

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-23-34>

## Моделирование и исследование стойкостных характеристик сборной дисковой фрезы с конструктивной радиальной подачей при обработке протяженных РК-профильных валов

В. В. Куц <sup>1</sup>, В. В. Пономарев <sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
ул. 50 лет Октября 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: [ponomarev@ascon.ru](mailto:ponomarev@ascon.ru)

### Резюме

**Цель исследования.** Исследование посвящено повышению стойкостных характеристик сборной дисковой фрезы с конструктивной радиальной подачей при обработке РК-профильных валов при сохранении требуемого качества обработки поверхности.

**Методы.** Формообразование РК-профилей методом фрезерования дисковой фрезой с конструктивной радиальной подачей позволяет получить необходимое качество поверхности при высокой производительности обработки. Вследствие того, что условия обработки для каждой режущей пластины различны, необходимо проведение исследований стойкости сменных многогранных пластин (СМП) и поиск конструктивных решений для сокращения диапазона изменения стойкости, при сохранении качества обработки поверхности РК-профиля. Исследовано влияние применения неравномерного шага расположения как на качество обработки, так и на стойкость каждой отдельной режущей пластины.

**Результаты.** В работе представлен метод расчета величин стойкости СМП сборной дисковой фрезы при обработке протяженных РК-профиля вала с учетом индивидуальных условий их работы, а именно: скорость резания, подачи на зуб, ширины фрезерования и диаметрального положения СМП. Выполнен анализ влияния конструктивных параметров фрезы на изменение диапазона значений стойкости СМП и предложены рекомендации по его уменьшению. Также определены основные конструктивные параметры, влияющие на изменение диапазона стойкости.

**Заключение.** Разработанная методика позволяет определить параметры сборного режущего инструмента для обработки РК-профиля с требуемой точностью и приемлемым диапазоном изменения стойкости. Полученные результаты позволяют спроектировать инструмент с прогнозируемым периодом стойкости, соответствующим принятым минимальным значениям.

**Ключевые слова:** РК – профиль; фреза; математическая модель; формообразование; отклонение профиля; сменная многогранная пластина; стойкость режущего инструмента.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Куц В. В., Пономарев В. В. Моделирование и исследование стойкостных характеристик сборной дисковой фрезы с конструктивной радиальной подачей при обработке протяженных РК-профильных валов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(1): 23-34. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-23-34>.

Поступила в редакцию 17.12.2019

Подписана в печать 10.01.2020

Опубликована 21.02.2020

© Куц В. В., Пономарев В. В., 2020

Известия Юго-Западного государственного университета / Proceedings of the Southwest State University. 2020; 24(1): 23-34

## Modeling and Research of Resistance Characteristics of an Interlocking Side Milling Cutter with a Constructive Radial Feed When Processing Extended RK-profile Shafts

Vadim V. Kuts<sup>1</sup>, Vasily V. Ponomaryov<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ponomarev@ascon.ru

### Abstract

**Purpose of research.** The study is devoted to improving the resistance characteristics of an interlocking side milling cutter with a constructive radial feed when processing extended RK profile shafts while maintaining the required quality of surface treatment.

**Methods.** Forming of RK profiles by milling with a disk cutter with a constructive radial feed allows you to obtain the required surface quality with high processing productivity. Due to the fact that the processing conditions for each cutting insert are different, it is necessary to study the resistance of interchangeable polyhedral inserts (IPI) and to search for structural solutions to reduce the range of change in resistance, while maintaining the quality of surface treatment of the PK profile. The influence of the use of an uneven pitch of location both on the quality of processing and on the resistance of each individual insert is studied.

**Results.** The paper presents a method for calculating the resistance of an IPI of a interlocking side milling cutter during processing of an extended RK profile of a shaft, taking into account the individual conditions of their operation, namely: cutting speed, feed to the tooth, milling width and the diametrical position of the IPI

**Conclusion.** The analysis of the influence of the structural parameters of the cutter on changing the range of values of the resistance of IPI is made, and recommendations for its reduction are proposed. The main design parameters that affect the change in the resistance range are also identified.

**Keywords:** RK-profile; milling cutter; mathematical model; shaping; profile deviation; interchangeable polyhedral insert; cutting tool resistance.

**Conflict of interest.** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Kuts V. V., Ponomaryov V. V. Modeling and Research of Resistance Characteristics of an Interlocking Side Milling Cutter with a Constructive Radial Feed When Processing Extended RK-profile Shafts. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudar-stvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020, 24(1): 23-34 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-24-1-23-34>.

Received 17.12.2019

Accepted 10.01.2020

Published 21.02.2020

\*\*\*

### Введение

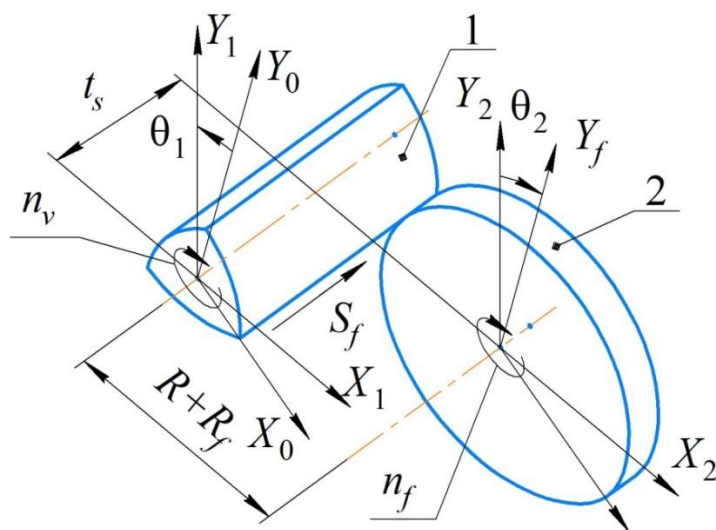
Применение в современном производстве РК-профилей для соединения деталей вместо распространенных шпо

ночных и шлицевых соединений ограничивается трудоемкостью получения рабочих поверхности деталей в данном соединении. Несмотря на то, что суще-

ствует множество методов обработки РК-профилей [1-17], они остаются трудоемкими и нетехнологичными, особенно для деталей с протяженными участками РК-профиля.

В работе [18] рассмотрен вариант обработки длинных валов с применением специального инструмента – сбор-

ной дисковой фрезы с конструктивной радиальной подачей, которой сообщают осевую подачу (рис. 1). Данный способ позволяет обрабатывать детали с протяженными участками РК-профиля, например таких, как штанги буровых установок, передающих значительный крутящий момент.



**Рис. 1.** Схема обработки длинного вала с РК-профилем фрезой с конструктивной радиальной подачей

**Fig. 1.** Long shaft processing scheme with RK-profile cutter with a constructive radial flow

Конструкция данной фрезы со СМП должна обеспечивать требуемую точность обработки, характеризуемую, в частности, величиной допуска погрешности формы обработанного вала в радиальном направлении ( $T\Delta_r$ ).

В работе [19] был приведен метод расчета погрешности обработки РК-профильного вала, что позволило, в частности, при заданной величине среднего радиуса фрезы  $R_f$  и допустимой погрешности обработки определять необходимое минимальное количество СМП (табл.1).

Также, для конструкции фрезы с равномерным угловым шагом распо-

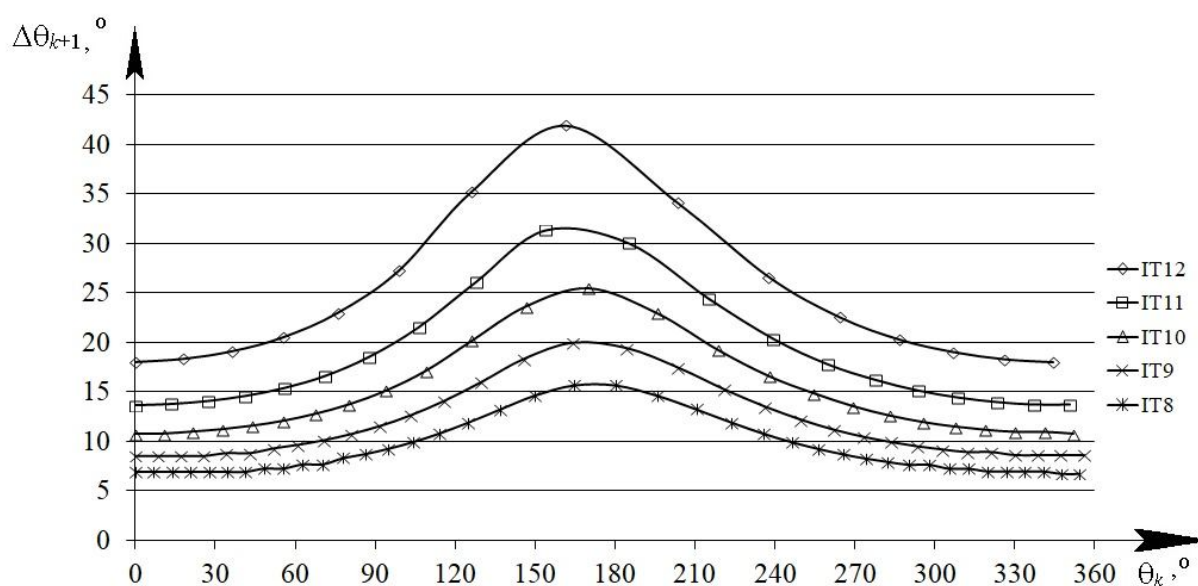
жения СМП была установлена величина неравномерности погрешности обработки различных участков профиля вала, в связи с чем было предложено располагать СМП с переменным угловым шагом. Был разработан метод расчета угловых шагов СМП из условия обеспечения равномерности погрешности обработанного профиля, соответствующей различным квалитетам точности.

На рис. 2 представлен результат расчета углового шага СМП относительно углового положения предыдущей СМП при радиусе фрезы  $R_f = 200$  мм для различных квалитетов точности, обработанного вала.

**Таблица 1.** Расчетное количество пластин СМП в зависимости от среднего радиуса фрезы и качества точности [19]

**Table 1.** The estimated number of SMP plates is based on the average radius of the cutter and the accuracy qualifier [19]

$R_f$ , мм	$T\Delta_r$ , мкм / ITn				
	13,8/IT8	22,2/IT9	36/IT10	57/IT11	100/IT12
200	40	32	25	20	15
150	41	32	25	20	15
100	41	33	26	21	16



**Рис. 2.** Зависимость углового шага размещения СМП от качества точности при радиусе фрезы  $R_f = 200$  мм [14]

**Fig. 2.** The dependence of the angular step of placing SMP on the accuracy qualifier at the radius of the  $R_f$  cutter is 200 mm [14]

## Материалы и методы

Для получения работоспособной конструкции данной фрезы необходимо выполнить подбор конструктивных параметров проектируемой фрезы и режимов резания, обеспечивающих экономически целесообразные показатели стойкости. Оценка стойкости каждой СМП фрезы может быть выполнена на

основе известных стойкостных зависимостей [20] с учетом особенностей процесса съема припуска.

Так стойкость  $i$ -й СМП фрезы будем рассчитывать по формуле

$$T_i = m \sqrt{\frac{C_v \cdot D_i^q}{V_i \cdot t_i^x \cdot S_{z_i}^y \cdot B_i^u \cdot Z_i^p}} \cdot K_v, \quad (1)$$

где  $D_i$  – диаметральное положение  $i$ -й СМП;

$S_{z_i}$  – усредненная величина подачи на зуб  $i$ -й СМП;

$t_i$  – глубина обработки, соответствующая  $i$ -й СМП;

$B_i$  – ширина обработки, соответствующая  $i$ -й СМП;

$Z_i$  – приведенное число зубьев;

$C_v, q, m, x, y, u, p$  – коэффициенты и показатели степени;

$K_v$  – общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания [8].

Диаметральное расположение  $i$ -й СМП можно определить как

$$D_i = |\bar{r}_{fi}(\theta_i)|, \quad (2)$$

где  $\bar{r}_{fi}(\theta_i)$  – векторное уравнение профиля производящей поверхности, определяющее точку установки СМП;

$\theta_i$  – угловой шаг соответствующей  $i$ -й СМП.

Усредненную величину подачи на зуб для  $i$ -й СМП определим как

$$S_z = \frac{\int_{S_H}^{S_K} S_z(S) dS}{S_K - S_H}, \quad (3)$$

где  $S_H, S_K$  – параметр длины режущей кромки  $i$ -й СМП, соответствующей граничным точкам режущей кромки, контактирующим со срезаемым слоем;

$S_z(S)$  – функция величины подачи на зуб в заданной точке режущей кромки;

$S$  – параметр длины режущей кромки  $i$ -й СМП.

Глубина обработки, соответствующая  $i$ -й СМП в проекции на плоскость  $XOY$  определяется как

$$t_i = |\bar{Q}_i(S, \tau_K) - \bar{Q}_i(S, \tau_H)|_{XOY}, \quad (4)$$

где  $\bar{Q}_i(S, \tau_K), \bar{Q}_i(S, \tau_H)$  – точки на поверхности резания, образованной движением точки ( $S$ ) режущей кромки  $i$ -й СМП от момента времени начала контакта с припуском ( $\tau_H$ ) и окончания контакта ( $\tau_K$ ).

Скорость резания  $V_i$  определяем как

$$V_i = |\bar{Q}_{it}(S, \tau_K)|, \quad (5)$$

где  $\bar{Q}_{it}(S, \tau_K)$  – производная поверхности резания по времени, соответствующая моменту времени  $\tau_K$ .

Усредненная величина ширины обработки определяется по формуле

$$B_i = \frac{\int_{\tau_H}^{\tau_K} B(\tau) d\tau}{\tau_K - \tau_H}, \quad (6)$$

где  $B(\tau)$  – ширина фрезерования, соответствующая режущей кромке  $i$ -й СМП в момент времени  $\tau$ .

Приведенное число зубьев определим как

$$z_i = \left| \frac{2\pi}{\theta_i} \right|. \quad (7)$$

## Результаты и их обсуждение

На рис. 3. показан результат расчета величины стойкости СМП фрезы с параметрами  $R_f = 200$  мм и  $Z = 25$  при постоянном и переменном угловом шаге при обработке вала с РК-профилем с параметрами  $R = 80$  мм и эксцентриситетом  $e = 3,4$ .

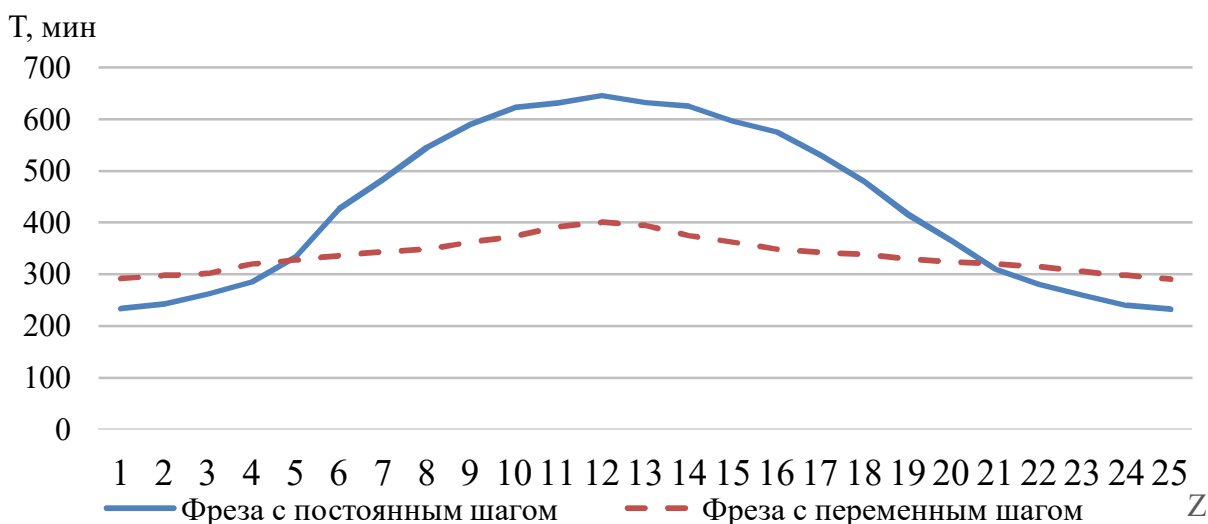
Из рис. 3 видно, что диапазон значений стойкости СМП  $\Delta T$  при постоянном шаге составляет более 400 мин., при переменном около 110 мин. Таким образом, можно утверждать, что применение неравномерного шага позволя-

ет снизить диапазон стойкости почти в 3 раза и повысить общую стойкость инструмента более чем на 25% при одинаковых режимах обработки.

На рис. 4 показаны результаты исследования изменения величины диапа-

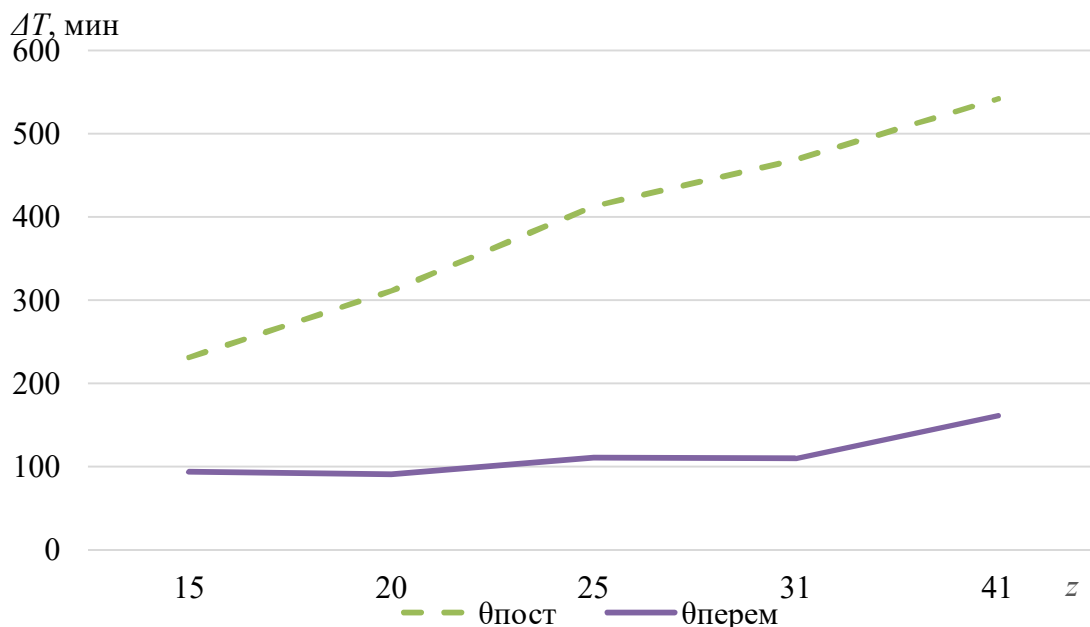
зона стойкости для фрезы с  $R_f = 200$  мм и разным числом СМП.

На рис. 5 указано изменение диапазона стойкости  $\Delta T$  при различном количестве СМП для фрез с различным радиусом.



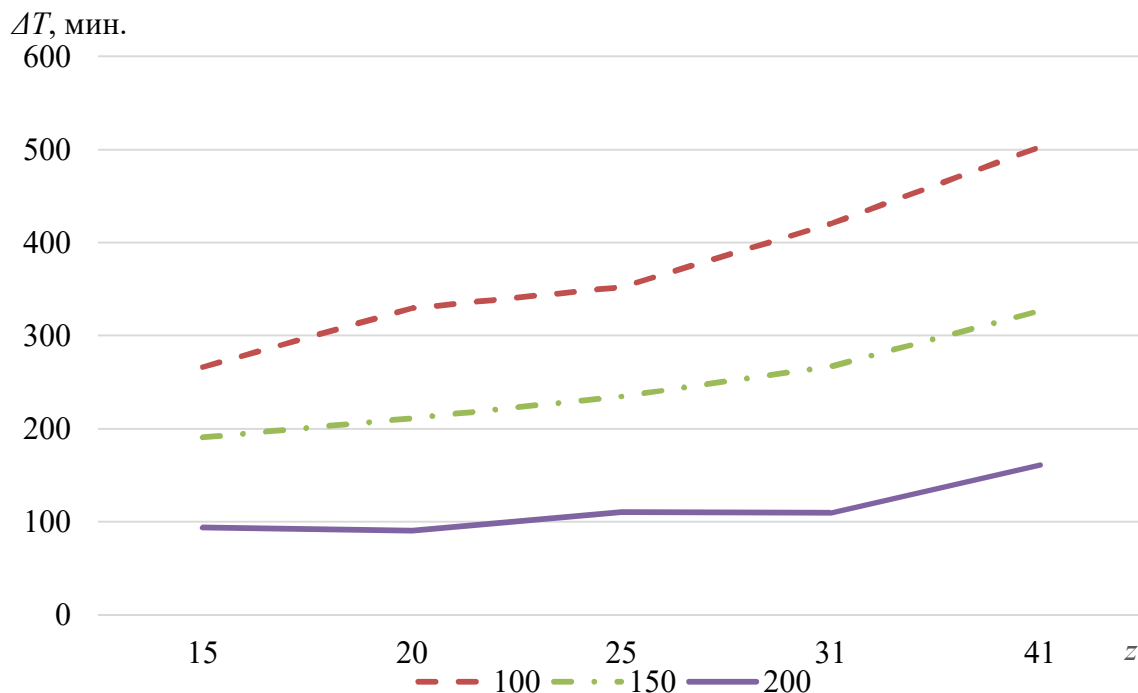
**Рис. 3.** Расчетная стойкость режущих пластин при равномерном и переменном шаге

**Fig. 3.** Estimated durability of cutting plates at uniform and variable step plates



**Рис. 4.** Изменение диапазона стойкости  $\Delta T$  зубьев фрезы ( $R_f = 200$  мм) при постоянном и переменном шаге расположения

**Fig. 4.** Changing the durability range  $\Delta T$  of the cutter teeth ( $R_f = 200$  mm) at a constant and variable position step



**Рис. 5.** Изменение диапазона стойкости  $\Delta T$  зубьев фрезы при разном  $R_f$

**Fig. 5.** Change in the durability range  $\Delta T$  of the cutter teeth at different  $R_f$

## Выводы

Полученные данные позволили определить, что диапазон изменения стойкости (см. рис. 4) при расположении пластин с переменным шагом уменьшается на 59,4% для фрезы с 15 СМП, до 70,3 % – для фрезы с 41 СМП при радиусе фрезы  $R_f = 200$  мм. Следует также отметить, что увеличение радиуса фрезы  $R_f$  (см. рис. 5) при переменном шаге установки пластин приводит к уменьшению диапазона изменения стойкости

на 58,8% при количестве пластин  $Z = 15$ , до 68% при  $Z = 41$ . Следовательно, увеличение количества зубьев фрезы как и увеличение среднего радиуса фрезы приводят к снижению отклонений стойкости и повышению ее минимального уровня для инструмента. Необходимо также учитывать ограничения на габариты и массу инструмента, накладываемые технологическими возможностями оборудования, что является основанием для дальнейших исследований

## Список литературы

1. Razumov M.S., Gladyshekin A.O., Pykhtin A.I. Evaluation of rational quantity of profile moment-transferring joints sides. Source of the Document Tehnicki Vjesnik. 2016. № 23 (2). P. 575 -577.

2. Емельянов С.Г., Гладышкин А.О., Разумов М.С. Автоматизация технологической подготовки производства профильных валов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1. Ч.1. С. 164-168.

3. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Анализ погрешности формы профильного вала при обработке фасонным долбяком // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. №2. Ч.1. С. 54-57.

4. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Аспекты контроля профильных соединений на базе треугольника РЕЛО // Сборник научных трудов Sworld. 2013. Т. 4. № 2. С. 92-94.

5. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Метод генераторной обработки профильных валов долбяками // Машиностроение -основа технологического развития России (ТМ-2013): материалы V Международной науч.-практ. конф. Курск, 2013. С. 440-442.

6. Пат. 2463129 Российская Федерация, МПК В23В 5/44. Способ обработки профильного вала со сторонами равной ширины / Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С.; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. № 2011110843/02; заявл. 22.03.2011; опубл. 10.10.2012, Бюл. №28.

7. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Особенности изготовления долбежного инструмента для обработки профильных соединений // Техника и технологии: Пути инновационного развития: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2012. С. 36-39.

8. Определение положения зубьев охватывающей фрезы с радиальной конструктивной подачей для обработки РК-профильных валов / А.В. Исаев, В.В. Куц, М.С. Разумов, А.Н. Гречухин, М.А. Сидорова // Вестник МГТУ Станкин. 2018. № 3 (46). С. 112-115.

9. Разумов М.С., Гречухин А.Н., Пыхтин А.И. Определение погрешности формы при полигональном точении многогранников с нечетным количеством граней // Электротехника. Энергетика. Машиностроение: сборник научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых. Новосибирск, 2014. С. 137 -140.

10. Барботько А.И., Понкратов П.А., Разумов М.С. Метод генераторной обработки профильных валов долбяками // Машиностроение – основа технологического развития России (ТМ-2013): материалы V Международной научно-практической конференции. Курск, 2013. С. 440-442.

11. Шитиков А.Н. Анализ методов изготовления РК-профильных валов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. № 4. С. 54-56.

12. Шитиков А.Н. Обеспечение качества изготовления РК-профильных валов методом фасонного фрезерования. Курск, 2015.



13. Боголюбов А.В. Геометрические характеристики РК-профиля и эквидистантные профили // *Фундаментальные физикоматематические проблемы и моделирование технико-технологических систем: сб. научн. тр. Вып. 4. М.: Изд.-во «Станкин», 2001. С. 208-213.*

14. Куц О.Г., Агеев Е.В., Мальнева Ю.А. Оценка погрешности положения и ориентации сменных многогранных пластин дисковой фрезы для обработки РК-профильного вала // *Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции (24-25 сентября 2015 года): в 3 т. Курск, 2015. Т. 2. С.130-138.*

15. Куц О.Г., Агеев Е.В. Выполнение синтеза структур в рамках методологии структурно-параметрического синтеза металлорежущих систем // *Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-практической конференции (24-25 сентября 2015 года): в 3 т. Курск, 2015. Т. 2. С.139-146.*

16. Куц В.В., Мальнева Ю.А., Горохов А.А. Способы обработки профильных валов фрезами с радиальной конструктивной подачей // *Проблемы и достижения в инновационных материалах и технологиях машиностроения: материалы Международной научно-технической конференции. Курск, 2015. С. 156-158.*

17. Куц В.В., Ивахненко А.Г., Сторублев М.Л. Синтез производящих поверхностей фрез - протяжек для обработки валов с равноосным контуром // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2012. № 8. С. 42-48.*

18. Куц В.В., Пономарев В.В. Построение модели формообразования длинных валов с РК-профилем сборной дисковой фрезой // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 2(322). С.110-115*

19. Куц В.В., Пономарев В.В. Метод определения положения зубьев сборной дисковой фрезы с конструктивной радиальной подачей // *Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 6. С. 81-85.*

20. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. М.: Машиностроение, 2003. 694 с.

## References

1. Razumov M.S., Gladyshevskiy A.O., Pykhtin A.I. Evaluation of the rational quantity of profile moment-transferring joints sides. *Source of the Document By Tehnicki Vjesnik*, 2016, no. 23 (2), pp. 575 -577.

2. Emelyanov S.G., Gladyshevskiy A.O., Razumov M.S. Avtomatizatsiya tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva profil'nykh valov [Automation of technological preparation of

the production of profile shafts]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1-1, pp. 164-168 (In Russ.).

3. Barbotko A.I., Ponkratov P.A., Razumov M.S. Analiz pogreshnosti formy profil'nogo vala pri obrabotke fasonnym dolbyakom [Analysis of the error of the shape of the profile shaft in the treatment of the style-style dolbyak]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2012, no.2-1, pp. 54-57 (In Russ.).

4. Barbotko A.I., Ponkratov P.A., Razumov M.S. Aspekty kontrolya profil'nykh soedinenii na baze treugol'nika RELO [Aspects of control of profile connections on the basis of the triangle RELOT]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld = Sworld's collection of scientific works*, 2013, vol. 4, no 2, pp. 92-94 (In Russ.).

5. Barbotko A.I., Ponkratov P.A., Razumov M.S. [Method of generator processing of profile shafts by dolbyaks]. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Mashinostroenie -osnova tekhnologicheskogo razvitiya Rossii (TM-2013)" [Materials V international scientific and practical conference "Mechanical Engineering -the basis of technological development of Russia (TM-2013)"]*. Kursk, 2013, pp. 440-442 (In Russ.).

6. Barbotko A.I., Ponkratov P.A., Razumov M.S. *Sposob obrabotki profil'nogo vala so storonami ravnoi shiriny*. [How to handle a profile shaft with sides of equal width]. Patent RF, no. 2463129, 2011A (In Russ.).

7. Barbotko A.I., Ponkratov P.A., Razumov M.S. [Features of manufacturing slotting tools for processing profile joints]. *Materialy 2-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konfi. "Tekhnika i tekhnologii: Puti innovatsionnogo razvitiya" [Materials 2nd Internar. science.-practical confit. "Technology and Technology: Ways of Innovation Development"]*. Kursk, 2012, pp. 36-39 (In Russ.).

8. Isaev A.V., Kuts V.V., Razumov M.S., Grechukhin A.N., Sidorova M.A. Opreделение polozheniya zub'ev okhvatyvayushchei frezy s radial'noi konstruktivnoi podachei dlya obrabotki RK-profil'nykh valov [Determining the position of teeth covering the cutter with a radial constructive supply for processing RK-profile shafts]. *Vestnik MGTU Stankin = Vestnik MSTU "STANKIN"*, 2018, no. 3 (46), pp. 112-115 (In Russ.).

9. Minds M.S., Grechukhin A.N., Pykhtin A.I. [Determining the error of form at polygonal reading of polygonal dots with an odd number of faces]. *Elektrotehnika. Energetika. Mashinostroenie. Sbornik nauchnykh trudov I Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh [Electrotechnics Electrical engineering. Energy. Mechanical engineering: collection of scientific papers of the I International scientific conference of young scientists]*. Novosibirsk, 2014, pp. 137-140 (In Russ.).

10. Barbotko A.I., Poncrates P.A., Razumov M.S. [The method of generator processing of profile shafts by the Lobbys]. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Mashinostroenie - osnova tekhnologicheskogo razvitiya Rossii (TM-2013)" [Mate-*

rials V of the International Scientific and Practical Conference "Mechanical engineering - the basis of technological development of Russia (TM-2013)". Kursk, 2013, pp. 440-442 (In Russ.).

11. Shitikov A.N. Analiz metodov izgotovleniya RK-profil'nykh valov [Analysis of the methods of making RK-profile shafts/devices and systems]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika = Instruments and Systems: Monitoring, Control and Diagnostics*, 2005, no. 4, pp. 54-56 (In Russ.).

12. Shitikov A.N. *Obespechenie kachestva izgotovleniya RK-profil'nykh valov metodom fasonnogo frezerovaniya* [Ensuring the quality of production of RK-profile shafts by the method of shaped milling]. Kursk, 2015 (In Russ.).

13. Bogolyubov A.V. [Geometric characteristics of RK-profile and ecvidistic profiles]. *Sb. nauchn. tr. "Fundamental'nye fizikomatematicheskie problemy i modelirovanie tekhniko-tekhnologicheskikh sistem"*. [Fundamental physical problems and modeling of technical and technological systems], Moscow, Stankin Publ., 2001, vol. 4, pp. 208-213 (In Russ.).

14. Kutz O.G., Ageev E.V., Malneva Y.A. [Assessment of the error of position and orientation of interchangeable multifaceted plates of disk cutter for processing the RK-profile shaft]. *Progressivnye tekhnologii i protsessy. Sbornik nauchnykh statei 2-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Progressive Technologies and Processes. Collection of scientific articles of the 2nd International Youth Science and Practical Conference]. Kursk, 2015, vol. 2, pp.130-138 (In Russ.).

15. Kutz O.G., Ageev E.V. [Performing the synthesis of structures within the framework of the methodology of structural and parametric synthesis of metal cutting systems]. *Progressivnye tekhnologii i protsessy. Sbornik nauchnykh statei 2-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Progressive Technologies and Processes. A collection of scientific articles of the 2nd International Youth Science and Practical Conference]. Kursk, 2015, vol. 2, pp.139-146 (In Russ.).

16. Kuts V.V., Malneva J.A., Gorokhov A.A. [Ways of processing profile shafts with radial constructive supply "Text"]. *Problemy i dostizheniya v innovatsionnykh materialakh i tekhnologiyakh mashinostroeniya. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii*. [Problems and achievements in innovative materials and technologies of mechanical engineering. Materials of the International Science and Technology Conference]. Kursk, 2015, pp. 156-158 (In Russ.).

17. Kuts V.V., Ivachnenko A.G., Storublev M.L. Sintez proizvodnyashchikh poverkhnostei frez - protyazhek dlya obrabotki valov s ravnoosnym konturom [Synthesis of the surface-producing cutters - lengths for the processing of shafts with an equal-egalitated contour]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki = News of the Tula State University. Technical Sciences*, 2012, no. 8, pp. 42-48 (In Russ.).

18. Kuts V.V., Ponomarev V.V. Postroenie modeli formoobrazovaniya dlennykh valov s RK-profilem sbornoj diskovoi frezoi [Building a model of forming long shafts with a RK-profile of the national disc cutter]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and Applied Problems of Technology and Technology*, 2017, no. 2(322), pp.110-115 (In Russ.).

19. Kuts V.V., Ponomarev V.V. Metod opredeleniya polozheniya zub'ev sbornoj diskovoi frezy s konstruktivnoi radial'noi podachei [The method of determining the position of the teeth of the national disc cutter with a constructive radial supply]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Voronezh State Technical University*, 2017, vol. 13, no 6, pp. 81-85 (In Russ.).

20. Kosilova A.G. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroyitelya* [The handbook of the machine-builder]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003, 694 p. (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Кут Вадим Васильевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машиностроительных технологий и оборудования, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kuc-vadim@yandex.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-002-3244-1359>

**Vadim V. Kuts**, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor, Engineering Technology and Equipment Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kuc-vadim@yandex.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-002-3244-1359>

**Пonomarev Василий Владимирович**, старший преподаватель кафедры машиностроительных технологий и оборудования, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ponomarev@ascon.ru

**Vasiliy V. Ponomarev**, Senior Lecturer, Engineering Technology and Equipment Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ponomarev@ascon.ru