

Спирин В.А., Макаров В.Ф., Халтурин О.А. Особенности глобоидного зацепления при обработке сложнопрофильных винтовых поверхностей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2019. – Т. 21, № 1. – С. 77–82. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.1.11

Spirin V.A., Makarov V.F., Khalturin O.A. Features of globoid engagement in the processing of composite helical surfaces. *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2019, vol. 21, no. 1, pp. 77–82. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.1.11

ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение
Т. 21, № 1, 2019
Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9877/2019.1.11
УДК 621.9

В.А. Спирин, В.Ф. Макаров, О.А. Халтурин

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

**ОСОБЕННОСТИ ГЛОБОИДНОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ
ПРИ ОБРАБОТКЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ВИНТОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Эксплуатационные характеристики зубчатых зацеплений определяются качеством изготовления рабочих поверхностей сопрягающихся зубчатых колес. Разработан способ зубохонингования рабочих поверхностей зубьев с помощью глобоидного алмазно-абразивного червяка.

Профилирование глобоидного червяка выполнено по методике, используемой в теории зубчатого зацепления. При заданном торцовом профиле детали с помощью формул преобразования координат и уравнений касания (уравнений зацепления) рассчитывается профиль глобоидного червяка при заданной кинематике сопряжения и параметрах установки глобоидного инструмента.

Для создания усилия обработки глобоидный инструмент необходимо внедрять в обрабатываемую поверхность. При этом характер изменения профиля детали определяется новым положением глобоидного абразивного хона, определяемого отклонениями параметров установки глобоидного инструмента. Характер отклонения профиля детали определяется теоретически по перпендикуляру к теоретическому профилю в ходе решения обратной задачи профилирования.

Выведенные аналитические зависимости позволяют рассчитывать отклонения действительного профиля от теоретического в зависимости от параметров установки глобоидного хона и определять влияние каждого параметра в отдельности или комплексное влияние всех параметров одновременно. В дальнейшем эти зависимости можно использовать для определения усилий резания в зоне контакта глобоидного червяка и ротора винтового забойного двигателя и затем перейти к расчету величины съема материала и шероховатости получаемых рабочих поверхностей детали в зависимости от характеристик абразивного слоя глобоидного червяка.

Значительная протяженность линии контакта при глобоидном зацеплении предполагает разработку методики определения отклонений реального и теоретического профилей в разных точках линии контакта.

Ключевые слова: теория зацепления, профиль зубчатой детали, параметры установки инструмента, глобоидный червяк, абразивный слой, характеристика абразивного слоя, прямая и обратная задачи профилирования, количественная оценка, отклонение действительного профиля от теоретического, влияние параметров установки на отклонения профиля детали, профиль ротора винтового забойного двигателя.

V.A. Spirin, V.F. Makarov, O.A. Khalturin

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**FEATURES OF GLOBOID ENGAGEMENT IN THE PROCESSING
OF COMPOSITE HELICAL SURFACES**

The performance characteristics of gearing are determined by the quality of the manufacturing surfaces of the mating gear wheels. With the help of a globoid diamond-abrasive worm, a method of tooth-honing of working surfaces of teeth has been developed.

The profiling of the globoid worm is performed according to the technique used in the theory of gearing. For a given end profile of the part, the profile of the globoid worm with the given kinematics of coupling and the parameters of the globoid tool are calculated using the formulas for coordinates transformation and the equations of tangency (equation of gearing).

To create the treatment effort, the globoid tool must be embedded in the surface. In this case, the nature of the change in the profile of the part is determined by the new position of the globoid abrasive hone, determined by the deviations of the parameters of the installation of the globoid tool. The nature of the deviation of the profile of the part is determined theoretically from the perpendicular to the theoretical profile in the solving of the inverse problem of profiling.

The derived analytical dependences allow calculating the deviations of the actual profile from the theoretical one depending on the parameters of the globoid hon installation and determining the influence of each parameter individually or the complex effect of all parameters simultaneously. In the future, these dependencies can be used to determine the cutting forces in the contact zone of the globoid worm and the rotor of the positive displacement motor and then proceed to calculate the amount of material removal and roughness of the resulting working surfaces of the part, depending on the characteristics of the abrasive layer of the globoid worm.

The considerable length of the contact line in the case of globoid gearing presupposes the development of a technique for determining the deviations between the real and theoretical profiles at different points of the contact line

Keywords: theory of gears, the profile of the gear, tool installation parameters, globoidal wormgearing, abrasive layer, characteristic of the abrasive layer, direct and inverse problems of profiling, quantitative assessment, deviation of the actual profile from the theoretical profile, the influence of the installation parameters on the deviations of the part profile, rotor profile of positive displacement motor.

В конструкциях современных машин и механизмов широко распространены зубчатые передачи благодаря ряду следующих преимуществ: возможности передачи больших мощностей, обеспечению постоянства передаточного отношения, высокому коэффициенту полезного действия, компактности, плавности хода и др.

Эксплуатационные свойства зубчатых передач в значительной мере определяются точностью изготовления зубчатых деталей и качеством рабочих поверхностей зубьев. В целях повышения эксплуатационных характеристик передач значительное место в технологии их изготовления отводится чистовой обработке [1–9].

Преимущества глобоидного зацепления могут быть использованы для абразивной обработки зубчатых поверхностей (значительная длина контакта рабочих поверхностей детали и инструмента, осреднение погрешностей обработки и т.д.) [10, 11].

Однако широкому распространению глобоидного зубохонингования помимо технологических сложностей, связанных с изготовлением и правкой глобоидного инструмента, препятствует высокая чувствительность глобоидного зацепления к погрешностям установки инструмента, отсутствие на сегодняшний день надежных способов профилирования сложнопрофильных глобоидных инструментов, а также отсутствие функциональных зависимостей, позволяющих аналитически связать отклонения профиля детали с отклонениями параметров установки [12–21].

Исследование особенностей глобоидного зацепления произведено традиционными методами, используемыми в теории зубчатых зацеплений с помощью последовательного решения следующих задач:

- 1) математическое описание торцового профиля детали;
- 2) определение профиля глобоидного инструмента (прямая задача профилирования);
- 3) определение влияния параметров установки глобоидного инструмента на профиль детали (обратная задача профилирования);
- 4) установление числовых зависимостей проведением численного эксперимента.

Задача исследований значительно упростилась после установления факта, что линия зацепления детали и инструмента располагается в осевой плоскости глобоидного червяка.

С точки зрения теории формообразования группа деталей типа зубчатых колес относится к группе поверхностей, допускающих движение «самих по себе», так как к этой группе относятся винтовые поверхности постоянного шага, у которых винтовая поверхность образуется винтовым движением линии, называемой профилем.

Винтовое движение профиля принято характеризовать винтовым параметром – величиной осевого перемещения при повороте на 1 радиан:

$$P = \frac{t}{2\pi}.$$

Для того чтобы метод решения вопросов формообразования был единым, принято их профили задавать одними и теми же параметрами в торцовой плоскости X_d, Y_d, Z_d в соответствии с рис. 1.

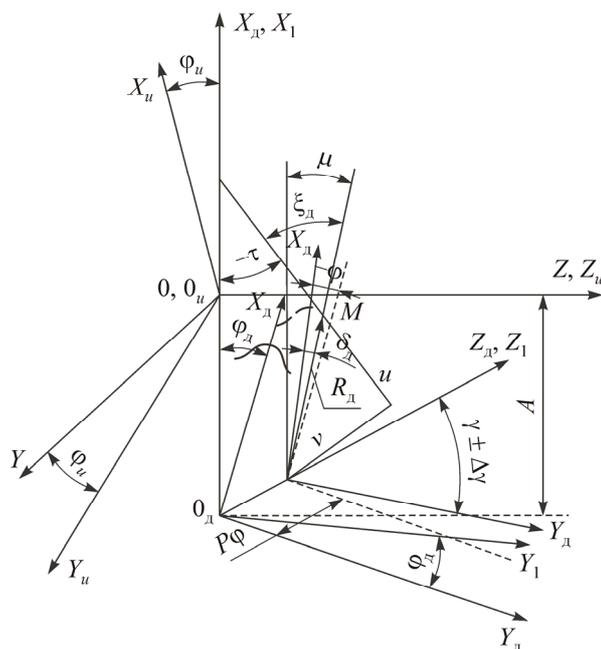


Рис. 1. Параметры зубчатого профиля

В каждой расчетной точке профиля должны быть известны следующие параметры: полярные координаты r_d и δ_d ; угол ξ_d между касательными к профилю и направлением радиус-вектора r_d , или, как принято называть, угол давления. Винтовая поверхность детали в системе координат задана следующими уравнениями в соответствии с рис. 1:

$$\begin{aligned} X_d &= r_d \cos(\delta_d + \varphi); \\ Y_d &= r_d \sin(\delta_d + \varphi); \\ Z_d &= P\varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где φ – угол наклона профиля винтовой поверхности относительно начального положения.

Согласно принятому условию считаем знаки положительными Y , δ_d , если радиус r_d повернут относительно оси X_d по часовой стрелке; Y , ξ_d , если касательная повернута относительно радиуса r_d по часовой стрелке; φ , если при образовании винтовой поверхности профиль поворачивается по часовой стрелке, P – для правой винтовой поверхности. Если винтовая поверхность в системе координат $X_d Y_d Z_d$, связанной с деталью, задана уравнениями (1), то для каждой расчетной точки ее профиля известны значения параметров ξ_d , δ_d , r_d .

Ротор винтового забойного двигателя представляет собой многозаходный винт около метра длиной, торцовый профиль которого очерчен эквидистантой укороченной гипоциклоиды в соответствии с рис. 2 и выражается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \nu &= \frac{\cos \psi + \frac{e}{z} \cdot \sin\left(\frac{R-z}{r} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \psi\right)\right)}{-\sin \psi + \frac{e}{z} \cdot \cos\left(\frac{R-z}{r} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \psi\right)\right)}; \\ X_d &= (R-r) \cos \psi - \\ &- e \sin\left(\frac{R-z}{r} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \psi\right)\right) + \frac{r_{\text{ш}}}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \nu}}; \\ Y_d &= (R-r) \sin \psi - \\ &- e \cos\left(\frac{R-z}{r} \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \psi\right)\right) + \frac{r_{\text{ш}} \operatorname{ctg} \nu}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \nu}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Приняты следующие соотношения между параметрами:

$$\begin{aligned} z &= 9; & r &= 1,168e = 2,5; & h &= 2e = 4,28; \\ e &= 2,14; & r_{\text{ш}} &= 2,168e = 4,64; & R &= rz = 22,5. \end{aligned}$$

Направление зубьев левое, с углом наклона $\beta_d = 23^\circ = 0,401486$.

Для проведения расчетов необходимо сделать переход от формул (2) к полярным координатам и углу наклона касательной. После преобразований

этот переход можно осуществить с помощью уравнений

$$\begin{aligned} A_1 &= \cos \psi_i - \frac{e}{r} \cdot \cos(z_d - 1) \psi_i; \\ A_2 &= \sin \psi_i + \frac{e}{r} \cdot \sin(z_d - 1) \psi_i; \\ \nu &= \operatorname{arctg} \frac{A_1}{A_2}; \\ x &= (R_{\text{ш}} - r) \cos \psi_i + e \cos(z_d - 1) \psi_i + r_{\text{ш}} \sin \nu; \\ y &= (R_{\text{ш}} - r) \sin \psi_i - e \sin(z_d - 1) \psi_i + r_{\text{ш}} \cos \nu; \\ R_d \sqrt{x^2 + y^2} &; \\ \delta_d &= \operatorname{arctg} \frac{y}{x}; \\ \xi_d &= \delta_d + \nu; \\ X_d &= R_d \cos \delta_d; \\ Y_d &= R_d \sin \delta_d. \end{aligned} \quad (3)$$

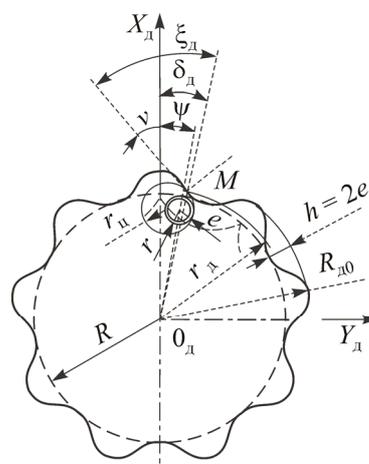


Рис. 2. Торцовый профиль ротора

Для исследования влияния параметров установки глобоидного инструмента на профиль ротора воспользуемся уравнениями (3), с помощью которых при определенных для данного профиля ξ_d , δ_d , r_d можно провести теоретические исследования и определить координаты действительного профиля детали при изменении одного или нескольких параметров установки глобоидного хона.

При внесении определенных количественных погрешностей профиль ротора изменяется. Характер изменения погрешностей, его направление можно проверить построением. Координаты этого

измененного, по сравнению с теоретическим, профиля ротора можно определить системой следующих уравнений:

$$X_d = (R_{дн} - r) \cos \psi + e \cos(z_d - 1) \psi + r_{ц} \sin v;$$

$$Y_d = (R_{дн} - r) \sin \psi - e \sin(z_d - 1) \psi + r_{ц} \cos v;$$

$$R_d = \sqrt{x^2 + y^2};$$

$$\delta_d = \arctg \frac{Y_d}{X_d};$$

$$\xi_d = \delta_d + v;$$

$$X'_d = \cos(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) \cdot (U \cos \tau + V \sin \tau) + \cos(\pm \Delta\gamma) \sin(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) \cdot (U \sin \tau - V \cos \tau) \pm \Delta Z_{\Gamma} \sin(\pm \Delta\gamma) \sin(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) + (\pm \Delta A) \times \cos(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) + P\varphi \sin(\pm \Delta\gamma) \sin(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d); \quad (4)$$

$$Y'_d = -\sin(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) \cdot (U \cos \tau + V \sin \tau) + \cos(\pm \Delta\gamma) \cos(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) \cdot (U \sin \tau - V \cos \tau) \pm \Delta Z_{\Gamma} \sin(\pm \Delta\gamma) \sin(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) - (\pm \Delta A) \times \sin(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d) + P\varphi \sin(\pm \Delta\gamma) \cos(\varphi_d \pm \Delta\varphi_d);$$

$$Z'_d = -P\varphi \cos(\pm \Delta\gamma) + U \sin \tau \sin(\pm \Delta\gamma) - V \cos \tau \sin(\pm \Delta\gamma) + (\pm \Delta Z_{\Gamma}) \cos \gamma.$$

Дать количественную оценку отклонений действительного профиля от теоретического можно в соответствии с рис. 3. Отклонения профиля ротора определяются по нормали, проведенной из расчетных точек к теоретическому профилю с помощью уравнения

$$\Delta n = \frac{X'_d - X_d}{\sin(\xi_d - \delta_d)}, \quad (5)$$

где $\Delta n > 0$, если отклонения «вне тела» детали, и $\Delta n < 0$, если отклонения «в тело» детали.

Координаты X_d и Y_d теоретического профиля, выраженные в функции ξ_d , находятся из уравнения нормали, опущенной из соответствующей известной точки фактического профиля на искомую точку теоретического профиля по уравнению

$$F_{\Delta} = X_d - X'_d - (Y'_d - Y_d) \operatorname{tg} \xi_d. \quad (6)$$

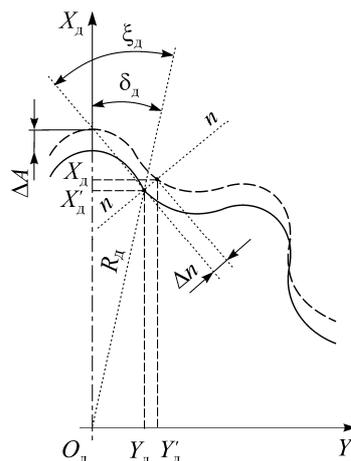


Рис. 3. Схема к расчету отклонений профиля ротора винтового забойного двигателя при изменении параметров установки глобоидного инструмента

Совместное решение систем уравнений (4), (5) и (6) позволяет определить количественную оценку отклонений профиля детали при изменении параметров инструмента.

Уравнение (5) имеет трансцендентный характер и решается относительно ξ_d с помощью известных методов решения трансцендентных уравнений.

При решении нашей задачи использован метод половинного деления. Традиционную схему решения таких уравнений пришлось расширить из-за необходимости расчета действительных координат профиля детали при изменении параметров установки. Второй причиной послужила необходимость вместить в программу решения всю «обратную» задачу.

При заданных направлениях вращения детали и глобоидного червяка, как показано на рис. 4, соответствующем правому направлению винтовой нарезки, каждый зуб детали вступает в зацепление в положении 1 и выходит из зацепления в положении 7.

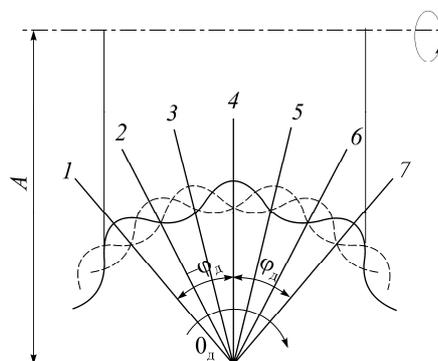


Рис. 4. Схема определения последовательности расчета профиля ротора винтового забойного двигателя

Взаимодействие профилей в зоне зацепления может быть определено также в любом промежуточном сечении, которое может быть задано углом поворота зуба относительно расчетного положения φ_d .

Практика показала, что для данного типоразмера деталей наиболее целесообразно выбирать ширину глобоида не более полутора витков, так как остальные витки работают с недогрузом, т.е. лишь незначительной частью профиля. Этим и объясняется выбор сечений.

Список литературы

1. Алмазные зубчатые хоны для отделочной обработки закаленных зубчатых колес / В.В. Завин [и др.] // Производство зубчатых передач и вопросы надежности / Ом. политехн. ин-т. – Омск, 1974. – С. 113–118.
2. Бадаев А.М., Баженов Н.Л., Симонов А.А. Методы обработки сопряженных кинематических поверхностей зубчатых передач: учеб. пособие / Горьк. гос. ун-т. – Горький, 1977. – 68 с.
3. Качество изготовления зубчатых колес / А.В. Якимов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 191 с.
4. Клепиков В.Д. Зубохонинговние закаленных цилиндрических колес // Новые процессы обработки резанием / НАМИ. – 1968. – С. 60–77.
5. Копф И.А. Повышение точности закаленных зубчатых колес, изготавливаемых без зубошлифования // Технология и качество зубчатых и червячных передач / Ерев. политехн. ин-т. – Ереван, 1971. – С. 79–89.
6. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Севаст. нац. техн. ун-т. – Севастополь, 2012. – 262 с.
7. Орлов И.В. Хонингование зуба закаленных зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1967. – 25 с.
8. Серебренник Ю.Б., Спиринов В.А. Финишные методы обработки цилиндрических зубчатых колес: метод. указания к курс. и дипл. проектированию для студ. машиностроительных спец. / Перм. политехн. ин-т. – Пермь, 1985. – 32 с.
9. Якимов А.В. Абразивно-алмазная обработка фасонных поверхностей. – М.: Машиностроение, 1984. – 311 с.
10. Журавлев В.Л. Технология изготовления глобоидных передач. – М.: Машиностроение, 1965. – 152 с.
11. Зак П.С. Глобоидная передача. – М.: Машгиз, 1962. – 256 с.
12. Лашнев С.И., Юликов М.И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1975. – 392 с.
13. Литвин Ф.А. Теория зубчатых зацеплений. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
14. Спиринов В.А., Цепков А.В. Новый способ обработки протягиванием глобоидных червяков // Повышение эффективности протягивания. – Рига, 1985. – С. 18–21.
15. Спиринов В.А. Повышение качества обработки сложнопрофильных зубчатых деталей: дис. ... канд. техн. наук / Перм. политехн. ин-т. – 1988. – 216 с.

16. Сухоруков Ю.И. Расчет и проектирование инструментов для отделки зубчатых колес методом свободного обката с применением ЭВМ. – Новосибирск, 1977. – 88 с.

17. Цепков А.В. Профилирование затылованных инструментов. – М.: Машиностроение, 1979. – 150 с.

18. Цепков А.В., Спиринов В.А., Серебренник Ю.Б. Финишная обработка роторов винтовых забойных двигателей // Пути повышения производительности и качества механообработки деталей на машиностроительных предприятиях Урала: тез. докл. зональной науч.-техн. конф. – Свердловск, 1984. – С. 74–75.

19. Расчет параметров установки дисковой фрезы для обработки винтовых стружечных канавок / А.В. Цепков, В.А. Спиринов, В.И. Савченко, В.К. Перевозников // Повышение эффективности инструментального производства: тез. докл. XI науч.-техн. конф. инструментальщиков Урала. – Пермь, 1982. – С. 33–35.

20. Способ обработки зубчатых деталей: а.с. 112504 СССР / Цепков А.В., Коротаев Ю.А., Спиринов В.А. Заявл. 28.07.82.

21. Способ хонингования цилиндрических зубчатых колес: а.с. 300266 СССР / Фрагин И.Б., Ананьян В.А., Скудинин А.Г., Сидоров В.Д. 1971.

References

1. Zavin V.V. et al. Almaznye zubchatye khony dlia otdelochnoi obrabotki zakalennykh zubchatykh koles [Diamond toothed honey for finishing hardened gears]. *Proizvodstvo zubchatykh peredach i voprosy nadezhnosti*. Omskii politekhnicheskii institut, 1974, pp. 113–118.
2. Badaev A.M., Bazhenov N.L., Simonov A.A. *Metody obrabotki sopriazhennykh kinematicheskikh poverkhnostei zubchatykh peredach* [Methods of treatment of conjugate kinematic surfaces of gears]. Gor'kovskii gosudarstvennyi universitet, 1977, 68 p.
3. Yakimov A.V. et al. *Kachestvo izgotovleniia zubchatykh koles* [The quality of the gears]. Moscow: Mashinostroenie, 1979, 191 p.
4. Klepikov V.D. *Zubkhoninogovnie zakalennykh tsilindrisheskikh koles* [Dental hardened cylindrical wheels]. *Novye protsessy obrabotki rezaniem*. NAMI, 1968, pp. 60–77.
5. Kopf I.A. *Povyshenie tochnosti zakalennykh zubchatykh koles, izgotovliaemykh bez zuboshlifovaniia* [Increasing the accuracy of hardened gears produced without gear grinding]. *Tekhnologiya i kachestvo zubchatykh i cherviachnykh peredach*. Erevnskii politekhnicheskii institute, 1971, pp. 79–89.
6. Novoselov Iu.K. *Dinamika formoobrazovaniia poverkhnostei pri abrazivnoi obrabotke* [Dynamics of surface shaping during blasting]. Sevastopol'skii natsional'nyi tekhnicheskii universitet, 2012, 262 p.
7. Orlov I.V. *Khoningovanie zuba zakalennykh zubchatykh koles* [Honing of hardened gear teeth]. Moscow: Mashinostroenie, 1967, 25 p.
8. Serebrennik Iu.B., Spirin V.A. *Finishnye metody obrabotki tsilindrisheskikh zubchatykh koles* [Finishing methods for machining cylindrical gears]. Permskii politekhnicheskii institut, 1985, 32 p.

9. Iakimov A.V. Abrasivno-almaznaia obrabotka fazonnykh poverkhnostei [Abrasive-diamond machining of shaped surfaces]. Moscow: Mashinostroenie, 1984, 311 p.

10. Zhuravlev V.L. Tekhnologiia izgotovleniia globoidnykh peredach [Globoid gear technology]. Moscow: Mashinostroenie, 1965, 152 p.

11. Zak P.S. Globoidnaia peredacha [Globoid transmission]. Moscow: Mashgiz, 1962, 256 p.

12. Lashnev S.I., Iulikov M.I. Raschet i konstruirovaniye metallorzhushchikh instrumentov s primeneniem EVM [Calculation and design of metal-cutting tools with the use of computer]. Moscow: Mashinostroenie, 1975, 392 p.

13. Litvin F.A. Teoriia zubchatykh zatseplenii [Gear Theory]. Moscow: Nauka, 1968, 584 p.

14. Spirin V.A., Tsepkov A.V. Novyi sposob obrabotki protiagivaniem globoidnykh cherviakov [A new way of processing globoid worms by pulling out]. *Povyshenie effektivnosti protiagivaniia*. Riga, 1985, pp. 18–21.

15. Spirin V.A. Povyshenie kachestva obrabotki slozhnoprofil'nykh zubchatykh detalei [Improving the quality of machining of complex gear parts]. Ph. D. tesis. Perm, 1988, 216 p.

16. Sukhorukov Iu.I. Raschet i proektirovaniye instrumentov dlia otdelki zubchatykh koles metodom svobodnogo obkata s primeneniem EVM [Calculation and design of tools for gear finishing by the free rolling method with the use of a computer]. Novosibirsk, 1977, 88 p.

17. Tsepkov A.V. Profilirovaniye zatylovannykh instrumentov [Profiling of occipital tools]. Moscow: Mashinostroenie, 1979, 150 p.

18. Tsepkov A.V., Spirin V.A., Serebrennik Iu.B. Finishnaia obrabotka rotorov vintovykh zaboinykh dvigatelei [Finishing of downhole motor rotors]. *Puti povysheniia proizvoditel'nosti i kachestva mekhanobrabotki detalei na mashinostroitel'nykh predpriiatiakh Urala: tezisy dokladov zonal'noi nauchno-tekhnikheskoi konferentsii*. Sverdlovsk, 1984, pp. 74–75.

19. Tsepkov A.V., Spirin V.A., Savchenko V.I., Perveznikov V.K. Raschet parametrov ustanovki diskovoi frezy dlia obrabotki vintovykh struzhechnykh kanavok [Calculation of wheel cutter installation parameters for screw chip grooves]. *Povyshenie effektivnosti instrumental'nogo*

proizvodstva: tezisy dokladov XI nauchno-tekhnikheskoi konferentsii instrumental'shchikov Urala, Perm', 1982, pp. 33–35.

20. Tsepkov A.V., Korotaev Iu.A., Spirin V.A. Sposob obrabotki zubchatykh detalei [Method of gear parts machining]. Avtorskoe svidetelstvo no. 112504 SSSR (1982).

21. Fragin I.B., Anan'ian V.A., Skudinin A.G., Sidorov V.D. Sposob khoningovaniia tsilindricheskikh zubchatykh koles [Method of honing cylindrical gear wheels]. Avtorskoe svidetelstvo no. 300266 SSSR (1971).

Получено 17.05.18

Опубликовано 21.03.19

Сведения об авторах

Спирин Владимир Александрович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук; e-mail: tms@pstu.ru.

Макаров Владимир Федорович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой инновационных технологий в машиностроении Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: makarovv@pstu.ru.

Халтурин Олег Александрович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры сварочного производства, метрологии и технологии материалов Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: oleg-x@pstu.ru.

About the authors

Vladimir A. Spirin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences; e-mail: tms@pstu.ru.

Vladimir F. Makarov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Chair of Department of Innovative Technologies in Mechanical Engineering, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: makarovv@pstu.ru.

Oleg A. Khalturin (Perm, Russian Federation) – Senior Lecturer, Department of Welding Production, Metrology and Technology of Materials, Perm National Research Polytechnic University; e-mail: oleg-x@pstu.ru.