

УДК 621.914.1

***Мурадымов А. М., магистрант 2 курса
магистрант кафедры “Математическое моделирование технических
систем”***

***Гисметулин А. Р., кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры “Математическое моделирование технических
систем”***

***ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»
Российская Федерация, г. Ульяновск***

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ANSYS

Аннотация: В статье представлены результаты теоретического определения и моделирования процесса концевой фрезерования с применением цилиндрической фрезы и результаты неупругих деформаций детали при различных режимах обработки деталей: ширины и угла наклона винтовой канавки.

Рассмотрены модели статики процесса фрезерования в двухмерной и трехмерной постановке на основе конечно-элементного анализа взаимодействия инструмента и обрабатываемой заготовки с использованием возможностей программного комплекса Ansys. В качестве инструмента была выбрана цилиндрическая фреза диаметром 5 мм и 8 мм из быстрорежущей стали, а заготовкой является формообразованный лист из сплава алюминия «1163».

Приводится таблица зависимости сил резания от изменяемых величин диаметра и угла наклона винтовой канавки. По сравнению результатов моделирования с теоретическими выводами и существующими результатами экспериментов других авторов была подтверждена работоспособность программы Ansys при моделировании и анализе деформаций вызванных действием сил резания процессов концевой фрезерования.

Ключевые слова: концевое фрезерование, моделирование, конечно-элементный анализ, силы резания, ansys, деформации резания, форма образованный лист, обшивка самолета .

Muradymov A. M., 2nd year master's student

master's student of the Department "Mathematical modeling of technical systems"

*Gismetulin A.R., candidate of technical Sciences, associate Professor
associate Professor of the Department "Mathematical modeling of technical systems"*

*Ulyanovsk state University
Ulyanovsk, Russian Federation*

OPTIMIZATION OF CUTTING MODES OF MACHINING WITH APPLICATION OF ANSYS SYSTEM

Abstract: The article presents the results of a theoretical definition and modeling of the end milling process using a cylindrical cutter and the results of inelastic deformation of a part under various parts processing modes: the width and angle of inclination of the helical groove.

Static models of the milling process in two-dimensional and three-dimensional setting are considered on the basis of finite element analysis of the interaction of the tool and the workpiece using the capabilities of the Ansys software package. As a tool, a cylindrical cutter with a diameter of 5 mm and 8 mm made of high-speed steel was chosen, and the workpiece is a shaped sheet of 1163 aluminum alloy.

A table is presented of the dependence of cutting forces on variable values of the diameter and angle of inclination of the helical groove. By comparing the simulation results with theoretical conclusions and existing experimental results of other authors, the Ansys program was confirmed to be operable in modeling and analyzing deformations caused by the action of cutting forces of end milling processes.

Key words: end milling, modeling, finite element analysis, cutting forces, ansys, deformations of cutting, formed sheet shape, aircraft skin.

В самолете практически нет прямых деталей. Для придания нужной кривизны используют набор форм для обтяжки на специальном прессе (рис.1). Деталь устанавливают в пресс, прижимают ремнями и по программе прикладывают усилия, необходимые для её формообразования.

Задав необходимый изгиб для заготовки, можно вырезать контур. Обшивки малого размера можно вырезать с помощью лазера. Крупногабаритные обшивки самолета (форма образованные листы), обрабатывают по программе на пятиосевом фрезерном станке с ЧПУ. Изготовленные обшивки крыла контролируются на специальном стенде с

набором шаблонов. Отклонение 14-метровых обшивок крыла должно быть не более ± 1 мм (рис.2).



Рисунок 1 - обтяжные пуансоны

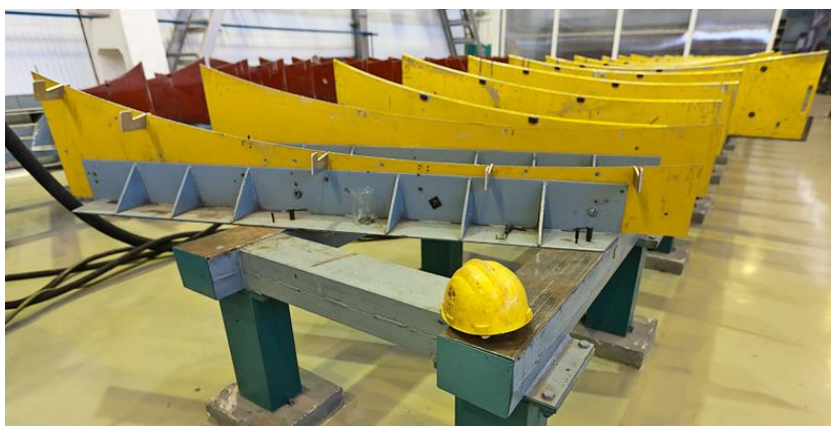


Рисунок 3 - стенд с набором шаблонов

При обработке обшивки под действием силы резания возникают пластические деформации в конструкции детали и упругие деформации инструмента, что существенно снижает точность обработки. Минимизация возникающих деформаций за счёт режимов резания приводит к тому, что увеличивается длительность обработки. Компьютерное моделирование процессов резания с применением CAE систем позволит определить оптимальные значения режимов резания.

В работе предлагается использовать модули программы Ansys, для моделирования деформаций в обшивки из сплава алюминия «1163».

Оптимизация технологических условий обработки деталей включает решение различных технологических, экономических, конструкторских и организационных задач и при проектировании технологического процесса (операции, перехода) оптимизация базируется на ранее накопленном производственном или научно-экспериментальном опыте, систематизированном в виде нормативов, стандартов, рекомендаций [1,2]. Используемые при оптимизации операций резания издания общемашиностроительных нормативов являются довольно грубым приближением к действительности, а оценка рекомендуемых режимов резания лежит в широком доверительном интервале. В связи с этим в решение задач повышения эффективности фрезерования на основе оптимизации параметров технологических операций входит:

- подбор оптимального диаметра и угла наклона винтовой канавки;
- подбор оптимальной величины подачи;
- оценка величин пластических деформаций детали;

Ниже (рис.4) приведена схема, используемая в работе [1], поясняющая расчёт срезаемого слоя и сил резания при концевом фрезеровании. На схеме режущая кромка представлена при обработке уступа с шириной B (размер, параллельный оси фрезерования) и глубиной резания t (размер перпендикулярный оси). Кинематическими параметрами являются величины: частота вращения фрезы n , подача S .

Система координат XYZ с началом в точке 2 имеет ось X по направлению оси фрезы, ось Y по направлению радиуса, ось Z по направлению скорости резания.

Режущая кромка зуба, согласно схеме работы [1] разделена на три участка: винтовая кромка 12 с углом наклона к оси ω_0 на цилиндрической части, радиусная кромка 23 с радиусом $r \rightarrow 0$, торцевая кромка 34 под вспомогательным углом в плане φ_1 .

Наибольшая толщина среза на винтовой канавке в точке определяется формулой и графиком (рис.4):

$$a = s_z \sin \psi_0,$$

где: S_z – подача на зуб фрезы, мм/зуб; ψ_0 – угол поворота фрезы.

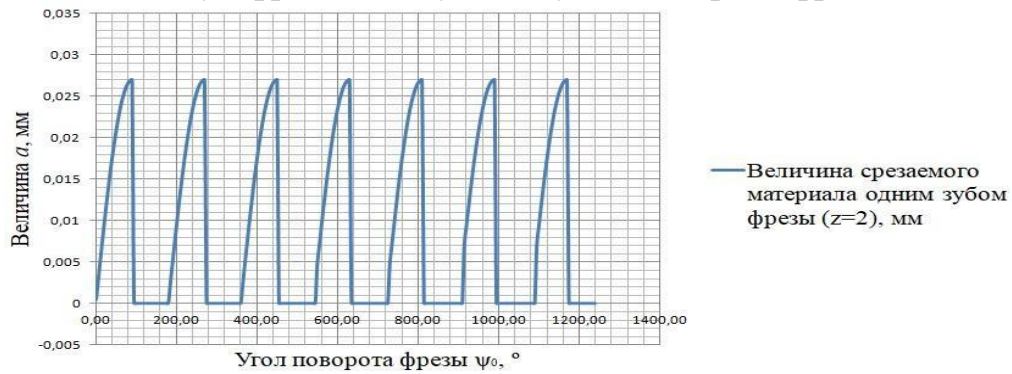


Рисунок 4 - Зависимость между величинами подачи и угла поворота фрезы

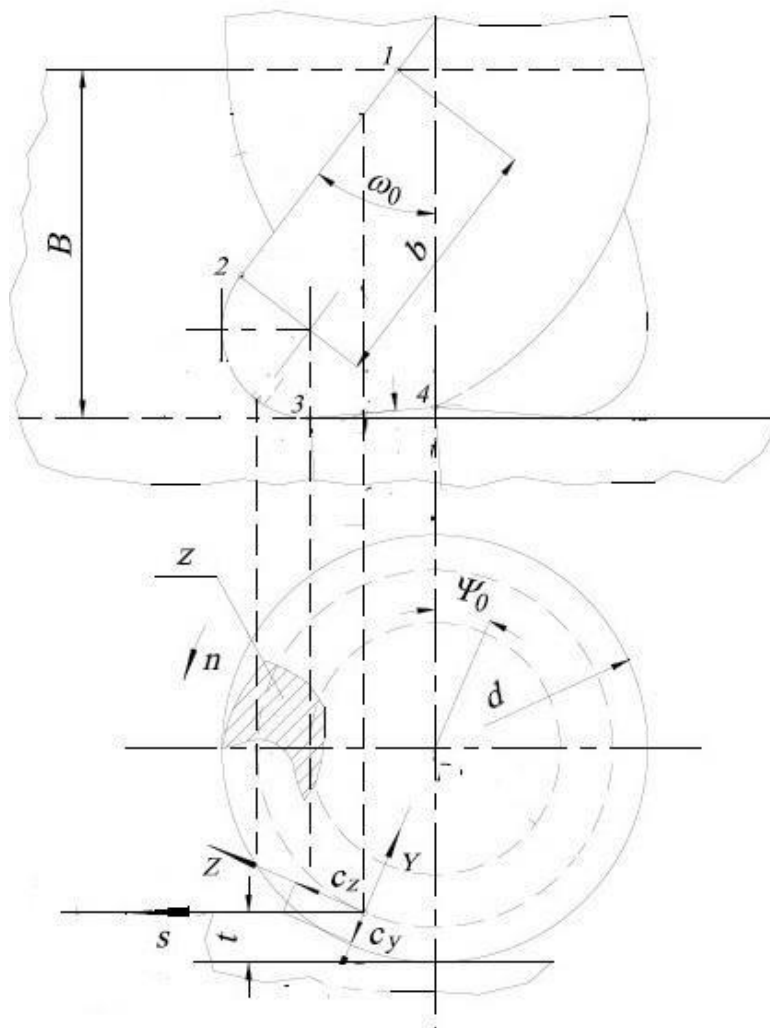


Рисунок 5 - Схема расчёта кинематических параметров и сил резания

Силовые параметры, изображённые на рис.5., по отдельности для каждой режущей кромки, но задача определения сил возникающих при чистовой обработке, допускает рассмотреть величины сил, возникающих на кромке 12,

при условии $b \rightarrow B$. [1]

Результирующая сила стружкообразования направлена под углом действия ω к скорости резания и определена через касательную силу в плоскости сдвига P_τ и определяется выражением:

$$R_C = \frac{P_\tau}{\sin(\beta) \cos(\beta + \omega)} = \frac{\tau_{pab}}{\sin(\beta) \cos(\beta + \omega)}, \quad (1)$$

где: τ_P - касательные напряжения в плоскости сдвига.

В результате для вычисления касательной и нормальной составляющих силы на передней поверхности инструмента, определяются из геометрических соотношений:

$$F_1 = R_c \sin(\omega + \gamma); P_n = R_c \cos(\omega + \gamma)$$

Составляющие силы стружкообразования для осей Y и Z имеют вид:

$$R_{CZ} = R_C \cos \omega; R_{CY} = R_C \sin \omega \quad (2)$$

Используя результаты моделирования в работе [2], принимаем гипотезу, что максимальное значение контактного давления распределяется по всей режущей кромке одинаково, выражая через нормальную силу напряжения и площадь контакта:

$$\sigma_m = \frac{P_n(n_1+1)}{l_1 b}, \quad (3)$$

где: $n_1=1$ – показатель степени выражения для эпюры контактного давления; l_1 – длина контакта стружки.

Максимальное значение контактного напряжения распределяется по длине дуги AB и определяется глубиной подминаемого слоя $h \leq A$. Результирующая сила, действующая по всей длине дуги AB , определяется с помощью $P_m = \sigma_m b A B$, которая направлена под углом ψ к оси Y . При разложении результирующей силы вдоль осей Y, Z получаются выражения:

$$P_{mz} = P_m \sin \psi; P_{my} = P_m \cos \psi \quad (4)$$

Нормальная сила P_2 на площадке износа h_z определяется через площадь контакта и контактное давление, а касательная сила F_2 рассчитывается через средний коэффициент трения:

$$P_2 = \sigma_m h_z b; F_2 = P_2 f_{tr} \quad (5)$$

На изображенной схеме (рис. 5) лезвие зуба концевой фрезы оказывает силовое воздействие на обработанную поверхность по площадке износа, равно величиной h_z , по дуге режущей кромки – равномерно-распределённое контактное давление σ_m . Величина этого давления является одним из выходных параметров расчётного алгоритма. Из этого следует, что величина использована для моделирования деформаций листовых деталей.

Силы резания при концевом фрезеровании является отношение величин ширины и глубины резания на величины действующим на передней поверхности R_{cz} , дуге округления кромки P_{mz} и на задней поверхности зуба фрезы F_2 , которые являются одними из составляющих расчетных параметров является главной (тангенциальной) составляющей силы резания на цилиндрической части, которая определена суммированием по соответствующим направлениям сил:

$$P_{\text{общ}} = R_{cz} + P_{mz} + F_2 \quad (6)$$

Для вычисления оптимальных режимов резания при фрезеровании контура обшивки, будет рассчитано и смоделировано по трем фрезам, но с разной величиной подачи на зуб ($S_z=0.03;0.07\text{мм/зуб}$) и разным углом винтовой канавки ω° (таб. 1) и постоянным вращением шпинделя $n=12000 \text{ мин}^{-1}$, $z=2$.

Таблица 1- Экспериментальные данные

№	Ø	Глубина срезаемого слоя, мм	ω°	S_z		
1	8	1	45	0,03	0,05	0,07
2	5	1	45	0,03	0,05	0,07
3	5	1	0	0,03	0,05	0,07

Допустимое упрощение детали, построение сетки для обеспечения снижения времени расчёта представлено на рис.6.

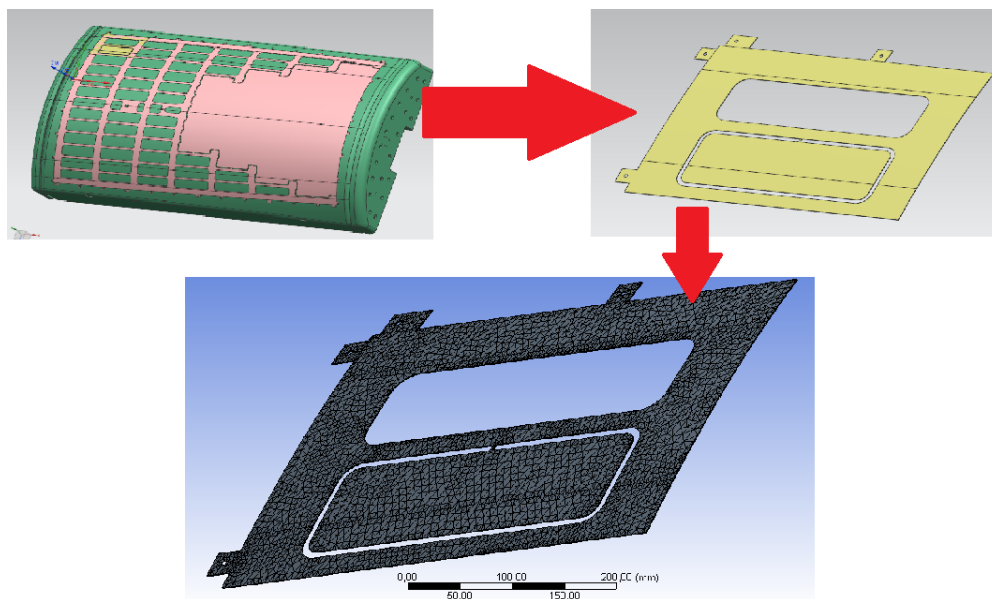


Рисунок 6 - Упрощение геометрии при подготовке к эксперименту

На рис. 7 представлены значения параметров материалов и граничных условий.

	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	2780	kg m ⁻³
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's M...	
5	Young's Modulus	7,31E+10	Pa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	6,0917E+10	Pa
8	Shear Modulus	2,8115E+10	Pa
9	Field Variables		
10	Temperature	Yes	
11	Shear Angle	No	
12	Degradation Factor	No	
13	Bilinear Isotropic Hardening		
14	Yield Strength	3,1E+08	Pa
15	Tangent Modulus	5E+08	Pa
16	Specific Heat	875	J kg ⁻¹ ...

Рисунок 7 - Исходные данные для проведения моделирования

Расчетные значения сил резания по зависимостям (1-9) представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные для моделирования

№	Величина глубины фрезерования t , мм	$\varnothing$	ω°	S_z	Нормальная сила на дуге округления кромки P_{mz} , Н	Нормальная сила на передней поверхности R_{Cz} , Н	Касательная сила на задней поверхности F_2 , Н
1	1	5	45	0,03	1,31	2,58	1,88
2				0,05	2,18	4,3	3,13
3				0,07	3,05	6,02	4,38
4	1	5	0	0,03	1,22	2,65	1,72
5				0,05	2,03	4,41	2,86
6				0,07	2,84	6,18	4,01
7	1	8	45	0,03	3,21	6,65	4,72
8				0,05	5,35	11,08	7,86
9				0,07	7,49	15,51	11,01

Занесение сил резания прикладываемых к срезу слою определяется по вектору направления каждой из сил. В результате формируется вектор результирующей силы, см. рис. 8.

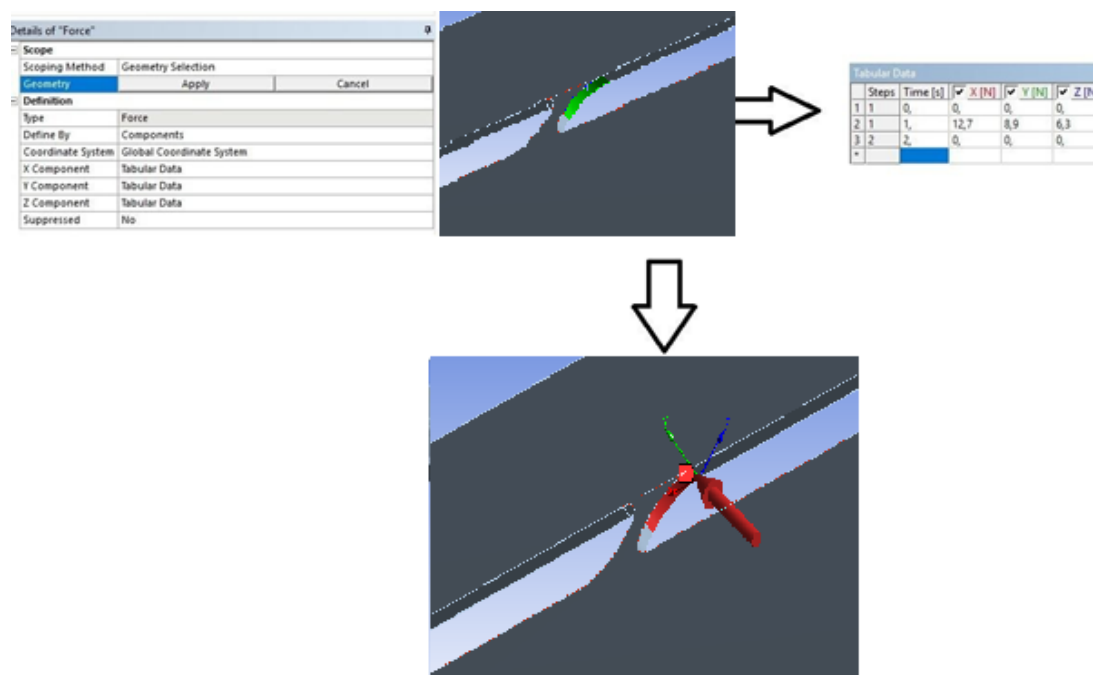


Рисунок 8 - Задание точек крепления детали и действия силы резания

Расчёт деформаций показал, что величины деформаций в некоторых случаях превышают условный предел текучести алюминиевого сплава 1163. Это приводит к пластическим деформациям, см. рис. 9

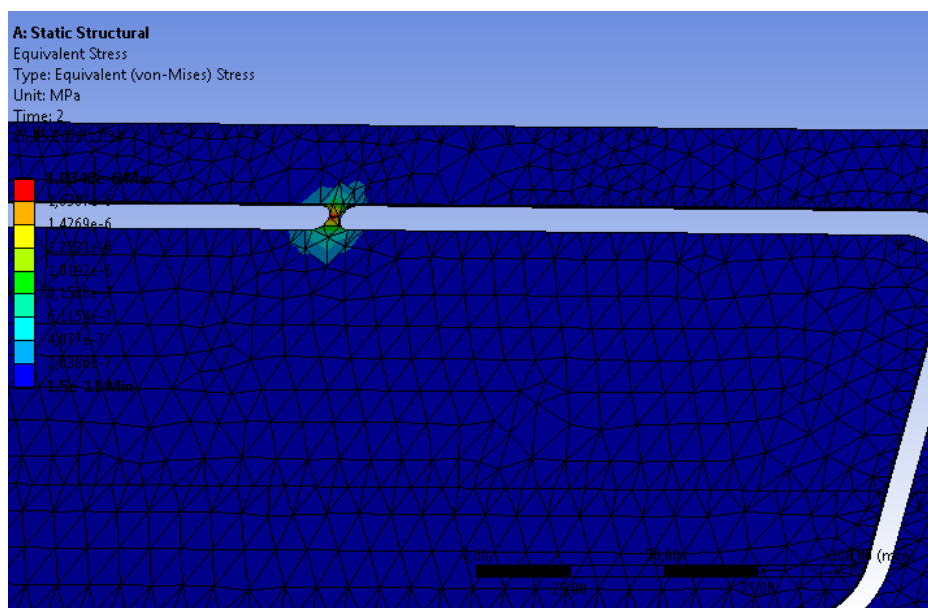


Рисунок 9 - Величины деформаций стенки детали в процессе резания

Результаты компьютерного моделирования были занесены в таблицу 3, в которой дополнительно приведены расчетные и экспериментальные величины упругих деформаций.

Таблица 3 - Результаты компьютерного, математического и натурного экспериментов

Номер эксперимента	Сила резания $P_{\text{общ}}$, Н	Максимальная величина деформаций Δ при компьютерном эксперименте, мм	Максимальная величина деформаций Δ при математическом эксперименте, мм	Максимальная величина деформаций Δ при натурном эксперименте, мм
1	5,77	0,00865	0,009809	0,00953
2	10,23	0,015345	0,017393	0,01624

3	13,45	0,020175	0,022865	0,020195
---	-------	----------	----------	----------

4	5,58	0,00837	0,009486	0,00856
5	9,3	0,01395	0,01581	0,01489
6	13,03	0,019545	0,022151	0,01987
7	14,58	0,02187	0,024786	0,02258
8	24,29	0,036435	0,041293	0,04216
9	34,01	0,051015	0,057817	0,05456

Заключение

Разработана методика расчёта сил при фрезеровании концевыми фрезами обшивки из сплава алюминия «1163».

Сформированная математическая модель позволяет определять допустимые значения пластических деформаций обрабатываемой детали. Получены зависимости влияния режимов резания на точность обрабатываемой детали, которые позволяют определять их оптимальные значения по критериям деформации детали и требуемой точности обработки.

Библиографический список

1. Грубый С.В., Зайцев А.М. Обоснование условий фрезерования карманов в корпусных деталях из алюминиевых сплавов/ *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон, журн.* Режим доступа: <http://engineering-science.ru/doc/709770.html> (дата обращения 19.02.2019).
2. Старков В.К. *Фишка и оптимизация резания материалов*. М.: Машиностроение, 2009.