

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ

*Богдан Гевко, Андрей Дячун, Назар Марчук*

*Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя  
Ул. Русская 56, Тернополь, 46000, Украина. E-mail: oleg-lashyk@rambler.ru*

*Bohdan Hevko, Andrii Djachun, Nazar Marchuk*

*Ternopil Ivan Puluj National Technical University  
Ruska str., 56, Ternopil, 46000, Ukraine. E-mail: oleg-lashyk@rambler.ru*

**Аннотация.** Широкое использование резьбовых соединений в машиностроении обусловлено их простотой конструкции, высокой несущей способностью, надежностью и также удобством соединений та россоединения деталей. Использование резьбовых соединений способствуют также большое количество номенклатуры специальных резьбовых деталей приспособленных к различным конструкциям, их широкая стандартизация та низкая стоимость в условиях массового производства.

В процессе работы устройств для нарезания рези возникают нагрузки, вызывающие выход из строя его рабочих частей, когда угол относительного поворота между метчиком и хвостовиком превышает допустимый, что определяется из условий прочности составных частей устройства. При этом установлено, что величина угла относительно поворота при динамических нагрузках превышает величину при статических нагрузках.

**Ключевые слова:** динамика, резьба, гайка.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Создание новых конструкций деталей машин с резьбовыми отверстиями инструментальных материалов, усовершенствование конструкции метчиков и оптимизация геометрии режущей части, улучшение качества рабочих поверхностей, применение оптимальных настроек и новых видов охлаждения не решают полностью вопрос высокопроизводительного и качественного изготовления внутренних резьб в высоко пластических материалах.

Суть технологии изготовления деталей машин базируется на последовательном использовании различных технологических способов действия инструментов на обрабатываемую заготовку с целью предоставления ее заданной формы, размеров и указанной точности. Широкое использование резьбовых соединений в машиностроении обусловлено их простотой, высокой несущей способностью и разьединением деталей, применение различных резьбовых соединений способствуют также наличие значительного номенклатуры специальных резьбовых деталей, приспособления к различным вариантам соединений, их широкая стандартизация и низкая цена в условиях массового изготовления.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросами разработки устройств для резки рези в деталях машин различного служебного назначения посвящены труды И. Грановского [1], Аршинова В.А. [4], Родина П.Р. [6], Мельничука П.П. [8], Панова А.А., [10] Любина Н. В. [15], Кралина А. К. [17], Матвиенка А. В. [16] и многих других. Однако целый ряд вопросов требуют дальнейших исследований. Этот вопрос повышения надежности и долговечности резьбонарезных инструментов, повышение качества нарезки резьбы, уменьшение шумовых характеристик станков и технологической оснастки в процессе эксплуатации при нарезке резьбы.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

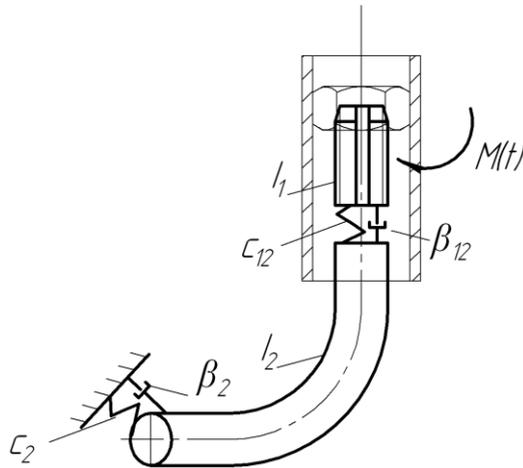
Целью статьи является разработка динамики конструкций для нарезания резьбы в гайках и обоснование параметров технологического процесса нарезке резев.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Устройство для нарезания гаек с согнутым хвостовиком (рис. 1) выполнено в виде станины 1, на которой установлены все узлы и детали, а каждая из шестигранных секций 2 снизу есть во взаимодействии с заготовками гаек 3, видвижным диском 5, а магазин оснащен центральным механизмом поворота 6 каждой из шести секций на 60 °. Это шестигранный магазин 2 для подачи заготовок гаек 3, где во внутренней корпус из шести сторон жестко установлены (приклеены) пластические пластины 4, которые гасят динамические нагрузки при взаимодействии с заготовками гаек 6.

Внизу под магазином 2 установлена загрузочная секция 7 с внутренним шестигранником с конусной удобной западной частью для гаек 3, который является в периодической взаимодействии с внешними гранями гаек с возможностью осевого перемещения, которая снизу поддерживает поток гаек и с помощью пневмоприжимом 8 подает гайку 3 до контакта с метчиком 9, который левым концом резьбы завинчивающейся в внутреннее отверстие 10





**Рис. 2.** Расчетная схема части устройства для нарезания резьбы в гайках

**Fig. 2.** The design scheme parts of the device for threading in the nuts

К сосредоточенным масс отнесены:  $I_1$  – момент инерции метчика;  $I_2$  – моменты инерции хвостовика. Кроме этого, на рисунке 2 показано  $C_{12}$  – приведенная жесткость соединения между метчиком и хвостовиком,  $C_2$  – жесткости соединений между хвостовиком и корпусом,  $\beta_{12}$  – коэффициент демпфирования между метчиком и хвостовиком,  $\beta_2$  – коэффициенты демпфирования между хвостовиком и корпусом.

Во время нарезания резьбы возникает момент резки  $M(t)$ . Изучению влияния конструктивных и геометрических параметров метчика на установившийся момент резки  $\dot{I}_{\delta\epsilon\zeta}$  посвящено большое количество исследований, которые носят преимущественно экспериментальный характер и учитывают в основном три фактора - номинальный диаметр, шаг резьбы и материал гайки. Поэтому момент резки  $\dot{I}_{\delta\epsilon\zeta}$  при достижении устойчивого процесса резки можно записать по формуле [1, 14]:

$$M_{\delta\epsilon\zeta} = 10C_i D^q P^y k_p, \quad (1)$$

где:  $C_m, q, y, k_p$  - коэффициенты и показатели степени, характеризующие обрабатываемый материал и его качество;  $D$  – номинальный диаметр резьбы, мм;  $P$  – шаг резьбы, мм.

Поскольку метчик для малых диаметров состоит из трех зубов и заборной конусной части, для процесса резки можно выделить ряд моментов:

- постепенное врезки первого зуба;
- постепенное врезки второго зуба и резки первым зубом;
- постепенное врезки третьего зуба и резки первым и вторым зубом;
- одновременное нарезания резьбы тремя зубами (установившийся процесс резки)

– постепенный выход зубов с нарезанной резьбы.

Учитывая то, что в начале и в конце зоны резания, когда происходит врезка и выход зубов происходит изменение величины глубины резания, на этих участках момент резки  $M_1(t)$  для каждого зуба представим соответственно растущей и убывающей линейными зависимостями.

Зависимость роста момента резки  $M_1(t)$  для каждого зуба представим функцией:

$$M_1(t) = \frac{M_{пуз}}{zt_v} (t - (z - t)t_1) \quad (2)$$

где:  $t_v$  – время, в течение которого проходит постепенное врезки зуба метчика, с;  $t_1$  – время между промежутками врезки предыдущего и последующего зубов, с;  $z$  – количество зубов на метчик.

Время между промежутками врезки предыдущего и последующего зубов определяют по формуле:

$$t_1 = \frac{2\pi}{z \cdot \omega}, \quad (3)$$

где:  $\omega$  – угловая скорость вращения гайки, рад/с.

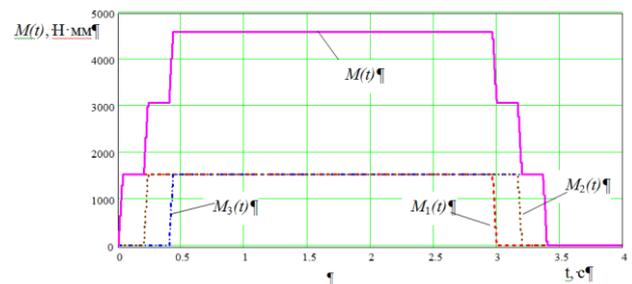
Используя уравнения (1) и (2), моменты резки представим алгебро-логической функцией [11-13, 18-19]:

$$M_z(t) = \frac{M_1(t) + M_{пуз} - |M_1(t) - M_{пуз}|}{4} + \frac{|M_1(t) + M_{пуз} - |M_1(t) - M_{пуз}||}{4} \quad (4)$$

Момент резания определяем по формуле:

$$M(t) = \sum_{z=1}^z M_z(t). \quad (5)$$

Изменение момента резки  $M(t)$  во времени представлено в виде графиков на рис. 3.



**Рис. 3.** График изменения момента резки  $M(t)$  и моментов резания на каждом зубе  $M_z(t)$  во времени

**Fig. 3.** Graph change of moment the segments  $M(t)$  and moments at each the cutting a tooth  $M_z(t)$  in the time

Выбираем по обобщенным координатам углы поворота инерционных масс,. Кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{I_1 \cdot \varphi_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \varphi_2^2}{2}. \quad (6)$$

Потенциальная энергия системы:

$$\Pi = \frac{C_{12} \cdot (\varphi_2 - \varphi_1)^2}{2} + \frac{C_2 \cdot \varphi_2^2}{2}. \quad (7)$$

Функция рассеяния:

$$\Phi = \frac{\beta_{12} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{2}, \quad (8)$$

где:  $\beta_{12}$  – коэффициенты демпфирования.

Составим дифференциальные уравнения движения системы для вынужденных колебаний, применяя уравнения Лагранжа второго рода. Для масс, осуществляющих крутильные колебания:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_n} + \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_n} = M(t). \quad (9)$$

На основе формулы (9) система дифференциальных уравнений для схемы на рис. 2 будет следующей:

$$\begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\varphi}_1 + \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 + C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 &= M(t) \\ I_2 \cdot \ddot{\varphi}_2 + (\beta_2 + \beta_{12}) \cdot \dot{\varphi}_2 + (C_{12} + C_2) \cdot \varphi_2 & \\ - \beta_{12} \cdot \dot{\varphi}_1 - C_{12} \cdot \varphi_1 &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Начальные условия для системы уравнений записываем из следующих соображений. При нарезке резьбы до момента столкновения метчика с гайкой, от которого и ведем отсчет времени, не происходит деформации упругих элементов системы. Поэтому, начальные относительные координаты и скорости принимаем равными нулю. Дальнейшая деформация происходит за счет действия внешних сил:

$$\begin{aligned} \varphi_1(0) &= 0, \quad \varphi_2(0) = 0, \\ \dot{\varphi}_1(0) &= 0, \quad \dot{\varphi}_2(0) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Решение системы нелинейных дифференциальных уравнений (10) с начальными условиями (11) целесообразно провести на компьютере с применением стандартной подпрограммы численного метода Рунге-Кутты.

Величину деформации в месте соединения метчика с хвостовиком определяем по формуле:

$$\psi_1 = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (12)$$

По результатам исследований представлены графические зависимости изменения угла деформации метчика во времени (рис. 4), угла деформации метчика относительно хвостовика во времени (рис. 5), скорости деформации метчика во времени (рис. 6) и динамического момента деформации метчика во времени (рис. 7) во время нарезания резьбы M10 [2-3, 5].

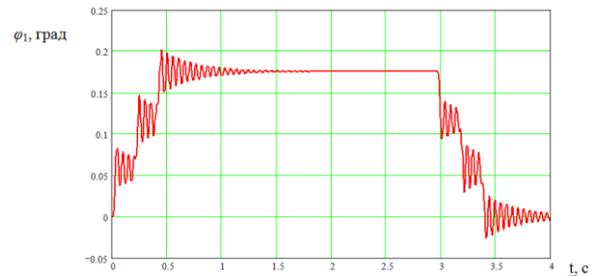


Рис. 4. График изменения угла деформации метчика во времени

Fig. 4. Graph changes in the angle of deformation of the tap in time

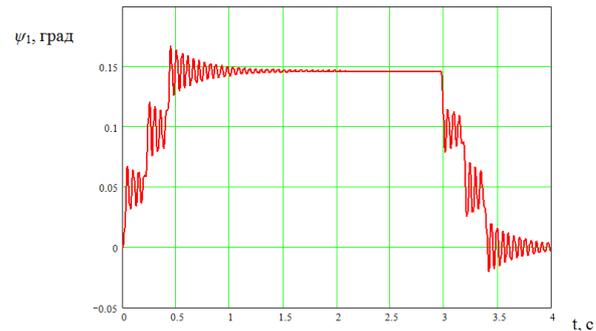


Рис. 5. График изменения угла деформации метчика относительно хвостовика во времени

Fig. 5. Graph changes in the angle of deformation relative to the shank the tap in time

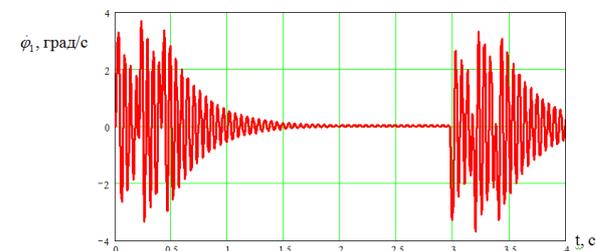


Рис. 6. График изменения скорости деформации метчика во времени

Fig. 6. Graph changes the rate of deformation of the tap in time

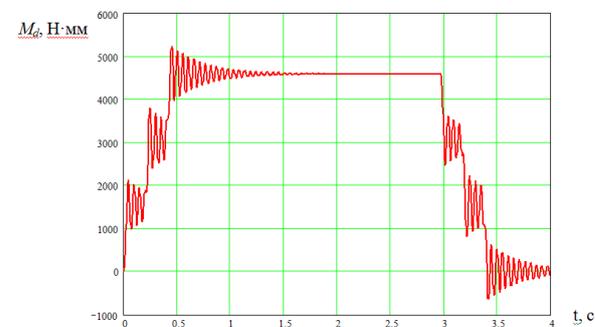


Рис. 7. График изменения динамического момента деформации метчика во времени

Fig. 7. Graph changes the dynamic deformation of the tap moment time

Для проверки адекватности предложенной системы дифференциальных уравнений все их составляющие определялись экспериментально. Из представленных графических зависимостей видно, что угол деформации метчика во времени сначала возрастает при постепенном врезке зубов к 0,2 град, затем стабилизируется при одновременной работе всех зубов на отметке 0,175 град, затем постепенно снижается с затухающими колебаниями до нуля при выходе зубов с нарезанной резьбы.

#### ВЫВОДЫ

1. Разработана конструкция устройства для нарезания гаек с изогнутыми хвостовиком и доказана практическая целесообразность использования предложенного механизма.

2. На основе созданной динамической модели системы резьбонарезные устройства проведен расчет и представлены графические зависимости изменения угла деформации метчика, угла деформации метчика относительно хвостовика, скорости деформации метчика и динамического момента деформации метчика во времени во время нарезания резьбы как в автоматическом реверсном режиме так и в обычном с уменьшения шума и улотшения работы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Грановський Г.И. 1954.** Резание металлов. – М.: Машгиз, 472.
2. Справочник технолога-машиностроителя под. Ред. Канд. техн. наук. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещеряковой. Т.1. 1985. М.: Машиностроение, 656.
3. Справочник технолога-машиностроителя под. Ред. Канд. техн. наук. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещеряковой. Т.2. 1985. М.: Машиностроение, 496.
4. **Аршинов В.А., Алексеев Г.А. 1976.** Резание металлов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 440.
5. **Петрухи П.Г. 1974.** Резание конструкционных материалов, режущие инструменты и станки. Под общей редакцией проф. П.Г. Петрухи М. Машиностроение, 615.
6. **Родин П.Р. 1990.** Основы проектирование режущих инструментов. К.Вища Школа, 422.
7. **Гевко Б.М. 2006.** Технология сельскохозяйственного машиностроения. К.: Кондор, 490. (Украина).
8. **Жолобов А.А., Кириллович В.А., Мельничук П.П. 2008.** Технология автоматизированного производства. Житомир, 1014. (Украина).
9. **Филоненко С.Н. 1975.** Резание металлов. Изд. "Техника" К, 223. (Украина).
10. **Панов А.А., Аникин В.В., Бойл М.Г. 1988.** Под общей редакцией Панова А.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога. М.: Машиностроение, 736.
11. **Loveykin V., Javorska A. 2012.** Screw feeder: optimization of motion modes considering that the moments of resistance forces change under linear law Motrol. Motoryzacja i Energetyka Vol. 14/3. 40-46.
12. **Lytvynov O., Tanas W. 2006.** Towards the dynamic calculation of machines . Motrol. –Tom 8A. 210-223.
13. **Swic A, Taranenko W. 2003.** Projektowanie technologiczne elastycznych systemow produkcyjnych. - Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 322.
14. **Мазур М.П. 2010.** Основы теории резания материалов: учебник [для высш. учеб. заведений] / М.П.Мазур, Ю.М.Внуков, В.Л. Доброскок, В.А. Залого, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; под. Общ. Ред. М.П. Мазура. - Львов Новый Мир-2000, 422. (Украина).
15. **Любин Н. В. 1997.** Исследование процесса пластического формообразования внутренней метрической резьбы инструментом с радиальным перемещением деформирующих пластин [Текст]: дис...канд. техн. наук: 05.03.05 / Любин Николай Владимирович; Винницкий гос. технический ун-т. – Винница, 20. (Украина).
16. **Матвиенко А. В. 1999.** Повышение эффективности изготовления тонкостенных резьбовых изделий [Текст]: дис...канд. техн. наук: 05.02.08 / Матвиенко Андрей Васильевич; Донбасская гос. академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 177. (Украина).
17. **Кралин А.К. 2009.** Совершенствование технологического обеспечения пластического формообразования резьб на гайках в условиях массового производства [Текст]: учеб. дис . канд. техн. наук: 05.03.05 / А.К.Кралин; Донбасская гос. машиностроительная академия. – Краматорск. 19. (Украина).
18. **Loveykin V.S. 2011.** Bagatomasova model dinamiki ruhu kormozmishuvacha gvintovogo tipu zi zminnim oporom // MOTROL. Commis-sion of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 13B. 124-129.
19. **Мартынцив М.П. 2011.** Динамические расчеты винтовых транспортных механизмов / М.П. Мартынцив, И.Б. Гевко // Научный вестник Национального лесотехнического университета Украины: сборник научных трудов. – Вып. 21.15. - 108-118. (Украина).
20. **Гевко И.Б. 2013.** Научно-прикладные основы создания винтовых транспортно-технологических механизмов: Автореф. дис. на получение наук. степени доктора техн. наук: спец. 05. 02.02 «Машиноведение» / И. Б. Гевко. – Львов, 42. (Украина).

## THE STUDY OF THE DYNAMICS OF A DEVICE FOR SCREW THREAD TURNING

**Summary.** The widespread use of threaded connections in mechanical engineering is stipulated by their simple design, high load bearing capacity, reliability, connectivity and non-connectivity of details. The use of threaded connections is also contributed by a large number of the nomenclature of the special threaded details adapted to different structures as well as by their wide standardization and the low cost in mass production.

It was found that the angle value relatively to the rotation with dynamic loads exceeds the static load value. The Differential equations of system motion for the forced oscillations in the form of Lagrange equations of

the 2nd kind are developed. The system of nonlinear differential equations is developed on the computer using a standard program of numerical method Runge-Kutt.

Based on the research results, the graphical dependencies of changing the angle of deformation of the tap in time, as well as the displacement angle of the tap in time, the rate of deformation of the tap.

It was found that the angle of deformation of the tap in time firstly increases with continuous threading the teeth to 0,2grad, and then stabilizes in the simultaneous operation of all the teeth on the winding 0,175grad, then gradually decreases with fluctuations subside to zero when leaving teeth tapped.

**Key words:** conveyer, operation, maintenance, cost price.