

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ НАРЕЗАНИЯ РЕЗЬБЫ

*Bohdan Hovko, Andrii Djachun, Nazar Marchuk*

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

*Bohdan Hovko, Andrii Djachun, Nazar Marchuk*

Ternopil Ivan Pulyu 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 и разъединения деталей. Использование резьбовых соединений способствуют также большое количество номенклатуры специальных резьбовых деталей приспособленных к различным конструкциям, их широкая стандартизация и низкая стоимость в условиях массового производства.

В процессе работы устройств для нарезания резьбы 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 устанавливается, что величина угла относительного 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 конструкций 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 обрабатывающую заготовку с целью преобразования ее заинной формы, размеров и указанной точности. Широкое использование резьбовых соединений в машиностроении обусловлено их простотой, высокой несущей способностью и разъединением 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 резьбы в деталях машин различного служебного назначения посвящены труды И. Грановского [1], Аршинова В.А. [4], Родина П.Р. [6], Мельничук П.П. [3], 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 резьб.

## 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, видоизмененным 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 коробке 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 шестиграниником 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 пневмоприводом 8 подает гайку 3 до контакта с метчиком 9, который левым концом резьбы завинчивающейся в внутреннее отверстие 10

метчика 9 в направление же закручивания. Для метчиков увеличенных типоразмеров такая конструкция, которая состоит из двух деталей дает значительную экономию металла.

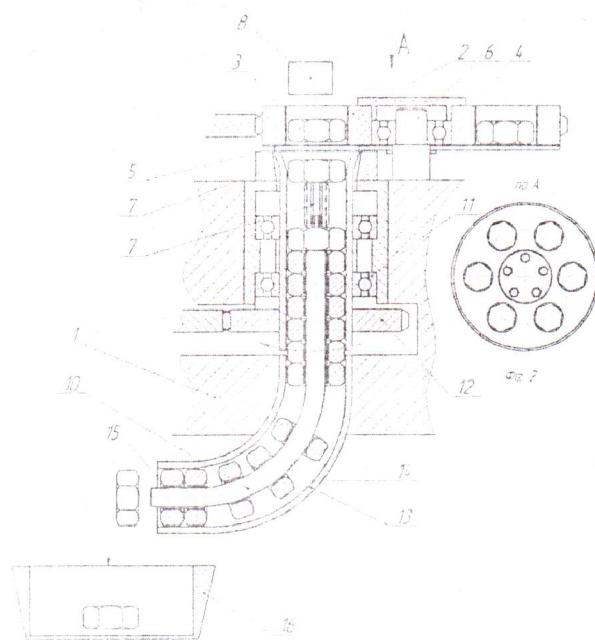


Рис. 1. Устройство для нарезания гаек согнутых хвостовиком

Fig. 1. The device for tapping for bent shank bolts

Снизу под загрузочной секцией 7 в станине жестко установлены на двух подшипниках 11 шестигранная труба 7 с возможностью кругового проворачивания. Сверху шестигранная труба 7 выполнена с индивидуальным приводом 12 с удобным заходом шестигранных гаек внутри трубы. Снизу шестигранная труба установлена соосно к Г-образной трубе 13 несколько увеличенного диаметра и жестко закреплена к станине 1.

Г-образный метчик 10 несколько увеличенных размеров выполнена из двух частей вертикальной верхней вращающейся и нижней 15 Г-образной, которая центрируется в Г-образной трубе с гайками 3. Сверху над загрузочной позицией 8 магазина установлено прижимной механизм поверхности гайки 3 за верхней режущей части метчика 9, который работает в автоматическом реверсном режиме известным способом.

Для уменьшения шума при работе устройства во внутренней трубе жестко установлено пластиковую трубу 14 (приkleено), которая по внутреннему диаметру есть во взаимодействии с внешними параметрами гаек 3 с возможностью их свободного осевого перемещения. На наружный диаметр Г-образного хвостовика 10 жестко одета пластическая труба 15 которая внешним диаметром у взаимодействии с внутренними диаметрами гаек для уменьшения шума от взаимодействия гаек с Г-образным хвостовиком.

При этом гайка накручивается и смещается в иогнутой трубе 13, после чего прижим 8 дает следующую гайку 3 и другие где происходит нарезка

резьбы. При этом гайки проталкивают одна другую и по согнутому хвостовику 14 они перемещаются и собираются в емкость 16. Пластмассовые упругие трубы 14, 15 и пластин 6 при нарезке резьбы обеспечивает бесшумную работу и улучшает условия работы при непрерывной подачи смазки.

При наполнении емкости 16 ее забирают и устанавливают новую пустую.

К достоинствам устройства относится уменьшение шума и улучшение условий работы.

Процесс нарезки резьбы в гайках характеризуется совокупностью достаточно сложных процессов, пластичными, упругими, температурными деформациями и собственно резки материала гайки.

В процессе автоматического нарезания резьбы в гайках одним из важных параметров, который влияет на точность среднего диаметра, шага и шероховатости поверхности образованной резьбы является угол деформации метчика вследствие динамических нагрузок. Чем больше угол деформации, тем больше погрешность обработки. Особенно это важно при нарезке резьбы малого диаметра с большим шагом, когда жесткость метчика сравнительно низкой.

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

На основе вышесказанного возникает необходимость в исследовании динамических нагрузок на элементы устройства для нарезания резьбы и характер перемещения его составляющих. Эти перемещения можно найти с помощью решения дифференциальных уравнений движения. Для упрощения расчетов осуществляется некоторую идеализацию системы не учитывая второстепенные факторы [19-20].

Расчетную схему части устройства для нарезания резьбы в гайках можно представить так, как это показано на рис. 2. Эта модель представлена в виде сосредоточенных масс, соединенных упругими связями [11-12, 18]. Упругие связи допустим невесомыми, характеризующими постоянным коэффициентом жесткости. Местными напряжениями и деформациями в местах соединения отдельных элементов отвергнуто.

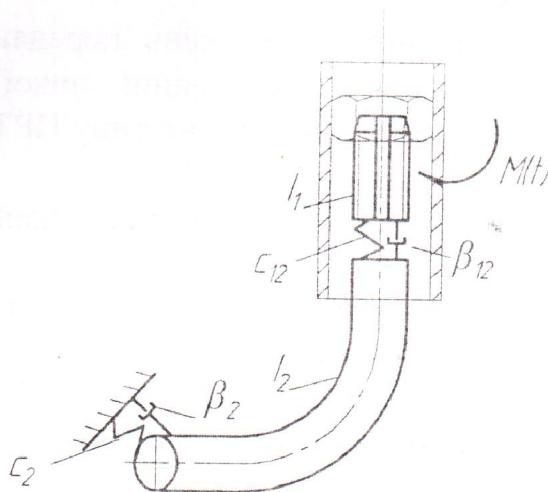


Рис. 2. Расчетная схема части устройства для нарезания резьбы в гайках

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

К сосредоточенных 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  $\dot{M}_{\text{рез}}$  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  $\dot{M}_{\text{рез}}$  при достижении устойчивого процесса резки можно записать по формуле [1, 14]:

$$\dot{M}_{\text{рез}} = 10C_i D^q P^y k_p, \quad (1)$$

где:  $C_i$ ,  $q$ ,  $y$ ,  $k_p$  — 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 проходит 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:

$$M_1(t) = \frac{M_{\text{рез}}}{z t_v} (t - (z - i)t_1) \quad (2)$$

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 метчике.

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]:

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

Момент резания определяем по формуле:

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

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

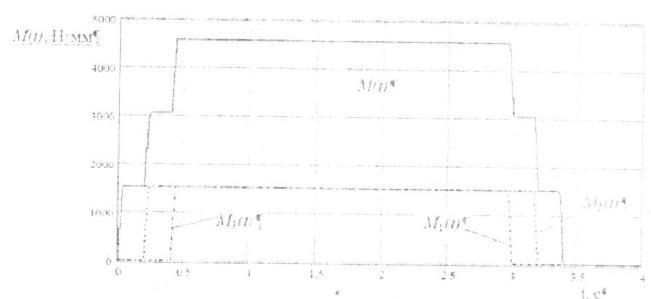


Рис. 3. График изменения момента резки  $M(t)$  и моментов резания на каждом зубе  $M_z(t)$  во времени

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:

$$T = \frac{I_1 \cdot \dot{\phi}_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \dot{\phi}_2^2}{2}. \quad (6)$$

Потенциальная энергия системы:

$$U = \frac{C_{12} \cdot (\phi_2 - \phi_1)^2}{2} + \frac{C_2 \cdot \phi_2^2}{2}. \quad (7)$$

Функция рассеяния:

$$\Phi = \frac{\beta_{12} \cdot (\phi_2 - \dot{\phi}_1)^2}{2} + \frac{\beta_2 \cdot \dot{\phi}_2^2}{2}, \quad (8)$$

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

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

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_n} + \frac{\partial U}{\partial \phi_n} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\phi}_n} = M(t). \quad (9)$$

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

$$\begin{aligned} I_1 \cdot \ddot{\phi}_1 + \beta_{12} \cdot \dot{\phi}_1 + C_{12} \cdot (\phi_1 - \phi_2) - \beta_{12} \cdot \dot{\phi}_1 &= M(t) \\ I_2 \cdot \ddot{\phi}_2 + (\beta_2 + \beta_{12}) \cdot \dot{\phi}_2 + (C_{12} + C_2) \cdot \phi_2 & \\ - \beta_{12} \cdot \dot{\phi}_1 - C_{12} \cdot \phi_1 &= 0 \end{aligned} \quad (10)$$

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:

$$\begin{aligned} \phi_1(0) &= 0, \quad \dot{\phi}_1(0) = 0, \\ \phi_2(0) &= 0, \quad \dot{\phi}_2(0) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

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

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

$$\psi_1 = \phi_1 - \phi_2. \quad (12)$$

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].

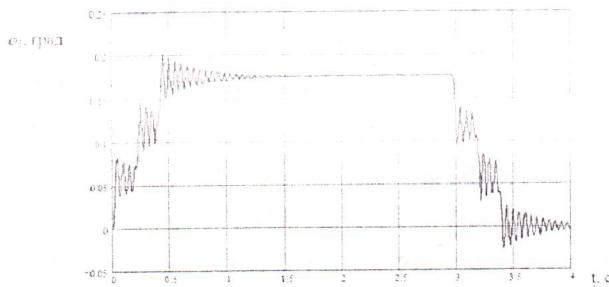


Рис. 4. График изменения угла деформации метчика во времени

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

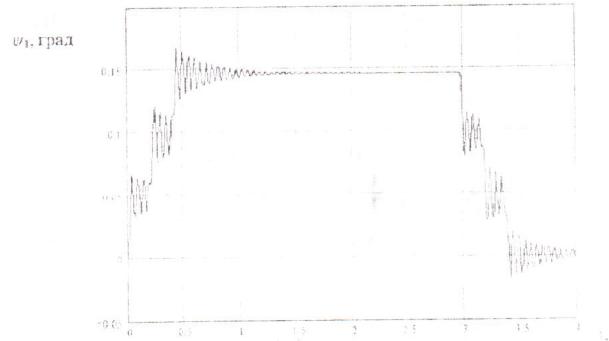


Рис. 5. График изменения угла деформации метчика относительно хвостовика во времени

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

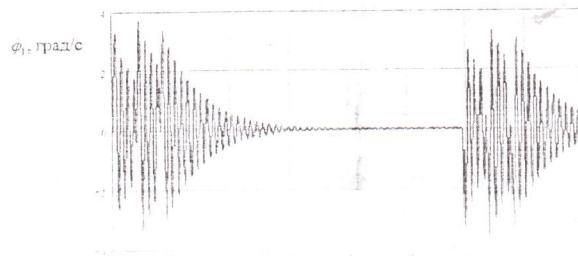


Рис. 6. График изменения скорости деформации метчика во времени

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

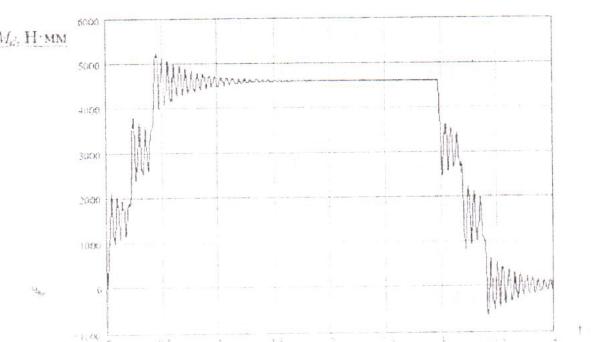


Рис. 7. График изменения динамического момента деформации метчика во времени

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

Для проверки адекватности предложенной системы дифференциальных уравнений все их составные 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 уменьшением шума и упрощения работы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Грановський Г.І. 1954. Резаніє металлов. – М.: Машгиз, 472.
- Справочник технолога-машиностроителя под. Ред. Канд. техн. наук А.Г.Косилової і Р.К. Мешерякової. Т.1. 1985. М.: Машиностроение, 656.
- Справочник технолога-машиностроителя под. Ред. Канд. техн. наук А.Г.Косилової і Р.К.Мешерякової. Т.2. 1985. М.: Машиностроение, 496.
- Арнинов В.А., Алексеев Г.А. 1976. Резание металлов и режущий инструмент. М.: Машиностроение, 440.
- Петрухі П.Г. 1974. Резаніє конструкційних матеріалів, режущі інструменти і станки. Под общей редакцией проф. П.Г. Петрухи М. Машиностроение, 615.
- Родин П.Р. 1990. Основы проектирование режущих инструментов. К.Вища Школа, 422.
- Гевко Б.М. 2006. Технология сельскохозяйственного машиностроения. К.: Кондор, 490. (Украина).
- Жолобов А.А., Кириллович В.А., Мельничук П.П. 2008. Технология автоматизированного производства. Житомир, 1014. (Украина).
- Філоненко С.Н. 1975. Резаніє металлов. Ізд."Техника" К, 223. (Украина).
- Панов А.А., Аникин В.В., Бойл М.Г. 1988. Под общей редакцией Панова А.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога. М.: Машиностроение, 736.
- 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.
- Lytyunov O., Tanaś W. 2006. Towards the dynamic calculation of machines'. Motrol. -Tom 8A. 210-223.
- Swic A, Taranenko W. 2003. Projektowanie technologiczne elastycznych systemow produkcyjnych. - Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, 322.
- Мазур М.П. 2010. Основы теории резания мате-риалов: учебник [для высш. учеб. заведений] / М.П.Мазур, Ю.М.Внуков, В.Л. Добросок, В.А. Залога, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; под. Общ. Ред. М.П. Мазура. - Львов Новий Мир-2000, 422. (Украина).
- 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).
- 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).
- 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).
- Loveykin V.S. 2011. Bagatomasova model dinamiki rufu kormoznishuvacha gyintovogo tipu zi zminnim oporom // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin. Vol. 13B. 124-129.
- Мартынчик М.П. 2011. Динамические расчеты винтовых транспортных механизмов / М.П. Мартынчик, И.Б. Гевко // Научный вестник Национального лесотехнического университета Украины: сборник научных трудов. – Вып. 21.15. - 108-118. (Украина).
- 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 or numerical method Kunge-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.