. / Б.И. Бутаков, В.А. Артюх. – Санкт – Петербург, 2013 – С. 58-64.
10. Патент 101718 Украина МПК V24V 39/04 (2006.01), B21H 3/00. Пристрій для обкатування крупних різьб і архімедових черв'яків роликами / Б.И. Бутаков, А.В. Зубехина, заявник і патентовласник Б.И. Бутаков.; заявл. 18.07.2011, номер заявки: а201108944; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8, 2013.
11. Butakov V. Волнистость поверхности при обкатывании тел вращения роликами / В. Butakov // Motrol, Motoryzacja I energetyka rolnictwa. –Lublin, 2013. –Vol15, No2. – С. 15–22.

**А. В. Зубехина-Хайят. Моделирование процесса обкатывания резьб и червяков роликами.**

*Исследованы процессы обкатывания игольчатыми роликами резьб с широкой впадиной и архимедовых червяков. Предложен способ обкатывания резьб и червяков с большими углами подъема линии витка с помощью гибких игольчатых роликов. С помощью теоретических и экспериментальных исследований показано, что с учетом жесткости системы станок-инструмент-деталь стабилизации усилия обкатывания, локализации пластической деформации в тонком поверхностном слое удалось достичь оптимальных режимов обкатывания и за счет этого расширить номенклатуру обкатываемых и раскатываемых деталей.*

**Ключевые слова:** игольчатые ролики, обкатывание винтовых поверхностей игольчатыми роликами, кривизна винтовой поверхности, шероховатост.

**A. Zubiekhina-Khaiia. Modeling the process of thread and screw rolling by rolls.**

*The processes of thread rolling by needle rollers with a wide cavity and archimedean screws were investigated. A method of thread and screw rolling with greater angles of rise spiral line was offered. It has been shown due to theoretical and experimental studies that taking into account the stiffness of the system machine-tool-part, stabilization rolling efforts, localization of plastic deformation in a thin surface layer the optimal mode rolling were achieved and thus the range of rolling and rolled parts were expanded.*

**Keywords:** needle rollers, rolling screw surfaces by needle rollers, curvature of a screw surface, a roughness.