

Расчет установочных размеров и опорных поверхностей резьбонарезных головок с круглыми радиальными гребенками

© И.В. Иванина

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Предложена математическая модель определения установочных размеров и опорных поверхностей резьбонарезных головок, оснащенных круглыми радиальными гребенками, с учетом особенностей кинематики резания и расположения формообразующих элементов на режущей части инструмента. Аналитически установлена взаимосвязь конструктивных и геометрических параметров резьбовой пары гребенка — деталь, что позволяет проводить дальнейший анализ конструкции и геометрии режущей части инструмента с точки зрения обеспечения возможности выполнения режущей и калибрующей частями гребенок своих функций. Представлены результаты расчетов по влиянию установочных размеров резьбонарезной головки на значение задних углов элементарных режущих профилей и динамику нарастания площадей опорных поверхностей гребенок.

Ключевые слова: *резьбонарезание, генераторная схема резания, резьбонарезная головка, расчет, установочные размеры, задний угол, опорные площади*

Введение. Качество и стабильность работы деталей и узлов машиностроительной продукции во многом зависят от точности и надежности резьбовых соединений, которые в настоящее время являются основным видом крепления высоконагруженных элементов. Существенные технологические сложности возникают при изготовлении точных резьб. В условиях массового машиностроения и специализированного метизного производства наиболее распространен и перспективен способ нарезания резьб резьбонарезными головками с круглыми гребенками. При этом технологические возможности головок по обеспечению необходимой точности и шероховатости поверхностей резьб используются не полностью.

Известно [1, 3, 4, 7 и др.], что параметры качества резьбовых поверхностей в основном зависят от динамических нагрузок, возникающих в процессе резания, которые, в свою очередь, определяются конструктивным исполнением и геометрией режущих профилей резьбонарезных головок. В работах [2, 5, 7–10] указано, что значительное влияние на протекание процесса резания и качество нарезанных резьб оказывает величина задних углов α на главных и вспомогательных лезвиях режущих и калибрующих профилей гребенок. Поэтому основное назначение таких факторов, как смещение осей гребенки и детали h_0 , превышение вершины режущей кромки над центром детали l_0 , а так-

же связанные с ним угол наклона передней поверхности λ и угол подъема резьбы τ , состоит в том, чтобы придать различные функции режущей и калибрующей частям гребенки путем обеспечения положительного значения заднего угла α на режущей части и нулевого значения α на первом калибрующем элементарном профиле [12, 13]. Имеется справочная литература, где на основе производственного опыта (например, рекомендации завода «Фрезер» [12]) в качестве ориентировочных данных приведены значения величины превышения l_0 и угла λ для групп обрабатываемого материала и интервалов диаметров нарезаемых резьб. Однако, как отмечено в работе [12], такой подход не всегда приводит к успешным результатам, что объясняется существенно большим количеством факторов, влияющих на значение величин l_0 и λ , а также ограниченным проведением экспериментальных работ по их определению.

Известные расчетные зависимости задних углов гребенок [5–9] не учитывают изменений геометрических параметров инструмента, обусловленных кинематической схемой резания, на основе которой осуществляются движения резания и определяется расположение режущих элементов. Для нарезания крупных внутренних резьб в работах [2, 10] с некоторыми допущениями получены зависимости для определения кинематических задних углов на режущей и калибрующей частях гребенок; для наружных резьб задача получения в аналитическом виде взаимосвязи геометрических и конструктивных параметров резьбовой пары резьбонарезная головка — деталь не решена.

Таким образом, целью настоящей работы является построение математической модели расчета установочных размеров и геометрии резьбонарезных головок с учетом особенностей генераторной схемы резания.

Математическая модель и геометрия резьбонарезных головок.

Геометрические параметры режущей части гребенок, получаемые в результате их установки в кулачках головки и измеряемые относительно оси детали, зависят от множества параметров. Рассмотрим головки типа 1К...5К; 1КА...5КА; 1КИ-25; 1КВ-19МА (ГОСТ 21760–86), оснащенные круглыми радиальными гребенками (ГОСТ 21761–86) (рис. 1).

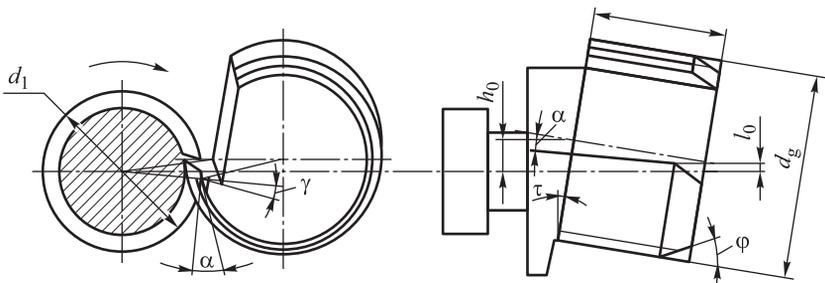


Рис. 1. Геометрические параметры круглых гребенок [11]

Угол наклона передней поверхности λ обеспечивает в процессе резания положительный задний угол α у витков режущей части и отрицательный задний угол в контакте калибрующей части гребенки с заготовкой. Такая геометрия облегчает самозатягивание инструмента и уменьшает шероховатость поверхности нарезаемой резьбы. Из-за наличия угла наклона передней поверхности λ и угла подъема резьбы τ смещение осей гребенки и оси резьбы h_0 имеет переменное значение в различных сечениях, и, как следствие, в пределах рабочей длины гребенки L изменяется задний угол α .

В сечениях, перпендикулярных оси заготовки, задние углы определяются функцией нескольких переменных:

$$\alpha = f(L, d_g, d, l, h_0, \tau, \lambda, \gamma, \varphi),$$

где d_g — наружный диаметр головки; d — наружный диаметр заготовки под резьбу; l — величина превышения вершины режущего профиля гребенки относительно оси обрабатываемой детали; γ — передний угол; φ — главный угол в плане.

Действительные значения параметров d_g , l и γ определяют по расположению элементарного режущего профиля на гребенке.

Расчет геометрических параметров и установочных размеров резьбонарезных головок. Межосевое расстояние OO_1 заготовки под резьбу и резьбонарезной головки и смещение оси гребенки относительно оси нарезаемой детали h_0 определяют по системе уравнений (рис. 2):

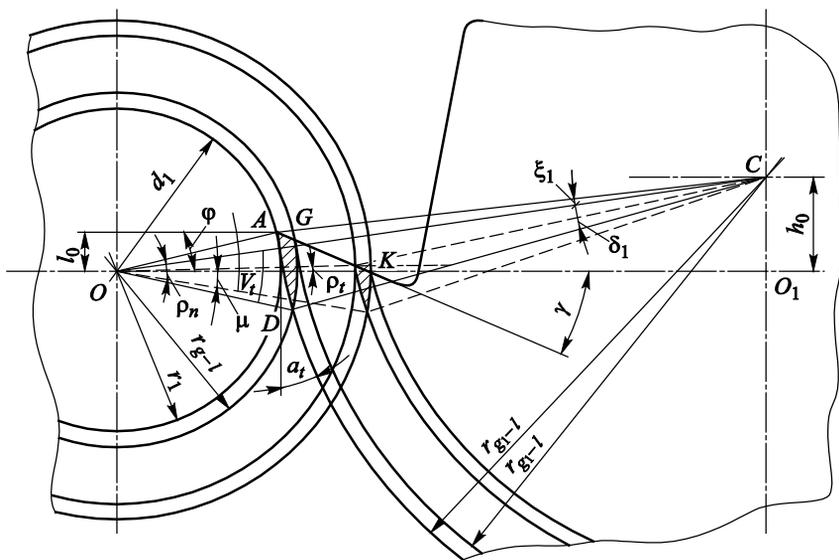


Рис. 2. Схема расчета установочных размеров и геометрических параметров режущей части резьбонарезных головок

$$\begin{cases} OO_1 = \sqrt{\frac{d_1^2}{4} - l_0^2} + \sqrt{\frac{d_g^2}{4} - (h_0 - l_0)^2} \\ OO_1 = \frac{h_0}{\operatorname{tg} \mu} \end{cases}, \quad (1)$$

где d_1 — внутренний диаметр нарезаемой резьбы; l_0 — превышение вершины первого полного витка направляющей части гребенки относительно оси обрабатываемой детали; $\mu = \tau + \lambda$ — суммарный угол наклона передней поверхности гребенки относительно оси нарезаемой резьбы.

После преобразования уравнений (1) получаем квадратное уравнение вида

$$h_0^2 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \mu} + 1 \right) + h_0 \left(-\frac{2\sqrt{\frac{d_1^2}{4} - l_0^2}}{\operatorname{tg} \mu} - 2l_0 \right) + \frac{d_1^2}{4} - l_0^2 - \frac{d_g^2}{4} + l_0^2 = 0$$

и его решение:

$$h_{01,2} = \frac{\frac{2\sqrt{\frac{d_1^2}{4} - l_0^2}}{\operatorname{tg} \mu} + 2l_0 \pm \sqrt{\left(\frac{-2\sqrt{\frac{d_1^2}{4} - l_0^2}}{\operatorname{tg} \mu} - 2l_0 \right)^2 - \left(\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \mu} + 1 \right) (d_1^2 - d_g^2)}}{2 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \mu} + 1 \right)}. \quad (2)$$

Превышение l_i вершины i -го режущего профиля гребенки относительно оси обрабатываемой детали определяют из системы уравнений (см. рис. 2):

$$\begin{cases} l_i = l_0 - \frac{d_1}{2} \sin \rho_n + r_i \sin \rho_i \\ l_i = \frac{l_0 (OK - r_i \cos \rho_i)}{OK - \frac{d_i}{2} \cos \rho_n} \end{cases},$$

где r_i — текущее значение радиуса обрабатываемой детали:

$$r_i = \frac{d}{2} - b_{\Sigma \rho_i} \cos \frac{\alpha_0}{2}. \quad (3)$$

Здесь α_0 — угол профиля резьбы; $b_{\Sigma p_i}$ — накопленная сумма длин опорных вспомогательных режущих кромок;

$$OK = \frac{d_1 \sin(\gamma + \rho_n)}{2 \sin \gamma},$$

где $\rho_n = \arcsin \frac{2l_0}{d_1}$.

После преобразований системы уравнений (2) получаем квадратное уравнение и его решения:

$$(k^2 + 1) \cos^2 \rho_i - (2kp) \cos \rho_i + p^2 - 1 = 0;$$

$$\rho_{i,2} = \arccos \left(\frac{2kb \pm \sqrt{4k^2 b^2 - 4(k^2 + 1)(b^2 - 1)}}{2(k^2 + 1)} \right),$$

где приняты следующие обозначения:

$$k = \frac{l_0}{OK - \frac{d_1}{2} \cos \rho_n},$$

$$b = \left(\frac{l_0 OK}{OK - \frac{d_1}{2} \cos \rho_{n,л}} - l_0 + \frac{d_1}{2} \sin \rho_{n,л} \right) / r_i.$$

Окончательно, с учетом положения элементарных профилей на гребенке, величина превышения l_i вершин витков относительно оси обрабатываемой детали определяется уравнениями

$$l_i = \begin{cases} r_i \sin \rho_i, & \text{если } r_i \leq OK, \\ -r_i \sin \rho_i, & \text{если } r_i > OK. \end{cases}$$

Зная величину l_i , определим радиус i -го режущего профиля резьбонарезной головки r_{gi} :

$$r_{gi} = \sqrt{(OO_1 - \sqrt{r_i^2 - l_i^2})^2 + (h_0 - l_i)^2},$$

где OO_1 — межосевое расстояние; r_i — текущее значение радиуса обрабатываемой детали; h_0 — смещение оси гребенки относительно оси детали; l_i — величина превышения вершин витков относительно оси обрабатываемой детали, которые определены уравнениями (1)–(4) соответственно.

Расчет площадей опорных поверхностей резбонарезных головок. Наличие значимой корреляции связи между точностью нарезаемой резьбы и силами, возникающими при ее нарезании, может не только характеризовать протекание процесса резбонарезания в целом, но и быть критерием оценки параметров качества полученной резьбы. Характер разбивания резьбового профиля определяется соотношением составляющих силы резания и площадей опорных поверхностей инструмента. При превышении критического значения удельной силы начинается врезание вспомогательных лезвий и снятие дополнительной стружки, что приводит к разбивке профиля нарезаемой резьбы, т. е. к ухудшению точности резбонарезания и связанной с ней (через величину запаса зубьев на износ) размерной стойкости инструмента.

Разработана методика расчета опорных площадей, которую можно использовать для определения закономерностей изменения удельной силы на опорных кромках режущих профилей резбонарезных головок при следующих работах:

при исследовании закономерностей осевых и радиальных подрезаний резьб;

для определения витка резьбы, на котором срезание стружки вспомогательными режущими кромками инструмента прекращается и возможна стабилизация величины разбивки;

при проведении прочностных расчетов гребенок.

Согласно расчетной схеме (см. рис. 2), площади контакта режущих профилей гребенок и обрабатываемой поверхности детали определяются системой уравнений:

$$S_i = \begin{cases} S_{s_i} + S_{s_{g_i}} - S_{\Delta OAC_i} - S_{\Delta OCD_i}, & \text{если } r_i < OG \\ S_{s_i} + S_{s_{g_i}} - S_{\Delta OAC_i} + S_{\Delta OCD_i}, & \text{если } r_i \geq OG \end{cases}; \quad (5)$$

$$OG = OK \frac{\sin \gamma}{\sin(\pi - \gamma - \mu)}, \quad (6)$$

где значения OK , γ и μ определены ранее; r_i — текущее значение радиуса обрабатываемой детали; $S_{\Delta OAC_i} = \sqrt{p_i(p_i - OC)(p_i - r_i)(p_i - r_{g_i})}$;

$S_{\Delta OCD_i} = \sqrt{p_i(p_i - OC)(p_i - r_{g_i})(p_i - r_{i-1})}$ (здесь $p_i = \frac{OC + r_{g_i} + r_i}{2}$ и

$p_i = \frac{OC + r_{g_i} + r_{i-1}}{2}$ — полупериметры треугольников OAC и OCD соответственно);

$$S_{sg_i} = \begin{cases} 0,5r_{g_i}^2 (\delta_i + \xi_i), & \text{если } r_i < OG; \\ 0,5r_{g_i}^2 (\delta_i - \xi_i), & \text{если } r_i \geq OG; \end{cases}$$

$$S_{s_i} = \begin{cases} 0,5r_{i-1}^2 (v_i + \rho_i - \mu), & \text{если } r_i < OK; \\ 0,5r_{i-1}^2 (v_i - \rho_i - \mu), & \text{если } r_i \geq OK, \end{cases}$$

где $v_i = \arcsin\left(\frac{2S_{\Delta OCD_i}}{OCr_{i-1}}\right)$, $\xi_i = \arcsin\left(\frac{2S_{\Delta OAC_i}}{OCr_{g_i}}\right)$, $\delta_i = \arcsin\left(\frac{2S_{\Delta OCD_i}}{OCr_{g_i}}\right)$.

Задний угол i -го профиля режущей и направляющих частей гребенки определяется уравнением

$$\alpha_i = \arcsin\left(\frac{2S_{\Delta OAC_i}}{r_i r_{g_i}}\right),$$

и окончательно, с учетом положения элементарных режущих профилей на гребенке:

$$\alpha_i = \begin{cases} -\alpha_i & \text{если } r_i < OG; \\ \alpha_i & \text{если } r_i \geq OG, \end{cases} \quad (7)$$

где величина OG определена уравнением (6).

В качестве иллюстрации на рис. 3 представлены графики, построенные по уравнениям (5) и (7), которые отражают закономерность

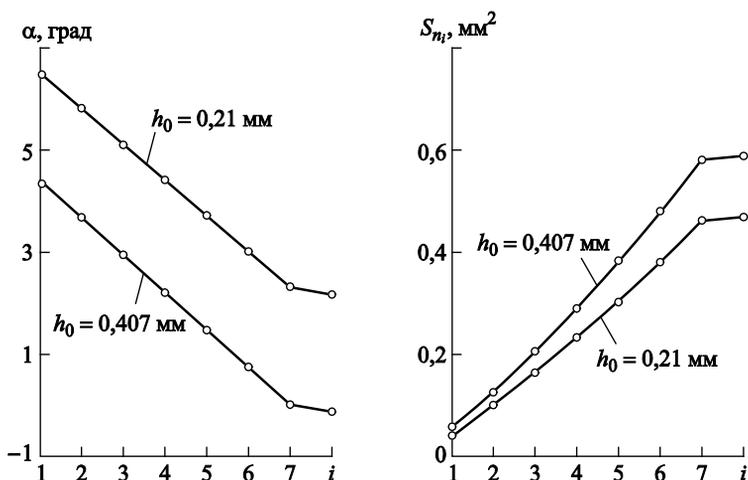


Рис. 3. Изменение заднего угла α_i и накопленных опорных площадей S_{n_i} резьбонарезных головок (М18, $P=1,75$ мм, $\lambda = 1^\circ$, $\gamma = 25^\circ$, $\varphi = 20^\circ$) по мере врезания инструмента при различных значениях превышения h_0 ; i — порядковый номер режущего профиля

изменения заднего угла α_i и накопленных опорных площадей S_{n_i} в пределах режущей части резбонарезных головок.

Приведем некоторые расчеты:

при $h_0 = 0,21$ мм

α6,487 5,813 5,130 4,438 3,735 3,020 2,294 2,148

S_{n_i} 0,054 0,111 0,172 0,237 0,306 0,380 0,460 0,466

при $h_0 = 0,407$ мм

α4,468 3,775 3,071 2,358 1,632 0,895 0,143 $-7,841 \cdot 10^{-3}$

S_{n_i} 0,054 0,134 0,209 0,289 0,375 0,469 0,571 0,580

Выводы. Полученная в аналитическом виде взаимосвязь всех конструктивных, геометрических и установочных параметров резбовой пары деталь — резбонарезная головка позволяет проводить анализ конструкции и геометрии режущей части инструмента с точки зрения возможности обеспечения заданных значений заднего угла α . Разработанную математическую модель определения установочных размеров и опорных поверхностей резбонарезных головок можно использовать в качестве метода теоретического анализа закономерностей формообразования резб по генераторной схеме резания. Точность полученной модели ограничена только погрешностью аттестации исполнительных элементов резбовой пары инструмент — деталь. Предложенный метод расчета установочных размеров резбовой пары деталь — резбонарезная головка можно использовать при проектировании гребенок для головок радиального типа, а также при конструировании контрольных приспособлений для проверки величины превышения режущих кромок гребенок над центром заготовки под резьбу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Добрянський С.С. Визначення сил різання при нарізуванні різьб головками. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Сер. *Машинобудування*, 2012, № 66, с. 17–20.
- [2] Добрянський С.С. Визначення кінематичних задніх кутів при нарізуванні внутрішніх різьб головками. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Сер.: *Машинобудування*, 2011, № 64, с. 21–27.
- [3] Добрянський С.С. Сили і точність при нарізуванні різьб головками. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Сер.: *Машинобудування*, 2012, № 66, с. 43–46.
- [4] Добрянський С.С., Бабий Д.А. Влияние различных факторов на точность внутренних резб, нарезаемых головками. *Приднепровский научный вестник*, 2010, № 1 (104), с. 24–29.
- [5] Kirsanov S.V. *Material cutting and cutting tools: study aid*. Tomsk Pol ytechnic University. Tomsk, TPU Publishing House, 2012, 196 p.

- [6] Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Кокарев В.И., Схиртладзе А.Г. *Режущий инструмент*. Москва, Машиностроение, 2007, 528 с.
- [7] Харитонов М.К. *Резьбонарезные головки с поворотными гребенками и винтовым затылованием*. Дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2003, 141 с.
- [8] Харитонов М.К., Спиридонов Э.С. *Расчетные зависимости для определения статических геометрических параметров резьбонарезных головок с поворотными гребенками*. Москва, 2003, 14 с., деп. в ВИНТИ 22.01.03, № 141-В2003.
- [9] Харитонов М.К., Спиридонов Э.С. Пути улучшения конструкции резьбонарезных головок с поворотными гребенками. *Современные проблемы и методология проектирования и производства силовых зубчатых передач: Сб. науч. тр.* Тула, ТГУ, 2000, с. 200–202.
- [10] Добрянський С.С. Нарізування крупних внутрішніх різьб різьбонарізними головками. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сер.: Машинобудування*, 2010, № 58, с. 30–35.
- [11] Древаль А.Е., Мальков О.В., Малькова Л.Д. Резьбообразующий инструмент [Электрон. ресурс]: учеб. пособие по курсу «Основы проектирования режущего инструмента». Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
- [12] Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н. *Проектирование металлорежущих инструментов*. Москва, Госгортехиздат, 1963, 956 с.
- [13] Фруммин Ю.Л. *Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент*. Москва, Машиностроение, 1977, 180 с.

Статья поступила в редакцию 08.04.2016

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Иванина И.В. Расчет установочных размеров и опорных поверхностей резьбонарезных головок с круглыми радиальными гребенками. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 2. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-02-1585>

Иванина Ирина Владимировна — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область деятельности: метрология, взаимозаменяемость, эксплуатационные и точностные характеристики нарезания резьб. e-mail: i-ivanina@yandex.ru

Calculating mounting dimensions and bearing surface parameters for die heads with circular radial chasers

© I.V. Ivanina

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

The article presents a mathematical model for determining mounting dimensions and bearing surface parameters of die heads equipped with circular radial chasers, with due regard for the specifics of cutting kinematics and position of surface-shaping points on the cutting edge of the tool. The study analytically establishes the connection between structural and geometric parameters of the threaded coupling between the chaser and the workpiece, which means that the cutting edge design and geometry can be analysed further in terms of ensuring that the chaser parts performing cutting and calibrating function properly. The article supplies results of calculations demonstrating the effect of die head mounting dimensions on clearance angle values of elementary cutting profiles and area increment history of chaser bearing surfaces.

Keywords: thread cutting, nibbling cutting pattern, die head, calculation, mounting dimensions, clearance angle, bearing surfaces

REFERENCES

- [1] Dobryanskiy S.S. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukraini "Kiivskiy politekhnichniy institut"*, *Seriya Mashinobuduvannya – Journal of Mechanical Engineering, the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 2012, no. 66, pp. 17–20.
- [2] Dobryanskiy S.S. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukraini "Kiivskiy politekhnichniy institut"*, *Seriya Mashinobuduvannya – Journal of Mechanical Engineering, the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 2011, no. 64, pp. 21–27.
- [3] Dobryanskiy S.S. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukraini "Kiivskiy politekhnichniy institut"*, *Seriya Mashinobuduvannya – Journal of Mechanical Engineering, the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*, 2012, no. 66, pp. 43–46.
- [4] Dobryanskiy S.S., Babiy D.A. *Pridneprovskiy nauchnyy vestnik – Pridneprovsky Research Journal*, 2010, no. 1 (104), pp. 24–29.
- [5] Kirsanov S.V. *Material cutting and cutting tools: study aid*. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2012, 196 p.
- [6] Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.A., Kirsanov S.V., Kokarev V.I., Skhirtladze A.G. *Rezhushchiy instrument [Cutting tools]*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007, 528 p.
- [7] Kharitonov M.K. *Rezbonareznye golovki s povorotnymi grebenkami i vintovym zatylovaniem*. Dis. ... kand. tekhn. nauk [Die heads with rotary chasers and helical relief. Cand. Eng. Sc. diss.]. Tula, 2003, 141 p.
- [8] Kharitonov M.K., Spiridonov E.S. *Raschetnye zavisimosti dlya opredeleniya staticheskikh geometricheskikh parametrov rezbonareznykh golovok s povorotnymi grebenkami* [Computational dependences for estimating static geometrical parameters of die heads with rotary chasers]. Moscow, 2003, 14 p., deposited at VINITI (All-Russian Institute for Scientific and Technical Information) 22 January 2003, no. 141-B2003.

- [9] Kharitonov M.K., Spiridonov E.S. Puti uluchsheniya konstruktсии rezbonareznykh golovok s povorotnymi grebenkami [Methods of refining the design of die heads with rotary chasers]. *Sovremennye problemy i metodologiya proektirovaniya i proizvodstva silovykh zubchatykh peredach: Sb. nauch. tr.* [Proc. of Contemporary problems and strategy of gear transmission design and production]. Tula, Tula State University Publ., 2000, pp. 200–202.
- [10] Dobryanskiy S.S. *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu Ukraini “Kiiivskiy politekhnichniy institute”*, Seriya Mashinobuduvannya – *Journal of Mechanical Engineering, the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*, 2010, no. 58, pp. 30–35.
- [11] Dreval A.E., Malkov O.V., Malkova L.D. *Rezboobrazuyushchiy instrument* [Threading tools]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2011.
- [12] Semenchenko I.I., Matyushin V.M., Sakharov G.N. *Proektirovanie metallovezhushchikh instrumentov* [Metal-cutting tool design]. Moscow, Gosgortekhnizdat Publ., 1963, 956 p.
- [13] Frumin Yu.L. *Vysokoproizvoditelnyy rezboobrazuyushchiy instrument* [High-performance threading tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977, 180 p.

Ivanina I.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Bauman Moscow State Technical University. Specialises in metrology, interchangeability, performance and precision parameters of thread cutting. e-mail: i-ivanina@yandex.ru