

УДК 621.01(06)

А.Н. Михайлов, д-р техн. наук, проф., Т.Т. Аль-Судани, инженер-стажер,  
Д.А. Михайлов, вед. инженер, А.С. Долгих, аспирант  
Донецкий национальный технический университет, Украина  
Тел.: +38 (050) 6202396; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ И/ИЛИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФРЕЗ С ПЕРЕМЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ ПО ДЛИНЕ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ ЗУБА

*В работе показано, что одним из недостатков работы большинства фрез является неравномерные скорости резания по длине режущей кромки зуба, возникающие из-за особенностей их конструкции и эксплуатации. Вследствие неравномерных скоростей резания режущие кромки зубьев фрез изнашиваются неравномерно, что в целом снижает эксплуатационные параметры фрез. В данной статье приведены данные по повышению стойкости и/или производительности эксплуатации фрез с переменными скоростями резания по длине режущей кромки зубьев, которые основываются на обеспечении изменяющихся параметров свойств режущей кромки в зависимости от действующих эксплуатационных функций. Для предлагаемых фрез с переменными свойствами по длине режущих кромок зубьев разработаны принципы повышения стойкости и/или производительности на основе функционально-ориентированного подхода. Выполнен анализ особенностей повышения стойкости и производительности работы фрез на базе этих принципов и даны общие рекомендации по эксплуатации предлагаемых фрез.*

**Ключевые слова:** *неравномерная скорость резания, режущая кромка, фреза, функционально-ориентированный подход, стойкость, производительность.*

### Введение

Одним из недостатков эксплуатации большинства фрез [1, 2, 3] является наличие неравномерных скоростей резания по длине режущей кромки зуба [4], возникающие из-за особенностей их конструкции. В связи с возникающими неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев они изнашиваются неравномерно, обычно предельный износ режущих кромок происходит в зонах с максимальной скоростью резания, а именно, расположенных в самых дальних точках режущих кромок от оси вращения фрезы [4]. Неравномерность изнашивания режущих кромок зубьев фрезы приводит к следующему:

- снижается стойкость и производительность работы фрез, имеющих неравномерные скорости резания по длине режущих кромок зубьев;
- используется не полный, а только частичный потенциал работы режущих кромок зубьев и соответственно всей фрезы в целом.

На основании выполненного анализа особенностей работы фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев [4], для обеспечения равномерного износа режущих кромок зубьев фрезы, повышения стойкости и производительности работы фрезы, а также использования полного потенциала работы режущих кромок зубьев необходимо обеспечивать изменяющиеся свойства режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей действия эксплуатационных функций. Эти особенности, а именно изменяющиеся свойства режущей кромки зубьев фрезы могут быть реализованы на базе применения функционально-ориентированного подхода в обработке фрез

или применения принципа функциональной ориентации свойств режущей кромки в зависимости от действия эксплуатационных функций и реализации заданных изменяющихся местных технологических воздействий по режущей кромке [5].

Применение функционально-ориентированного подхода в обработке фрез имеющих переменную скорость резания по длине режущей кромке зуба обеспечивает равномерный износ режущей кромки, повышение стойкости и производительности фрез и использование полного потенциала работы режущей кромки зуба и фрезы в целом.

Целью данной работы является повышение стойкости и/или производительности работы фрезы за счет обеспечения равномерного износа режущей кромки по ее длине и использования полного потенциала ее работы путем обеспечения свойств режущей кромки зуба по ее длине в зависимости от особенностей эксплуатации и действующих функций.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи: предложить функциональную ориентацию свойств режущей кромки зуба в зависимости от особенностей ее эксплуатации и действующих функций; разработать принципы повышения стойкости и/или производительности работы фрезы в условиях изменяющейся скорости резания по длине режущей кромки зуба: предложить варианты обеспечения изменяющихся свойств по длине режущей кромки зуба; выполнить анализ особенностей работы предлагаемых фрез.

### **Методы обеспечения изменяющихся свойств режущим кромкам зубьев фрезы**

Процесс обеспечения изменяющихся свойств по длине режущих кромок зубьев фрезы в данной работе планируется выполнить на базе функционально-ориентированного подхода [5]. Для решения этого вопроса целесообразно использование двух принципов функционально-ориентированных технологий, а именно [5]:

1. Функционального соответствия особенностей действия элементарной функции в каждом функциональном элементе изделия, характеристик реализации технологических воздействий и параметров обеспечения необходимых свойств этом функциональном элементе изделия на каждом уровне глубины технологии.

2. Топологического соответствия геометрических параметров функционального элемента изделия, в котором действует элементарная функция при эксплуатации, геометрическим параметрам зонального элемента реализации технологических воздействий потоков материи, энергии и информации на изделие и геометрических параметров зонного элемента обеспечения необходимых свойств на каждом уровне глубины технологии.

Первый принцип ориентации технологических воздействий и свойств изделия в соответствии с действующей функцией можно математически представить следующими тремя отображениями (преобразованиями) [5]:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{11} : F &\rightarrow TB ; \\ \varphi_{12} : TB &\rightarrow C ; \\ \varphi_{13} : C &\rightarrow F , \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\varphi_{11}$  - отображение (преобразование) эксплуатационной функции  $F$  изделия в технологические воздействия  $TB$  ;

$\varphi_{12}$  - отображение (преобразование) технологических воздействий  $TB$  в свойства  $C$  изделия;

$\varphi_{13}$  - отображение (преобразование) свойств  $C$  в технологические воздействия  $TB$ .

Следует иметь в виду, что представленная система отображений (1) имеет замкнутую форму, поэтому решение этих уравнений может быть выполнено на основании итерационных методов последовательного приближения с использованием множества рекуррентных циклов.

При этом второй принцип ориентации можно описать следующими тремя отображениями (преобразованиями):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{21} : G(F) &\rightarrow G(TB); \\ \varphi_{22} : G(TB) &\rightarrow G(C); \\ \varphi_{23} : G(C) &\rightarrow G(F), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $\varphi_{21}$  - отображение (преобразование) геометрических параметров зоны действия эксплуатационной функции  $G(F)$  изделия в геометрические параметры зоны реализации технологических воздействий  $G(TB)$ ;

$\varphi_{22}$  - отображение (преобразование) геометрических параметров зоны реализации технологических воздействий  $G(TB)$  в геометрические параметры зоны обеспечения свойств  $G(C)$  изделия;

$\varphi_{23}$  - отображение (преобразование) геометрических параметров зоны обеспечения свойств  $G(C)$  в геометрические параметры зоны действия эксплуатационной функции  $G(F)$  изделия.

Можно отметить, что обеспечение изменяющихся свойств режущих кромок фрезы можно выполнять различными методами. Рассмотрим некоторые варианты создания изменяющихся свойств режущих кромок фрезы.

На рис. 1. представлены схемы обеспечения переменных свойств режущей кромке зуба фрезы в зависимости от следующих параметров: рис. 1,а – изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии; рис. 1,б – изменяющихся свойств материала заготовки по ее высоте; рис. 1,в - изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии и по ее высоте; рис. 1,г – обеспечения местных переменных технологических воздействий по длине режущей кромки зуба. Здесь показано: 1 - заготовка (показано условно), 2 – фреза, 3 – зуб фрезы.

Здесь можно отметить, что за счет первых трех схем выполняется реализация изменяющихся свойств режущей кромки за счет обеспечения переменных свойств материала заготовки (рис. 1, а, б, в). За счет наличия переменных свойств по объему материала заготовки, в процессе изготовления фрезы, автоматически образуются переменные свойства режущих кромок зубьев фрезы по их длине. В этих схемах изменяющиеся свойства материала заготовки выполняются трех вариантов, а именно рис. 1,а - свойства заготовки изменяются от продольной оси к ее периферии. Такие свойства заготовки могут быть получены с применением специальных технологий. Свойства заготовки в соответствии с рис. 1,б изменяются по высоте заготовки. Они могут быть получены, например, при изготовлении заготовки методом электрошлакового переплава с добавлением, по мере осевого перемещения кристаллизатора, изменяющегося количества

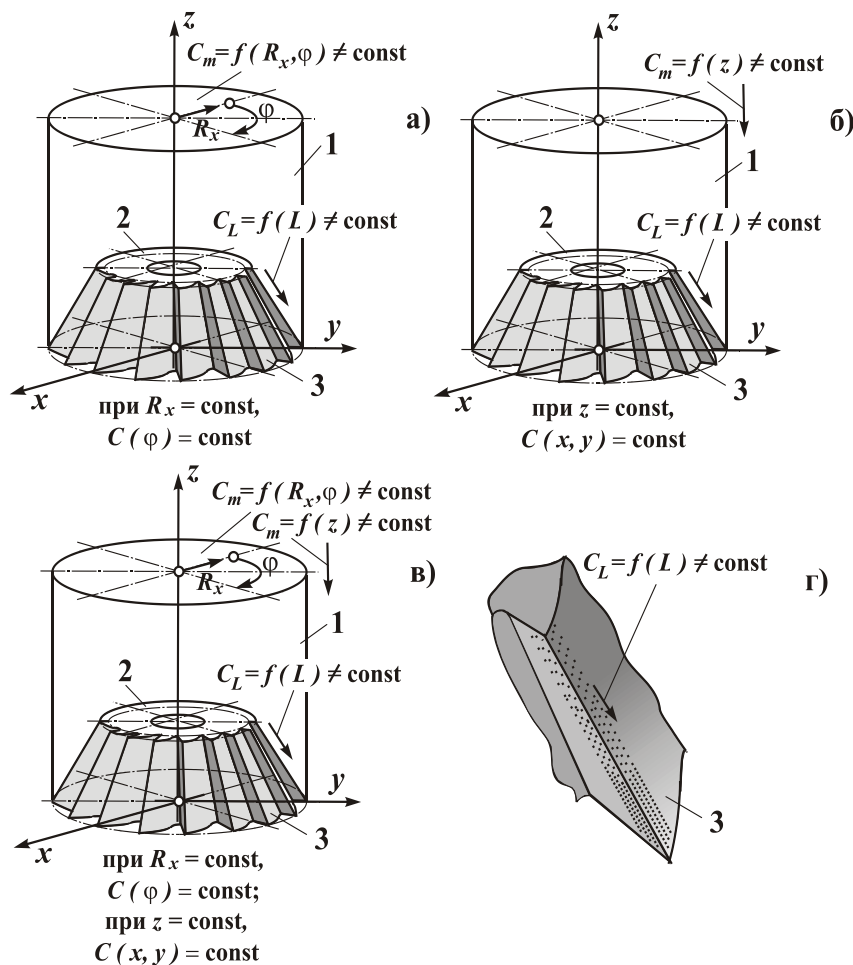


Рис. 1. Схемы обеспечения переменных свойств режущей кромке зуба фрезы в зависимости от следующих параметров: **а** – изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии; **б** – изменяющихся свойств материала заготовки по ее высоте; **в** - изменяющихся свойств материала заготовки от центра к периферии и по ее высоте; **г** – обеспечения местных переменных технологических воздействий по длине режущей кромки зуба

мере здесь изменяется радиус режущего клина по длине режущей кромки зуба фрезы. А также за счет этих неравномерных технологических воздействий обеспечиваются неравномерные свойства материала посредством изменяющейся степени поверхностно-пластической деформации материала режущей кромки зубьев фрезы.

Таким образом, приведенные схемы позволяют обеспечивать переменные свойства режущей кромки зуба фрезы в зависимости от эксплуатационных особенностей действия функций по длине режущей кромки. А это создает возможность решать вопросы повышения стойкости и/или производительности фрез, имеющих переменные скорости резания по длине режущей кромки зубьев.

Можно отметить, что реализация переменных свойств по длине режущей кромки зуба фрезы создает нетрадиционные особенности эксплуатации таких фрез, а также

легирующих элементов. Третья схема (рис. 1,в) это комбинация способов первых двух схем.

В четвертой схеме (рис. 1,г) обеспечение изменяющихся свойств режущей кромки зубьев фрезы выполняется за счет

технологических методов, а именно комбинации абразивной обработки и поверхностно-пластической деформации поверхностного слоя режущей кромки зубьев фрезы. Посредством неравномерных

технологических воздействий по длине режущей кромки фрезы при пневмоструйной абразивной обработке режущей кромки обеспечиваются переменные геометрические параметры режущего клина по длине кромки зуба фрезы. В большей

условия назначения параметров их стойкости и производительности. Рассмотрим более детально эти особенности.

### Особенности эксплуатации фрез с переменными свойствами режущих кромок

Можно отметить, что фрезы с переменными свойствами режущих кромок зубьев имеют определенные особенности эксплуатации. К основным особенностям можно отнести следующее.

Прежде всего, главным в эксплуатации фрез имеющих переменные скорости резания по длине режущих кромок зубьев с изменяющимися свойствами режущих кромок в зависимости от действующих эксплуатационных функций является то, что появляется возможность повышения производительности и стойкости фрез за счет следующих особенностей:

- за счет выравнивания износа режущих кромок по их длине при переменных скоростях резания по длине режущей кромки зубьев фрезы;
- за счет полного использования режущего потенциала режущих кромок зубьев по их длине;
- за счет снижения в целом износа режущих кромок и повышения их стойкости.

Здесь следует отметить, что для стандартных фрез из-за неравномерных скоростей резания по длине режущей кромки обычно происходит частичный износ режущей кромки в зоне с максимальной скоростью резания. Это происходит вследствие того, что здесь преобладает абразивный и окислительный износ материала режущей кромки зубьев фрезы. При этом адгезионный износ поверхностного слоя прилегающего к режущей кромке в зонах с меньшей скоростью резания для предлагаемых фрез снижается посредством специальных технологических решений, а именно комбинированной об-

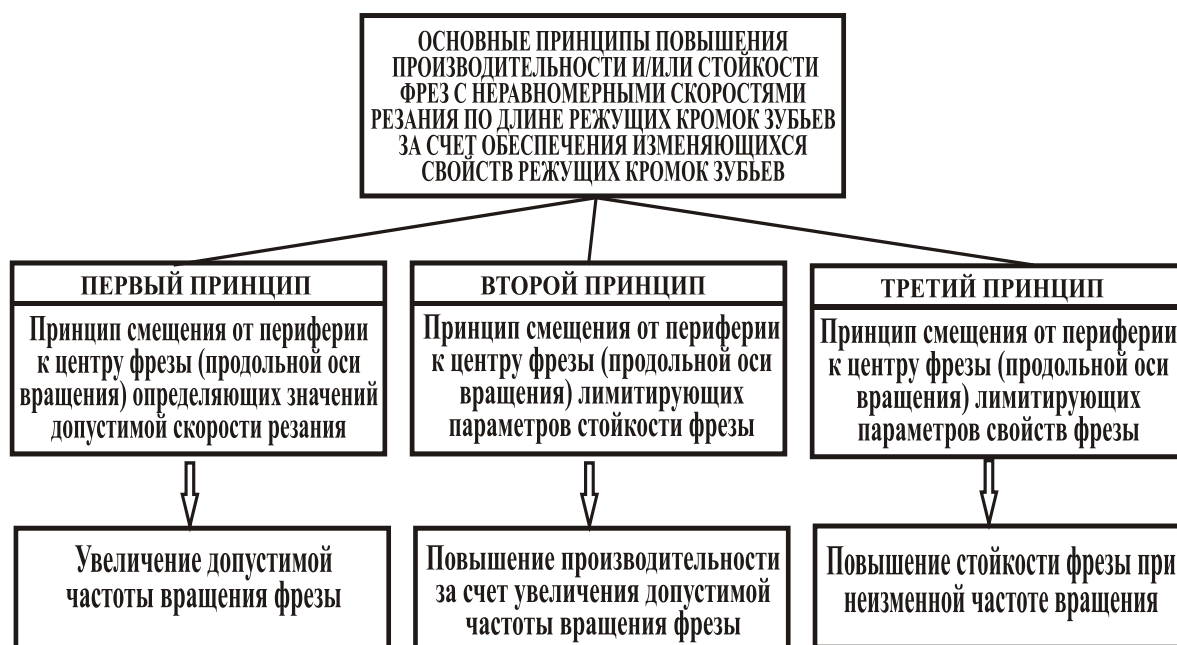


Рис. 2. Основные принципы повышения производительности и/или стойкости фрез с неравномерными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев

работки с обеспечением специальных микроволнистых полированных поверхностей.

Можно заметить, что для фрез имеющих изменяющиеся свойства по длине режущих кромок зубьев повышение производительности и стойкости фрезы можно вести на базе следующих принципов (рис. 2):

- первый принцип – принцип смещения от периферии к центру фрезы (продольной оси вращения) определяющих значений допустимой скорости резания;
- второй принцип – принцип смещения от периферии к центру фрезы (продольной оси вращения) лимитирующих параметров стойкости фрезы;
- третий принцип – принцип смещения от периферии к центру фрезы (продольной оси вращения) лимитирующих параметров свойств фрезы.

Заметим, что реализация этих принципов возможна только с применением фрез имеющих изменяющиеся свойства режущих кромок от периферии к центру в зависимости от действующей на режущей кромке переменной скорости резания.

На базе первого принципа обеспечивается возможность увеличения допустимой частоты вращения фрезы. Это обусловлено тем, что для стандартных фрез лимитирующая частота вращения определяется по максимальной скорости резания фрезы, возникающей на периферии фрезы. Для предлагаемых фрез, имеющих изменяющиеся свойства режущей кромки в зависимости от скорости резания, появляется возможность в обеспечении такой же скорости резания как у стандартных фрез, но с ориентиром не на периферию лимитирующих параметров скорости резания, а уже ближе к центру, что дает возможность увеличить частоту вращения фрезы. Поэтому здесь происходит как бы «смещение» определяющих значений допустимой скорости резания.

За счет второго принципа реализуется возможность повышения производительности обработки фрезами с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев. В этом случае свойства режущей кромки должны быть обеспечены в зависимости от изменяющейся скорости резания по ее длине. Поэтому здесь повышение производительности работы таких фрез выполняются за счет увеличения допустимой частоты вращения фрезы, а именно за счет смещения от периферии к центру фрезы лимитирующих параметров стойкости фрезы.

На основе третьего принципа обеспечивается возможность повышения стойкости фрезы при частоте их вращения, аналогичной величине частоты вращения стандартных фрез. В этом случае повышение стойкости фрез выполняется за счет смягчения режимов резания фрез с новыми свойствами режущих кромок зубьев. Это выполняется за счет смещения от периферии к центру фрезы лимитирующих параметров свойств режущей кромки зуба фрезы.

В табл. 1 представлены эксплуатационные особенности фрез с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев. Здесь изменяющиеся свойства рассматриваются со следующими параметрами:

- изменяющаяся геометрия режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки;
- изменяющиеся свойства материала режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки.

Процесс обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев предусмотрено выполнять технологическими методами посредством следующих операций:

- за счет пневмо-струйного абразивного резания с изменением длительности обработки по длине режущей кромки;
- за счет пневмо-струйного наклепа поверхностного слоя с изменением длительности обработки по длине режущей кромки.

Также можно заметить, что для повышения качества работы фрез дополнительно необходимо выполнять целый комплекс различных технологических операций [4]. В том числе особенно важным моментом является сохранение изменяющейся геометрии режущей кромки по ее длине. Это обусловлено тем, что в процессе резания предлагаемая геометрия режущей кромки изменяется, что ведет к снижению стойкости фрез. Решение этих вопросов в данной работе выполнялось за счет вакуумных ионно-плазменных покрытий, например TiN, TiAlN, (Ti, Cr) N и других сверхпрочных покрытий.

Таблица 1. Эксплуатационные особенности фрез с изменяющимися свойствами режущих кромок зубьев

№ п/п	Обеспечение	Процесс	Принципы	Возможности	Результаты
1	Изменяющаяся геометрия режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки	За счет пневмо-струйного абразивного резания с изменением длительности обработки по длине режущей кромки	Первый принцип	Увеличение допустимой частоты вращения фрезы	1. Обеспечение равномерного износа режущей кромки по длине зуба фрезы.  2. Достижение полного потенциала использования режущих кромок по их длине.
			Второй принцип	Повышение производительности обработки	
2	Изменяющиеся свойства материала режущей кромки по ее длине в зависимости от особенностей изменения скорости резания по длине режущей кромки	За счет пневмо-струйного наклепа поверхностного слоя с изменением длительности обработки по длине режущей кромки	Третий принцип	Повышение стойкости фрезы при неизменной частоте вращения	3. Снижение износа режущих кромок зубьев фрезы

### Заключение

Таким образом, в данной работе предложено для повышения стойкости и/или производительности фрез имеющих переменные скорости резания по длине режущих кромок зубьев выполнять за счет функциональной ориентации свойств режущих кромок зубьев в зависимости от особенностей их эксплуатации и действующих функций.

Для предлагаемых фрез с переменными свойствами режущих кромок зубьев разработаны принципы повышения стойкости и/или производительности их работы в условиях изменяющейся скорости резания по длине режущей кромки зубьев. А также здесь приведены технологические методы обеспечения изменяющихся свойств режущих кромок зубьев фрезы.

А также в работе рассмотрены некоторые варианты обеспечения изменяющихся свойств по длине режущей кромки зубьев фрезы и выполнен анализ особенностей работы предлагаемых фрез.

В целом выполненные исследования позволяют создавать фрезы с нетрадиционными свойствами, обеспечивающими повышение производительности и/или стойкости инструмента с переменными скоростями резания по длине режущей кромки.

#### Список литературы:

1. Справочник инструментальщика / [И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.
2. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / [А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
3. Боровский Г.В. Справочник инструментальщика / Г.В. Боровский, С.Н. Григорьев, А.Р. Маслов; под общ. ред. А.Р. Маслова. – М.: Машиностроение, 2005. – 464 с.
4. Технологическое обеспечение повышения стойкости фрез с переменными скоростями резания по длине режущих кромок зубьев / [Т.Т. Аль-Судани, Д.А. Михайлов, Е.А. Михайлова, и др.] // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – 2012. – Вип. 1, 2 (43). – С. 24 - 36.
5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий / А.Н. Михайлов. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.

Надійшла до редакції 14.01.2013.

**О.М. Михайлов, Т.Т. Аль-Судани,  
Д.О. Михайлов, А.С. Долгих**  
**МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ І/АБО  
ПРОДУКТИВНОСТІ ФРЕЗ ЗІ ЗМІННИМИ  
ШВИДКОСТЯМИ РІЗАННЯ ПО ДОВЖИНІ  
РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ЗУБА**

*У роботі показано, що одним з недоліків роботи більшості фрез є нерівномірні швидкості різання по довжині різальної кромки зуба, що виникають через особливості їх конструкції і експлуатації. Внаслідок нерівномірних швидкостей різання різальні кромки зубів фрез зношуються нерівномірно, що в цілому знижує експлуатаційні параметри фрез. У цій статті приведені дані по підвищенню стійкості і/або продуктивності експлуатації фрез зі змінними швидкостями різання по довжині різальної кромки зубів, які ґрунтуються на забезпеченні параметрів властивостей різальної кромки, що змінюються, залежно від діючих експлуатаційних функцій. Для пропонуваніх фрез зі змінними властивостями по довжині різальних кромок зубів розроблені принципи підвищення стійкості і/або продуктивності на основі функціонально-орієнтованого підходу. Виконано аналіз особливостей підвищення стійкості і продуктивності роботи фрез на базі цих принципів і дані загальні рекомендації по експлуатації пропонуваніх фрез*

**Ключові слова:** *нерівномірна швидкість різання, різальна кромка, фреза, функціонально-орієнтований підхід, стійкість, продуктивність*

**A.N. Mikhailov, T.T. Al-Sudani,  
D.A. Mikhailov, A.S. Dolгих**  
**METHODS OF INCREASING RESISTANCE  
AND / OR PRODUCTIVITY OF CUTTER  
WITH VARIABLE SPEED CUTTING IN CUT-  
TING EDGE LENGTH TOOTH**

*The paper shows that one of the shortcomings of most mills is non uniform velocities along the cutting edge of the tooth resulting from their construction and operation. By uneven cutting speed cutting edges of the teeth cutters wear unevenly, which generally lowers the operating parameters cutters. This article presents data on increasing stability and / or performance of mills operating with variable cutting speed along the edge of the teeth, which are based on the changing values of properties securing the cutting edge, depending on the existing operational functions. For the proposed mill with variable properties along the cutting edges of the teeth we developed principles to increase the resistance and / or performance based on the function-oriented approach. The analysis of the characteristics of high resistance and productivity of mills on the basis of these principles was performed, and general recommendations on the proposed operation of mills are given.*

**Keywords:** *non-uniform cutting speed, the cutting edge, cutter, function-oriented approach, durability, productivity*