

УДК 621.914.22, 620.191.35

DOI 10.18698/0536-1044-2016-7-19-27

# Высота неровностей на поверхности после обработки фрезой с волнистой режущей кромкой

М.С. Потапова<sup>1</sup>, Е.Ю. Матасова<sup>2</sup>, Д.В. Виноградов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

<sup>2</sup> ОПК «Энттехномаш», 141070, Московская обл., Королев, Российская Федерация, ул. Калинина, д. 6В

## The Peak-to-Valley Height on the Surface Machined with a Serrated End Mill

M.S. Potapova<sup>1</sup>, E.Y. Matasova<sup>2</sup>, D.V. Vinogradov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

<sup>2</sup> Enterprise OPK Entechnomash, 141070, Moscow region, Korolev, Russian Federation, Kalinin St., Bldg. 6B



e-mail: legenda12@bk.ru, lizasanm@rambler.ru, vdv2010@bk.ru



Приведена расчетная модель для определения высоты неровностей, образующихся на обработанной поверхности после фрезерования фрезой с волнистой режущей кромкой. Рассмотрено влияние радиального биения зубьев фрезы на высоту неровностей обработанной поверхности. Показано, что принятое упрощение расчетной схемы (замена кривых четвертого порядка окружностями) несущественно влияет на результаты расчета в диапазоне параметров фрезерования, характерном для реальной обработки. Проанализировано влияние подачи на зуб и геометрии режущей кромки — на шероховатость обработанной поверхности. Установлено, что высота неровностей снижается при увеличении радиуса гребня волны и количества зубьев фрезы и при уменьшении подачи на зуб и шага гребня. Диаметр фрезы практически не оказывает влияния на высоту неровностей.

**Ключевые слова:** фрезерование, волнистая режущая кромка, шероховатость, обработанная поверхность, черновая фреза.



A calculation model to determine the height of irregularities on the surface machined by a serrated end mill is presented. The effect of radial run-out on the peak-to-valley height of the machined surface is considered. It is shown that the simplification of the calculation schemes (replacement of fourth-order curves with circumferences) does not significantly affect the results of the calculation in the range of the milling parameters typical of actual machining. The influence of the feed per tooth and cutting edge parameters on the roughness of the machined surface is analyzed. It has been established that the peak-to-valley height is reduced with the increase of the radius of the crest of the wave and the number of cutter teeth, and with the decrease of the feed per tooth and the pitch of the waveform. The cutter diameter has little impact on the peak-to-valley height.

**Keywords:** milling, serrated cutting edge, surface roughness, machined surface, roughing mill.

В последнее время различные машиностроительные предприятия стали активно использовать так называемые «кукурузные», «черновые» или «серрейторные» (*serrated*) фрезы — фрезы с

волнистой режущей кромкой (ВРК) [1]. Согласно рекомендациям фирм-производителей таких фрез [2–4], их следует применять для черновой обработки карманов, полостей и

уступов. Однако в каталогах и справочниках отсутствуют данные о шероховатости поверхности, обработанной фрезой с ВРК, хотя это важно для расчета параметров режима резания (подачи на зуб) такими фрезами и правильного проектирования технологического процесса обработки деталей.

Анализ литературных источников показал, что этой теме уделено мало внимания. В частности, не выявлено работ, посвященных расчету высоты неровностей поверхностей, обработанных фрезами с ВРК.

Известно [5, 6], что высота  $h$  неровностей на обработанной поверхности после фрезерования может быть определена по формулам

$$h = R - \frac{\sqrt{4R - S_z}}{2}; \quad h \approx \frac{S_z}{8R},$$

где  $R$  — радиус фрезы, мм;  $S_z$  — подача на зуб, мм/зуб.

Расчет высоты неровностей профиля фрезерованных поверхностей вращения и плоских поверхностей приведен в работе [7], причем для последних предложен расчет высоты образующихся неровностей с учетом биений зубьев фрезы. В работах [8, 9] представлена критика этого расчета и предложен расчет неровностей профиля обработанной наружной цилиндрической поверхности торцевой и цилиндрической фрезами. Определение координат гребней с учетом неточности размеров радиусов зубьев фрезы с гладкой режущей кромкой приведено в работе [10], а формула для расчета высоты неровностей после обработки внутреннего цилиндра двузубой фрезой — в статье [11]. В работе [12] предложен расчет высоты неровностей, получаемой после обработки фрезами со стружкоделительными канавками на цилиндрическом зубе. В работе [13] приведен алгоритм моделирования обработанной поверхности и стружки фрезой типа NR (ВРК) за один оборот фрезы, но нет анализа полученной поверхности. В работе [14] предложен более подробный алгоритм моделирования обработанной поверхности фрезой с режущей кромкой того же типа и проведен ее анализ, но нет расчетов, позволяющих оценить высоту геометрических неровностей. В работе [15] проведен расчет высоты неровностей, остающихся на плоской и цилиндрической обработанных поверхностях после попутного и встречного фрезерования, с учетом трохойдальной траектории движения зубьев

фрезы. Однако этот расчет выполнен в неявном виде.

Во всех перечисленных работах предложены формулы, которые нельзя применять для расчета высоты неровностей после обработки фрезами с ВРК, так как они образуют на обработанной поверхности заготовки ячеистый рельеф [14]. Вследствие этого шероховатости поверхностей обработанных фрезами с криволинейными и гладкими режущими кромками, имеют различия.

Цель работы — установление аналитической зависимости для определения шероховатости поверхности, обработанной фрезой с ВРК, и исследование зависимости шероховатости от размеров ВРК и параметров режима резания без учета податливости и динамических характеристик технологической системы.

**Расчетная модель.** Фреза с ВРК (рис. 1) образует на поверхности ямки — шестиугольные ячейки (рис. 2, 3), у которых центры (точки 7 и 10) являются самыми низкорасположенными, а вершины (точки 1–6) — самыми высокорасположенными точками.

В первом приближении можно считать, что каждая ячейка является частью поверхности тора [13]. Диаметр тора равен диаметру фрезы, а радиус образующей окружности — радиусу гребня волны режущей кромки  $r$ . Дно ячейки изогнуто в двух направлениях: вдоль направления подачи  $S_0$  в сечении  $A-A$  (см. рис. 2) и вдоль оси фрезы в сечении  $B-B$ . Высота профиля, оставшегося на обработанной поверхности, равна глубине ячейки — расстоянию по вертикали между самыми высокорасположенными и низкорасположенными точками, которое определяют как сумму высот неровностей, образованных в направлении подачи ( $h_s$ ) и вдоль оси фрезы ( $h_{pr}$ ):

$$h_{\max} = h_s + h_{pr}. \quad (1)$$

Высота неровностей в направлении подачи может быть рассчитана как разница вертикаль-

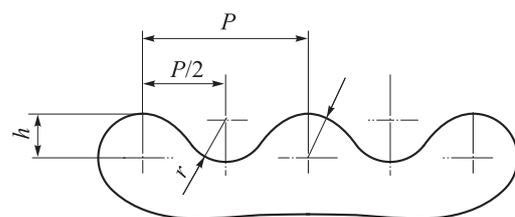


Рис. 1. Профиль зуба фрезы с ВРК типа NR

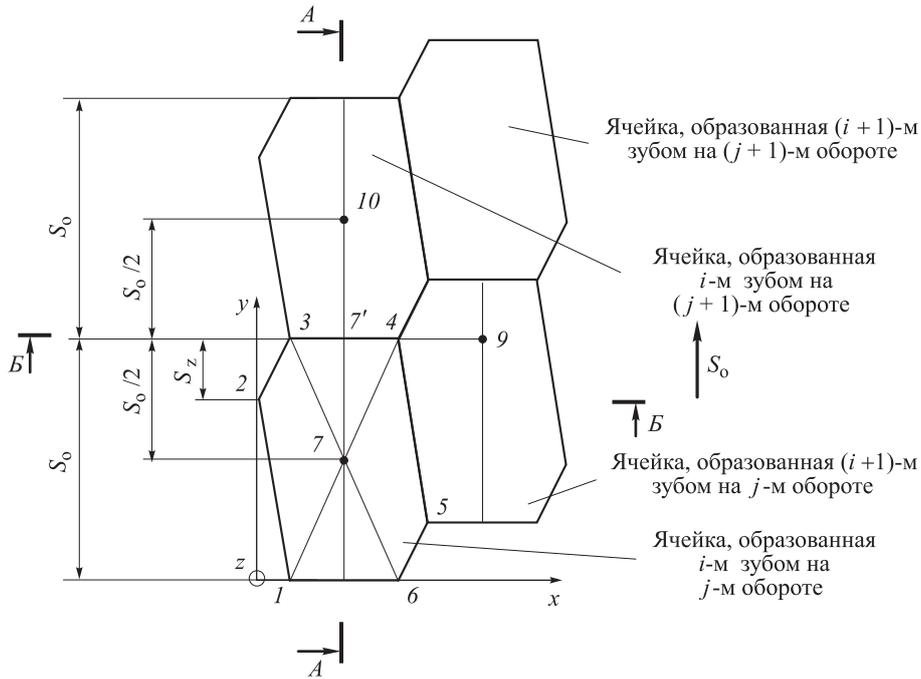


Рис. 2. Поверхность, образованная двумя соседними зубьями за два оборота фрезы

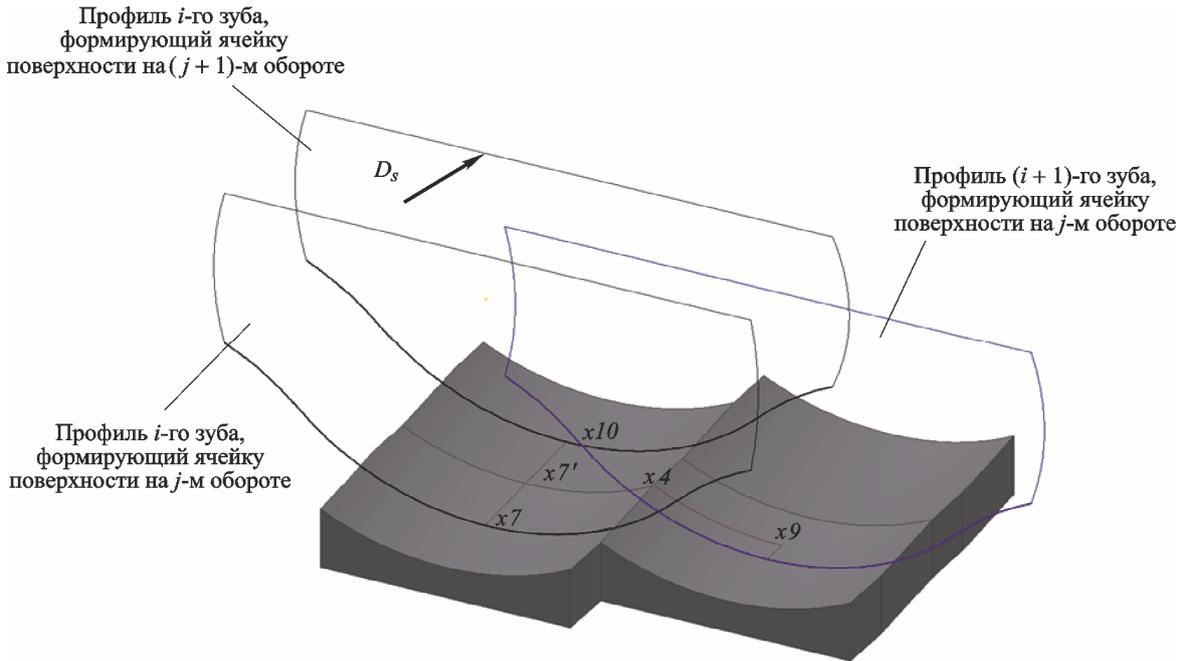


Рис. 3. Изометрическое изображение ячеек поверхности, образованных двумя соседними зубьями за два оборота

ных координат точек 7 и 7', что видно из рис. 4, на котором представлено сечение ячейки по направлению подачи через самые низкорасположенные ее точки 7 и 10 (см. рис. 2).

Высота неровностей, образующихся вдоль направления подачи, может быть рассчитана по формуле

$$h_s = h_{7'} - h_7 = R - \sqrt{R^2 - \frac{S_0^2}{4}}, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус фрезы, мм;  $S_0$  — подача на оборот, мм/об.

Высота неровностей обработанной поверхности, образующихся вдоль оси фрезы, опреде-

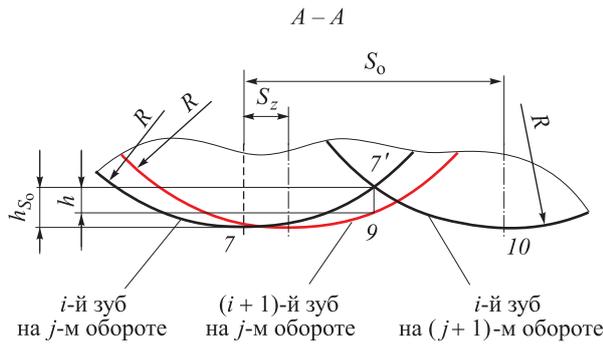


Рис. 4. Схема расчета высоты неровностей вдоль направления подачи

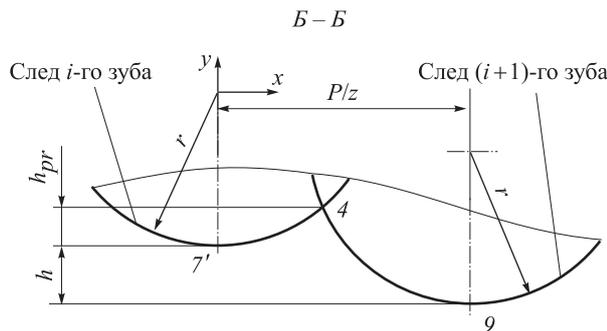


Рис. 5. Схема расчета высоты неровностей в осевом направлении

ляется линиями пересечения следов зуба фрезы на  $j$ -м и  $(j + 1)$ -м обороте фрезы (см. рис. 2, линия 3–4) и следов  $i$ -го и  $(i + 1)$ -го зубьев (см. рис. 2, линия 4–9).

Для получения схемы расчета высоты  $h_{pr}$  неровностей обработанной поверхности вдоль оси фрезы выполнено сечение ячеистой поверхности вертикальной плоскостью (см. рис. 2, сечение Б – Б). Линии пересечения секущей плоскости с торами заменены окружностями с радиусами, равными радиусу  $r$  образующей окружности (рис. 5).

Высота  $h_{pr}$  неровностей в осевом направлении — это разница высот точек 4 и 7'. Из рис. 5 следует система уравнений, позволяющая рассчитать координату  $y$  для точки 4:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r^2; \\ \left(x - \frac{P}{z}\right)^2 + (y + h)^2 = r^2. \end{cases}$$

Здесь  $P$  — шаг волны;  $z$  — количество режущих зубьев, а  $h$  определяют из расчетной схемы, приведенной на рис. 4:

$$h = \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_0}{2} - S_z\right)^2} - \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_0}{2}\right)^2}. \quad (3)$$

Решение данных уравнений позволяет записать следующее выражение для определения высоты неровностей вдоль оси фрезы:

$$h_{pr} = r - |y_4| = r - \left| \frac{-ab - \sqrt{r^2(1+a^2) - b^2}}{1+a^2} \right|,$$

где

$$a = \frac{hz}{P}; \quad b = \frac{z}{2P} \left( \left(\frac{P}{z}\right)^2 + h^2 \right).$$

После преобразований с учетом выражений (1) и (2) формула для расчета максимальной высоты неровностей поверхности, образованной фрезой с ВРК, приобретает вид

$$h_{\max} = R - \sqrt{R^2 - \frac{(zS_z)^2}{4}} + r -$$

$$\left| \frac{\frac{h}{2} + \frac{h^3 z^2}{2P^2} + \sqrt{r^2 \left[ 1 + \left(\frac{hz}{P}\right)^2 \right] - \left\{ \frac{z}{2P} \left[ \left(\frac{P}{z}\right)^2 + h^2 \right] \right\}^2}}{1 + \left(\frac{hz}{P}\right)^2} \right|, \quad (4)$$

при соблюдении условия

$$r \geq \frac{\sqrt{P^2 + h^2 z^2}}{2z}.$$

**Влияние принятого допущения на расчетное значение высоты неровностей.** Как указано выше, для определения высоты  $h_{pr}$  неровностей поверхности вдоль оси фрезы в расчетной схеме (см. рис. 5) кривая второго порядка в сечении тора была заменена на окружность радиусом  $r$ . Вследствие такой замены возникает погрешность  $\Delta$ , которая может быть определена по компьютерной модели обработанной поверхности как кратчайшее расстояние между точкой пересечения полученных в модели поверхностей

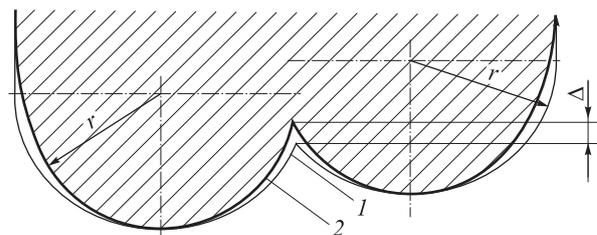


Рис. 6. Схема образования погрешности: 1 — принимаемая поверхность; 2 — реальная поверхность

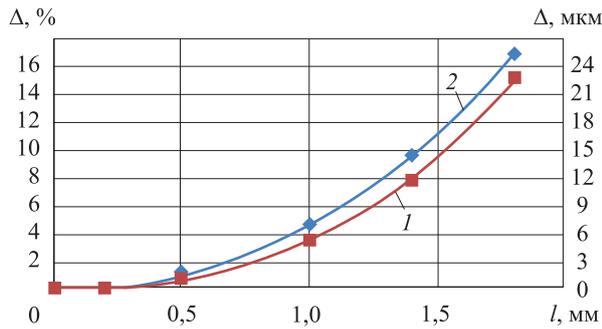


Рис. 7. Зависимость погрешности  $\Delta$ , образованной заменой кривых второго порядка на окружности, от расстояния  $l$ :  
1 —  $\Delta$ , мкм; 2 —  $\Delta$ , %

второго порядка и точкой пересечения построенных окружностей радиусом  $r$  (рис. 6).

Анализ компьютерных моделей ячеистой поверхности позволил установить, что погрешность  $\Delta$  растет при увеличении подачи на зуб, шага волны, количества режущих зубьев и при уменьшении радиуса волны и диаметра фрезы. В качестве примера на рис. 7 показана зависимостью  $\Delta$  от расстояния  $l$  между секущей плоскостью  $B - B$  и осью тора для трехзубой фрезы диаметром  $D = 6$  мм с шагом волны  $P = 1,0$  мм и радиусом волны  $r = 0,2$  мм при подаче на зуб  $S_z = 0,03$  мм/зуб.

Для расстояний, соизмеримых с длиной ячейки, равной значению подачи на оборот, суммарная ошибка, как правило, составляет не более 1 %. Поэтому применение рассмотренного упрощения допустимо.

**Влияние параметров фрезерования и геометрии режущей кромки на шероховатость обработанной поверхности.** Для исследования влияния различных параметров режущей кромки и фрезерования ( $S_z, D, z, P, r$ ) на высоту неровностей обработанной поверхности проведено моделирование обработанной поверхности в следующем диапазоне параметров: диаметр фрезы  $D = 4...30$  мм, количество режущих зубьев  $z = 3...6$ , шаг волны  $P = 0,3...2,4$  мм, радиус гребня волны  $r = 0,3...2,4$ , подача на зуб  $S_z = 0,02...0,16$  мм/зуб.

На рис. 8–11 для двух различных случаев показаны зависимости максимальной высоты неровностей на обработанной поверхности от количества режущих зубьев, радиуса фрезы, шага и радиуса волны, подачи на зуб.

Из рис. 8–11 видно, что высота неровностей снижается при увеличении радиуса  $r$  гребня

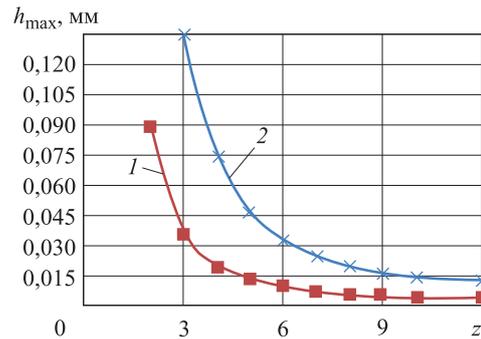


Рис. 8. Зависимость максимальной высоты  $h_{max}$  неровностей от количества  $z$  режущих зубьев:  
1 —  $R = 5$  мм,  $S_z = 0,03$  мм/зуб,  $r = 0,4$  мм,  $P = 1$  мм;  
2 —  $R = 14$  мм,  $S_z = 0,07$  мм/зуб,  $r = 1,0$  мм,  $P = 3$  мм

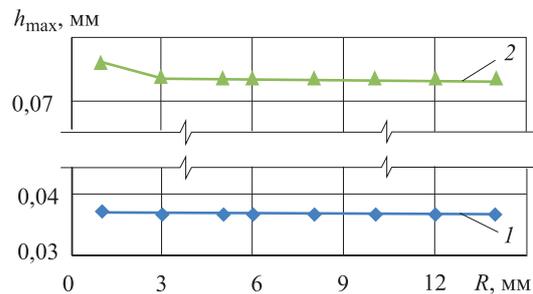


Рис. 9. Зависимость максимальной высоты  $h_{max}$  неровностей от радиуса  $R$  фрезы:  
1 —  $z = 3$ ,  $S_z = 0,03$  мм/зуб,  $r = 0,4$  мм,  $P = 1$  мм;  
2 —  $z = 4$ ,  $S_z = 0,05$  мм/зуб,  $r = 1,0$  мм,  $P = 3$  мм

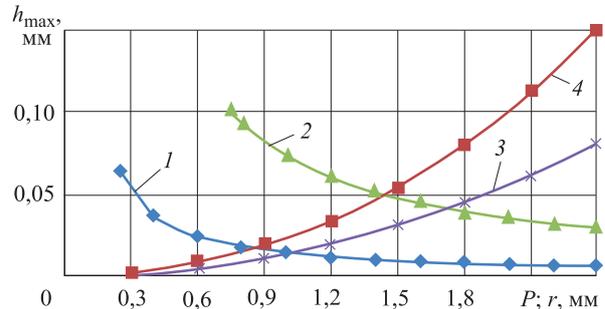


Рис. 10. Зависимость максимальной высоты  $h_{max}$  неровностей от радиуса  $r$  и шага  $P$  волны:  
1 —  $R = 5$  мм,  $z = 3$ ,  $S_z = 0,05$  мм/зуб,  $P = 1$  мм;  
2 —  $R = 10$  мм,  $z = 4$ ,  $S_z = 0,05$  мм/зуб,  $P = 3$  мм;  
3 —  $R = 10$  мм,  $z = 4$ ,  $S_z = 0,07$  мм/зуб,  $r = 0,6$  мм;  
4 —  $R = 5$  мм,  $z = 3$ ,  $S_z = 0,05$  мм/зуб,  $r = 0,6$  мм

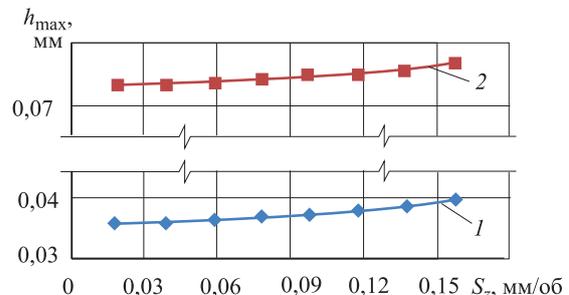


Рис. 11. Зависимость максимальной высоты  $h_{max}$  неровностей от подачи  $S_z$  на зуб:  
1 —  $R = 5$  мм,  $z = 3$ ,  $r = 0,6$  мм,  $P = 1$  мм;  
2 —  $R = 10$  мм,  $z = 4$ ,  $r = 1,0$  мм,  $P = 3$  мм

волны и количества  $z$  зубьев и при уменьшении подачи  $S_z$  на зуб и шага  $P$  волны. Диаметр  $D$  фрезы практически не оказывает влияния на высоту неровностей.

**Влияние радиальных биений на расчетную модель.** Как было показано в работе [14], если у зубьев фрезы есть радиальное биение, то размеры ячейки изменяются. Это объясняется тем, что радиальные биения изменяют фактический радиус зуба: к номинальному радиусу следует прибавить значение биения. При этом составляющая высоты неровностей, определяемая в направлении подачи, не изменяется (так как она формируется одним и тем же зубом), а составляющая высоты неровностей в осевом

направлении изменяется, поскольку вследствие радиального биения изменяется глубина соседних ячеек, обработанных разными зубьями (рис. 12).

Следовательно, изменяется значение  $h$  (см. рис. 5), и уравнение (3) приобретает вид

$$h = \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_0}{2} - S_z\right)^2} - \sqrt{R^2 - \left(\frac{S_0}{2}\right)^2} + (\Delta_{i+1} - \Delta_i),$$

где  $\Delta_i$  — радиальное биение  $i$ -го зуба;  $\Delta_{i+1}$  — радиальное биение  $(i + 1)$ -го зуба;  $(\Delta_{i+1} - \Delta_i)$  — радиальное биение зуба относительно соседнего.

Следует отметить, что при наличии радиальных биений зубьев фрезы высота неровностей на обработанной поверхности в разных

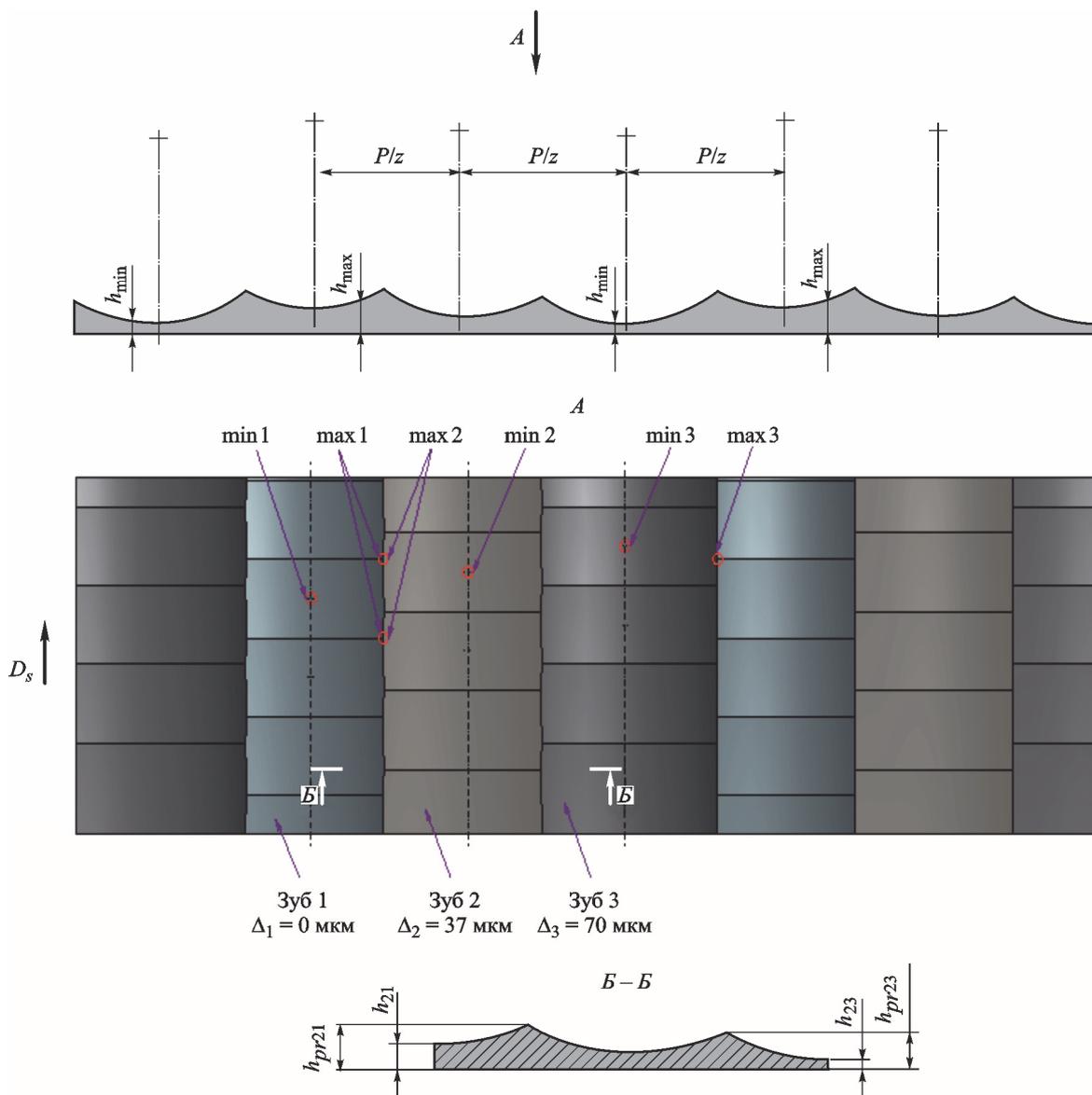


Рис. 12. Модель поверхности, образованной трехзубой фрезой с ВРК, с учетом биений  $\Delta$

ячейках будет неодинаковой, так как она зависит от разницы биений двух соседних зубьев, образующих границу ячейки.

Рассмотрим пример моделирования обработанной поверхности фрезой со следующими параметрами (см. рис. 12): диаметр  $D = 12$  мм, количество зубьев  $z = 3$ , шаг волны  $P = 2,307$  мм, радиус гребня волны  $r = 0,79$  мм, высота волны  $h = 0,5$  мм, подача на зуб  $S_z = 0,11$  мм/об. Биение первого зуба  $\Delta_1 = 0$  мкм, второго  $\Delta_2 = 37$  мкм, третьего  $\Delta_3 = 70$  мкм. На рис. 12 отмечены наиболее высоко- и низкорасположенные точки для каждой ячейки. Установлено, что максимальная высота неровностей  $h_{\max} = 0,1397$  мм возникает при пересечении ячеек, образованных третьим и первым зубьями.

Сравнение данных компьютерной модели и расчета по формуле (4) показало, что погрешность расчета не превышает 3 %. Это подтверждает допустимость принятых упрощений и правильность полученных выражений.

## Выводы

1. Получена математическая модель, позволяющая оценить теоретическую высоту неровностей, оставшихся на поверхности, обработанной фрезой с ВРК.

2. При проектировании фрезы и назначении параметров режима резания с точки зрения уменьшения шероховатости обработанной поверхности необходимо отдать предпочтение фрезам с большим количеством зубьев, менее крупным шагом и большим радиусом волны, т. е. тому случаю, когда высота волны уменьшается и профиль режущей кромки стремится к гладкому. Диаметр фрезы оказывает незначительное влияние на формирование высоты неровностей поверхности. Увеличение подачи на зуб приводит к некоторому увеличению шероховатости.

## Литература

- [1] Потапова М.С., Виноградов Д.В. Обзор фрез с криволинейной режущей кромкой. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 11, с. 21–33. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/740472.html> (дата обращения 1 марта 2016).
- [2] *Вращающиеся инструменты. Фрезерование 2012: Каталог Sandvik*. URL: [http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/rotating/ROT\\_D.pdf](http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/rotating/ROT_D.pdf) (дата обращения 12 октября 2014).
- [3] *Высокопроизводительные фрезы: Каталог Guhring*. URL: <http://www.guhring.ru/uploads/cat/files/Frezi.pdf> (дата обращения 12 октября 2014).
- [4] *Каталог ZPS FN*. URL: <http://instrtp.ru/d/219012/d/frezy-zps-fn.pdf> (дата обращения 12 октября 2014).
- [5] Аршинов В.А., Алексеев Г.А. *Резание металлов и режущий инструмент*. Москва, Машиностроение, 1976. 410 с.
- [6] Бобров В.Ф. *Основы теории резания металлов*. Москва, Машиностроение, 1975. 344 с.
- [7] Этин А.О. *Кинематический анализ методов обработки металлов резанием*. Москва, Машиностроение, 1964. 324 с.
- [8] Грязев М.В., Степаненко А.В. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей цилиндрическими фрезами. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2010, вып. 2, ч. 1, с. 137–140.
- [9] Грязев М.В., Степаненко А.В. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей торцовыми фрезами. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2010, вып. 2, ч. 1, с. 140–148.
- [10] Глебов И.Т. Определение подачи на зуб по шероховатости фрезерованной поверхности. *Современные наукоемкие технологии*, 2007, № 10, с. 20–23. URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=25512> (дата обращения 18 февраля 2016).
- [11] Зенкин Н.В., Щелупова О.А. Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности, обработанной фрезами с двумя режущими кромками. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2012, № 8, с. 1–10. URL: <http://technomag.bmstu.ru/en/doc/475848.html> (дата обращения 27 октября 2015).
- [12] Моисеев Е.Е. *Влияние конструктивной подачи на процесс фрезерования цилиндрическими фрезами*. Дис. ... канд. техн. наук. Тула, ТГУ, 2000. 221 с.

- [13] Потапова М.С., Виноградов Д.В. Компьютерное моделирование рельефа поверхности, обработанной фрезой с криволинейной режущей кромкой. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2015, № 6, с. 42–55. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/778064.html> (дата обращения 25 февраля 2016).
- [14] Тихонова А.А., Виноградов Д.В. Геометрическая шероховатость при попутном и встречном фрезеровании. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2011, № 11, с. 68–71.
- [15] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов*. Москва, Наука, 1986. 544 с.

## References

- [1] Potapova M.S., Vinogradov D.V. Obzor frez s krivolineinoy rezhushchey kromkoy [Overview of curved cutting edge mills]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2014, no. 11, pp. 21–33. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/740472.html> (accessed 1 March 2016).
- [2] *Vrashchaiushchie instrumenty. Frezerovanie 2012: Katalog Sandvick* [The rotating tools. Milling 2012: The Catalog Sandvick]. Available at: [http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/rotating/ROT\\_D.pdf](http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/rotating/ROT_D.pdf) (accessed 12 October 2014).
- [3] *Vysokoproizvoditel'nye frezy: Katalog Guhring* [High-performance milling: Guhring Catalog]. Available at: <http://www.guhring.ru/uploads/cat/files/Frezi.pdf> (accessed 12 October 2014).
- [4] *Katalog ZPS FN* [Directory ZPS FN]. Available at: <http://instrtp.ru/d/219012/d/frezy-zps-fn.pdf> (accessed 12 October 2014).
- [5] Arshinov V.A., Alekseev G.A. *Rezanie metallov i rezhushchii instrument* [Cutting metals and cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1976. 410 p.
- [6] Bobrov V.F. *Osnovy teorii rezaniia metallov* [Fundamentals of theory of metal cutting]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1975. 344 p.
- [7] Etnin A.O. *Kinematicheskii analiz metodov obrabotki metallov rezaniem* [Kinematic analysis of methods of processing of metals by cutting]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1964. 324 p.
- [8] Griazev M.V., Stepanenko A.V. Frezerovanie naruzhnykh tsilindricheskikh poverkhnostei tsilindricheskimi frezami [Milling of outward cylindrical surfaces cutoff milling cutters]. *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya of the Tula State University. Technical sciences]. 2010, is. 2, pt. 1, pp. 137–140.
- [9] Griazev M.V., Stepanenko A.V. Frezerovanie naruzhnykh tsilindricheskikh poverkhnostei tortsovymi frezami [Milling of outward cylindrical surfaces cutoff milling cutters]. *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya of the Tula State University. Technical sciences]. 2010, is. 2, pt. 1, pp. 140–148.
- [10] Glebov I.T. Opredelenie podachi na zub po sherokhovatosti frezerovannoi poverkhnosti [Definition of submission on the tooth on the roughness of the milled surface]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies]. 2007, no. 10, pp. 20–23. Available at: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=25512> (accessed 18 February 2016).
- [11] Zenkin N.V., Shchelupova O.A. Issledovanie vliianiia tekhnologicheskikh faktorov na kachestvo poverkhnosti, obrabotannoi frezami s dvumia rezhushchimi kromkami [Study of the influence of technological factors on the quality of surface treated with milling cutters which have two cutting edges]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2012, no. 8, pp. 1–10. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/en/doc/475848.html> (accessed 27 October 2015).
- [12] Moiseev E.E. *Vliianie konstruktivnoi podachi na protsess frezerovaniia tsilindricheskimi frezami*. Diss. kand. tekhn. nauk [The impact of design feed to the process of milling cylindrical cutters. Cand. tech. sci. diss.]. Tula, TSU publ., 2000. 221 p.
- [13] Potapova M.S., Vinogradov D.V. Komp'yuternoe modelirovanie rel'efa poverkhnosti, obrabotannoi frezoi s krivolineinoy rezhushchey kromkoy [Computer modeling of the surface texture treated by mill with curved cutting edge]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Bauman* [Science and Education. Bauman MSTU]. 2015, no. 6, pp. 42–55. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/en/doc/778064.html> (accessed 25 February 2016).

- [14] Tikhonova A.A., Vinogradov D.V. Geometricheskaja sherokhovatost' pri poputnom i vstrechnom frezerovanii [Geometrical surface roughness in cylindrical conventional milling and climb milling]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]. 2011, no. 11, pp. 68–71.
- [15] Bronshtein I.N., Semendiaev K.A. *Spravochnik po matematike dlia inzhenerov i uchashchikhsia vtuzov* [Handbook of mathematics for engineers and students of technical colleges]. Moscow, Nauka publ., 1986. 544 p.

Статья поступила в редакцию 31.03.2016

## Информация об авторах

**ПОТАПОВА Мария Сергеевна** (Москва) — ассистент кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: legenda12@bk.ru).

**МАТАСОВА Елизавета Юрьевна** (Королев) — младший техник. ОПК «Энтехномаш» (141070, Московская обл., Королев, Российская Федерация, ул. Калинина, д. 6В, e-mail: lizasanm@rambler.ru).

**ВИНОГРАДОВ Дмитрий Вячеславович** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: vdv2010@bk.ru).

## Information about the authors

**POTAPOVA Maria Sergeevna** (Moscow) — Teaching Assistant, Department of Tools and Tooling Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: legenda12@bk.ru).

**MATASOVA Elizaveta Yurievna** (Korolev) — Junior Technician. Defense Industry Enterprise OPK Entechnomash (141070, Moscow region, Korolev, Russian Federation, Kalinin St., Bldg. 6B, e-mail: lizasanm@rambler.ru).

**VINOGRADOV Dmitriy Vyacheslavovich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Tools and Tooling Technology. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: vdv2010@bk.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана  
вышло в свет учебное пособие  
**А.В. Чашкина, Д.А. Жукова**

### «Элементы конечной алгебры: группы, кольца, поля, линейные пространства»

Учебное пособие основано на материалах лекций и семинаров, проводимых в МГТУ им. Н. Э. Баумана для студентов, специализирующихся в области защиты информации. В пособии рассмотрены основные алгебраические структуры и их свойства. Все утверждения снабжены подробными доказательствами и проиллюстрированы большим числом примеров. Основное внимание уделено конечным полям и линейным пространствам над конечными полями.

Для чтения пособия достаточно уверенного владения математикой в объеме средней школы.

**По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru