

## Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-35-51>

## Повышение эффективности зубофрезерования путем создания сборных фрез со сменными режущими твердосплавными пластинами

Е. В. Артамонов<sup>1</sup>, В. В. Киреев<sup>1</sup>, В. А. Зырянов<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,  
ул. Володарского, 38, г. Тюмень 625000, Российская Федерация

✉ e-mail: zyrjanovva@tyuiu.ru

### Резюме

На сегодняшний день при обработке червячными фрезами отечественного производства по ГОСТ 9324-80 возникает проблема в их стойкости на этапе черновой обработки. Российскими инструментальными фирмами, которые занимаются производством металлорежущего инструмента, в настоящее время не предлагается сборного червячного инструмента с режущими элементами из инструментального твердого сплава для механической обработки крупномодульных зубчатых колес.

**Цель исследования:** создание сборных конструкций для машиностроительных предприятий со сменными режущими твердосплавными пластинами (СРТП). Благодаря этому в несколько раз повышается производительность уже имеющегося на предприятии оборудования, экономическая эффективность от внедрения качественного металлорежущего инструмента позволяет закупить современное оборудование и сделать работу операторов станков на машиностроительных предприятиях более эффективной и менее трудоемкой.

**Методы.** Методом исследования является применение графического имитационного моделирования, позволяющего определить величину площадей поперечного сечения срезаемого слоя для режущих элементов червячного инструмента.

**Результаты.** В данной работе предлагается принципиально новое техническое решение, позволяющее повысить эффективность механической обработки зубчатых колес металлорежущим инструментом, с расположением сменных режущих твердосплавных пластин в сборном исходном контуре производящей рейки в червячных фрезах. Повышение эффективности обработки будет достигаться реализацией групповой схемы резания в сборной червячной фрезе путем применения большего количества основных и боковых режущих твердосплавных пластин на архимедовом инструментальном червяке, позволяющих последовательно срезать припуск на обработку и уменьшить величину подачи на режущую пластину, обеспечить равномерность фрезерования на всем этапе обработки, а также снизить величину ударных нагрузок на режущие твердосплавные элементы сборного инструмента.

**Заключение.** Применение сменных твердосплавных пластин при групповой схеме резания повышает стойкость и надежность сборной червячной фрезы.

**Ключевые слова:** фрезерование; твердые сплавы; сборные фрезы; прогрессивная схема резания; напряжения в режущих элементах.

**Для цитирования:** Артамонов Е. В., Киреев В. В., Зырянов В. А. Повышение эффективности зубофрезерования путем создания сборных фрез со сменными режущими твердосплавными пластинами // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(1): 35-51. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-1-35-51>.

Поступила в редакцию 25.11.2019

Подписана в печать 09.12.2019

Опубликована 21.02.2020

© Артамонов Е. В., Киреев В. В., Зырянов В. А., 2020

## Improving Gear Milling Efficiency by Creating Prefabricated Cutters with Replaceable Cutting Carbide Plates

Evgeny V. Artamonov <sup>1</sup>, Vitaly V. Kireev <sup>1</sup>, Vitaly A. Zyryanov <sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Industrial University of Tyumen  
38 Volodarskogo str., Tyumen 625000, Russian Federation

✉ e-mail: zyrjanovva@tyuiu.ru

### Abstract

Today, when machining domestic-made worm milling cutter according to GOST 9324-80, a problem arises in their durability at the roughing stage. Russian tool companies engaged in the manufacture of metal cutting tools do not currently offer prefabricated worm tools with cutting elements made of hard alloy tools for machining large-modular gears.

**Purpose of research.** Creation of prefabricated structures for machine-building enterprises with replaceable cutting carbide plates (RCHAP). Due to this, the productivity of equipment already available at the enterprise is increased several times, the economic efficiency of introducing high-quality metal-cutting tools makes it possible to purchase modern equipment and make the work of machine operators at machine-building enterprises more efficient and less time-consuming. In this paper, we propose a fundamentally new technical solution, which makes it possible to increase the efficiency of machining gears with a metal-cutting tool, with the arrangement of replaceable carbide cutting plates in the prefabricated initial contour of the manufacturing rail in worm milling cutters

**Methods.** The research method is the use of graphic simulation, which allows you to determine the size of the cross-sectional area of the cut layer for the cutting elements of the worm tool.

**Results.** Improving the processing efficiency will be achieved by implementing a group cutting scheme in a prefabricated worm milling cutter by using a larger number of main and side carbide cutting inserts on an Archimedean tool worm, which allow sequentially cutting the machining allowance and reducing the feed rate to the cutting insert, to ensure milling uniformity throughout the processing stage, and also reduce the magnitude of shock loads on cutting carbide elements of a precast tool.

**Conclusion.** The use of replaceable carbide plates in a group cutting scheme increases the durability and reliability of a precast worm cutter.

**Keywords:** milling; hard alloys; prefabricated cutters; progressive cutting pattern; stresses in cutting elements.

**For citation:** Artamonov E.V., Vasil'yev D. V., Chernyshov M.O. Improving Gear Milling Efficiency by Creating Prefabricated Cutters with Replaceable Cutting Carbide Plates. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudar-stvennogo universiteta* = *Proceedings of the Southwest State University*. 2020, 24(1): 35-51 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-24-1-35-51>.

Received 25.11.2019

Accepted 09.12.2019

Published 21.02.2020

\*\*\*

### Введение

В настоящее время при обработке червячными фрезами отечественного производства по ГОСТ 9324-80 возни-

кает проблема в их стойкости на этапе черновой обработки, а для дальнейшей чистовой требуется перетачивание инструмента. Выходом из сложившейся ситуации может быть:

- применение зарубежных аналогов из быстрорежущих или твердосплавных материалов с измененной геометрией режущей части для обеспечения необходимого числа переточек;

- диагональное фрезерование на станках с числовым программным управлением;

- применение сборных червячных фрез российского производителя с оптимальными режимами обработки.

В зависимости от требуемой точности изготовленных зубчатых колес и типа производства применяется четыре вида фрез:

- монолитные со шлифовальным профилем;

- сборные фрезы с рейками;

- затылованные фрезы повышенной точности с нешлифованным профилем;

- фрезы червячные твердосплавные;

Производители металлорежущего инструмента выпускают различную номенклатуру червячных фрез различных конструкций и с разными техническими характеристиками, определяющими назначение фрезы и область ее применения:

- а) исходный контур – эвольвентный и неэвольвентный;

- б) конструкция – монолитные, составные, сборные.

В соответствии с ГОСТ 9224-80 сборные фрезы с поворотными рейками в отличие от цельных стандартных червячных фрез изготавливаются насадными, со вставными режущими рейками и расположены параллельно оси кор-

пуса инструмента. Таких групп можно выделить одиннадцать.

1. По назначению – чистовые, получистовые, черновые.

2. По виду последующей обработки – шевингование и шлифование.

3. По направленности винтовой линии – левые, правые.

4. По количеству заходов – однозаходные, двухзаходные, трехзаходные, многозаходные.

5. По рабочей длине инструмента – короткие, длинные.

6. По величине переднего угла ( $\gamma$ ) – положительный, отрицательный, нулевой.

7. По виду материала (инструментального) режущей части – твердосплавные, быстрорежущие.

8. По конструкции корпуса инструмента – одноразовый, многоразовый.

9. По наличию износостойкого покрытия – однослойное, многослойное, покрытие отсутствует.

10. По форме производящего контура – модифицированный (прогрессивная, вершино-нагруженная, раздельная схема резания), стандартный.

11. По способу изготовления стружечной канавки – прямолинейные, винтовые.

При черновом фрезеровании зубчатых колес большого диаметра возникают большие силы резания, и первый зуб на входной части фрезы оказывается перегруженным вследствие образования толстой стружки. Для измерения этих сил в процессе зубообработки раз-

личными учеными было предложено несколько способов:

- способ уравнивания;
- способ торможения;
- способ пластических деформаций;
- способ анализа потребляемой мощности станка;
- способ измерений упругих деформаций тензометрическими датчиками.

Проведены многочисленные исследования и в результате выполненных работ учеными намечено несколько направлений, направленных на повышение стойкости инструмента и увеличения его производительности<sup>1</sup> [1-6].

Использование червячных фрез с оптимальным значением передних и задних углов будет способствовать повышению стойкости инструмента при зубообработке. Величины передних углов у червячных затылованных фрез обычно варьируются 0-5 градусов, задние углы – 10-12 градусов. Значение небольших передних углов не может обеспечить высокую стойкость фрез. Поэтому увеличение величины передних углов до 10-15 градусов способно повысить стойкость инструмента, однако снижается прочность зубьев червячного инструмента. Также для повышения стойкости возможно повысить ве-

личину задних углов на боковых участках режущих кромок фрез.

Однако существенно увеличить величину задних углов у затылованных фрез не представляется возможным, так как это приведет к образованию сколов и, тем самым, снизит прочность инструмента. Также эффективным средством повышения стойкости фрез является использование всей ее рабочей длины, чтобы износ инструмента был равномерным. Обычно наибольшему износу подвергаются последние два-четыре режущих зуба на одном витке, которые производят обработку впадины зубчатых колес. Другие режущие зубья, располагающиеся ближе к осевому перпендикуляру, подвергаются износу в меньшей степени. Поэтому осуществляют осевые перемещения инструмента на один или два витка для повышения стойкости фрез до снятия инструмента со станка. В данном случае стойкость инструмента повышается в 1,5 раза. На многих предприятиях осуществляется автоматическое передвижение фрез на пять-семь витков, что позволяет увеличить срок службы в 4-6 раз.

Эффективным средством повышения стойкости является механическая обработка зубчатых колес с одновременным применением разных видов подач инструмента, что реализуемо при диагональном фрезеровании. Применение данного метода позволяет помимо вертикальной подачи обеспечивать подачу инструмента вдоль его оси, с целью обработки всей рабочей частью

<sup>1</sup> Ничков А.Г. Основы комплексного исследования процесса зубофрезерования и оптимизации его конструктивных и технологических параметров в простых и комбинированных схемах нарезания зубчатых колес червячными фрезами: дис. ... д-ра техн. наук. Свердловск, 1991. 566 с.

червячной фрезы. Этот метод позволяет достичь равномерного износа по всей длине инструмента и увеличить стойкость фрез в 3 раза по сравнению с осевыми перемещениями и понизить шероховатость поверхности зубьев колеса.

Зубофрезерование с наибольшей величиной подачи и максимальными толщинами срезаемых слоев позволяет существенно повысить производительность червячных фрез при любых способах зубофрезерования. Увеличение толщин срезаемых слоев также возможно с применением многозаходного инструмента. Применение многозаходных фрез при обработке зубчатых колес по сравнению с однозаходными при их одинаковой стойкости позволяет существенно повысить производительность. Но чаще всего многозаходные фрезы рекомендуют применять при обработке зубчатых колес небольших модулей, с числом зубьев больше 16, с обеспечением небольших слоев срезаемого слоя. За рубежом в производстве очень часто при обработке зубчатых колес малого модуля используются 2 – 6 заходные червячные фрезы. Однако как и любой инструмент многозаходные фрезы имеют и свои недостатки. Фрезы имеют меньшее число режущих кромок, обеспечивающих профилирование зубчатого колеса, что влечет за собой вероятность возникновения погрешностей профиля и нежелательной шероховатости после обработки. В прямой пропорциональности заходности фрезы происходит увеличение угла подъема винтовой линии, что тоже приводит к по-

грешностям на эвольвентном профиле зубчатого колеса. Поэтому применение многозаходных фрез не рекомендуется, а иногда и невозможно при чистовом зубофрезеровании и применяется в большинстве случаев только при черновой обработке.

Не стоит забывать о важном моменте – о виде направления подачи при фрезеровании. Многие исследователи в данной области этой проблемы отмечают, что попутный вид зубофрезерования существенно снижает износ по задней поверхности зубьев фрезы. Зубообработка с попутной подачей при одинаковой стойкости инструмента позволяет работать на скоростях на 20-40% выше по сравнению со встречной подачей, что приводит к повышению точности обработки зубчатых колес, снижается шероховатость эвольвентного профиля колеса и станок испытывает меньшие нагрузки. Фрезерование с попутной подачей влечет за собой перераспределение нагрузки на режущие зубья инструмента. Так как режущие кромки при таком виде обработки срезают достаточно тонкие и длинные слои, что существенно отличается от получаемых слоев при встречной подаче. А уменьшение толщин срезаемых слоев и величины их площадей приводит к уменьшению сил резания и величины износа инструмента<sup>1</sup> [7-11].

<sup>1</sup> Николаев В.К. Сравнительное исследование попутного и встречного фрезерования прямозубых колес червячной фрезой: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Куйбышев, 1960. 18 с.

Исследования, проведенные А.И. Бетанели, показали изменяемость возникающих напряжений в зубе червячного инструмента при встречном, попутном и симметричном виде фрезерования. При встречном виде фрезерования зубья инструмента начинают обработку с нулевой толщины среза и в конце достигает максимальной величины. С увеличением толщины срезаемого слоя нейтральная линия перемещается вглубь режущей части [12], в зоне выхода инструмента возникает наибольшая область напряжений растяжения, и скалывание происходит без удара. Поэтому предельные толщины срезаемого слоя имеют максимальное значение. При попутном виде фрезерования, зуб начинает обработку с максимальной толщиной среза и врезание происходит с ударом. В этот момент врезания в режущей части инструмента величина напряжений растяжения будет максимальной, что приводит к скалыванию в момент начального врезания. А предельные толщины среза имеют максимальное значение. При повышении скорости резания предельные толщины срезаемых слоев при зубофрезеровании увеличиваются и при определенных значениях становятся больше, чем при токарной обработке.

Ткемиладзе Г.Н., Тотчиев Ф.Г., Лоладзе Т.Н. при исследованиях методом фотоупругости напряженно-деформированного состояния в режущем клине инструмента было установлено соответствие главных напряжений растяже-

ний  $\sigma_1$  при различных схемах процесса резания.

Исследования показали, что методы обработки строганием и попутным фрезерованием  $\sigma_1$  в 1,4 – 1,6, при встречном фрезеровании в 1,7 – 1,8 раза выше, чем при методе обработки точением. Согласно этому рекомендуют уменьшать на 25 – 35% для строгания, попутного фрезерования предельные толщины среза, и на 40% – для встречного фрезерования, как показано на рис. 3, по сравнению с точением [13].

Все вышеперечисленные методы повышения производительности зубообработки зубчатых колес происходят без изменения схемы резания. Схема резания стандартного червячного инструмента несовершенна и отличается низкой производительностью. Основным ее недостатком является неравномерное загрузке режущих элементов по винтовой линии. Зуб, который удален от межосевого перпендикуляра, срезает большие слои по сравнению с другими. При приближении к межосевому перпендикуляру зубья инструмента срезают слои меньшие по размеру.

При увеличении величины подачи в процессе обработки зубчатых колес начинают работать удаленные зубья, срезающие наибольшие срезаемые слои. Считается, что лимитом величины подачи будет является прочность крайнего, наиболее загруженного зуба червячной фрезы, и если все зубья загрузить равномерно и часть нагрузки с крайних

распределить на другие зубья, которые располагаются ближе к центральному зубу, то червячный инструмент способен работать на больших подачах. Данные исследования доказали, что червячные фрезы с распределенной нагрузкой на режущие зубья могут работать на подачах до 20-25 мм/об, тем самым сократить время на обработку зубчатых колес [14]. Но и такие червячные фрезы имеют свои существенные недостатки:

- профиль зуба инструмента будет зависеть от модуля и числа зубьев обрабатываемого колеса, а также от значения подачи, на которых будет происходить обработка;

- в качестве образующей инструмента будет являться кривая: эллиптическая или парабола, что будет вносить трудности при проектировании и изготовлении фрезы;

- при работе на больших подачах на обработанной поверхности будут оставаться следы волнистостей и гребешков, что приведет к искажению эвольвентного профиля инструмента по высоте зуба;

- эффективность инструмента будет снижена из-за невозможности производить осевые перемещения, что повлияет на эксплуатационные качества фрезы;

- при зубообработке будет высокая деформация стружки как у стандартных червячных фрез из-за того, что режущие кромки будут срезать слои и образовываться сложная трехэлементная стружка.

Решением из сложившейся ситуации является применение фрез с новой, более совершенной, схемой резания.

С.Н. Медведицковым разработана новая схема резания, названная прогрессивной схемой резания [15]. Существенное отличие от стандартных червячных фрез является то, что у нее в конструкции имеются и завышенные, и одновременно зауженные зубья, которые чередуются через один с зубьями нормального профиля.

Прогрессивную схему резания, но уже на сборном инструменте реализовал в своих трудах В.В. Киреев. На основании имитационного моделирования и получившихся фрагментов площадей поперечного сечения срезаемых слоев зубьями фрезы удалось добиться разделения стружки на элементы [16, 17], что снижает нагрузки при ее формировании и удалении из зоны резания. Поэтому **целью данной работы** будет являться создание конструкции сборной червячной фрезы со сменными режущими твердосплавными элементами из инструментального твердого сплава, позволяющая разделять припуск на обработку на более простые фрагменты, снизить силы резания и повысить эффективность механической обработки.

С развитием технического прогресса и в соответствии с государственной программой Российской Федерации по «Развитию промышленности и повышения ее конкурентоспособности» задача совершенствования конструкций сборных фрез для обработки крупномодульных зубчатых колес, с применением режущих элементов из инструментальных твердых сплавов (ИТС), для существенного повышения работоспо-

собности и производительности является актуальной на сегодняшний день.

### Материалы и методы

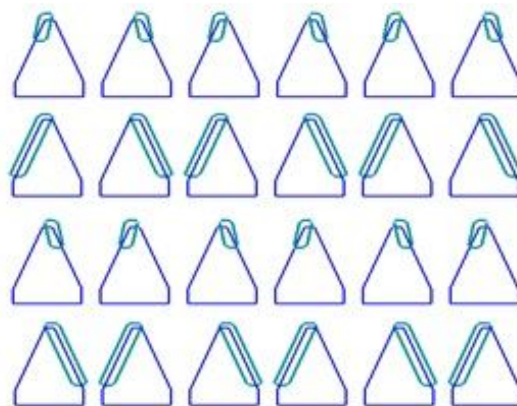
В поисках решений и методов по созданию принципиально нового инструмента [18, 19, 20], с целью поиска оптимального способа крепления режущих пластин, модификации инструмента и снижения нагрузок в процессе обработки заслуживают внимания результаты исследований [21].

Исследования показывают то, что влияние толщины пластины на напряженное состояние более значимо, чем ее длина. Однако не следует забывать об экономической составляющей и высокой стоимости инструментального твердого сплава, из которого изготавливаются сменные режущие пластины. Следовательно, увеличение толщины при радиальном расположении пластины не все-

гда оправданно. Поэтому при создании сборной фрезы для обработки зубчатых колес, по нашему мнению, целесообразно применять тангенциальное расположение режущих пластин в корпусе инструмента. Данный метод позволяет сэкономить использование инструментального твердого сплава, обеспечить стабильность позиционирования сменных режущих пластин (СРТП) в корпусе инструмента, улучшить выход стружки из зоны обработки, обеспечить свободный доступ при поломке к крепежным винтам при замене режущих пластин. На рис.1а показана реализация прогрессивной схемы резания путем деления припуска на обработку при зубофрезеровании путем тангенциального расположения СРТП в корпусе инструмента и профили инструментальных реек при тангенциальном расположении СРТП (рис.1б).



а)



б)

**Рис. 1.** Тангенциальное расположение СРТП в корпусе инструмента

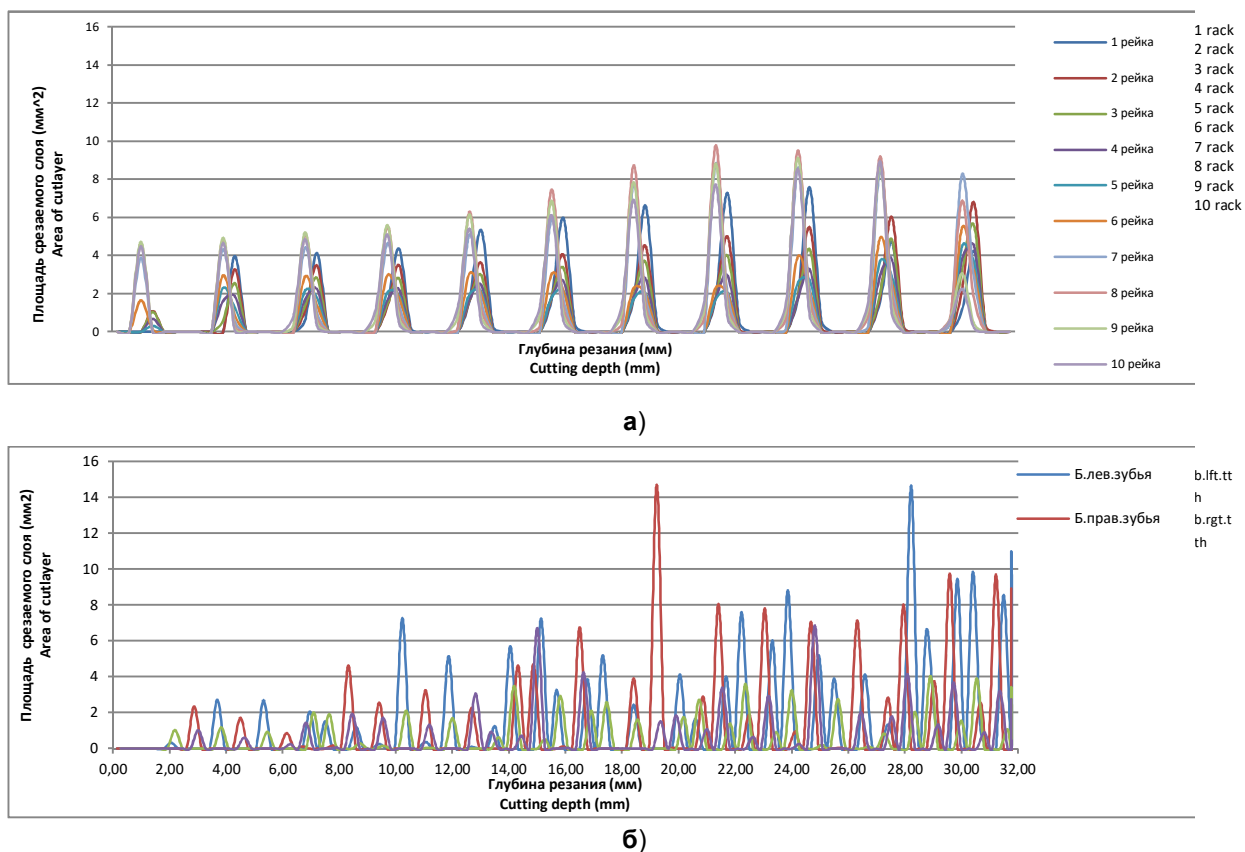
**Fig. 1.** The tangential location of the RCHAP in the tool body

В результате проведенного имитационного моделирования процесса механической обработки цилиндрического

зубчатого колеса были получены графики изменения поперечного сечения срезаемого слоя для стандартной чер-

вячной фрезы (рис.2а) и с тангенциально расположенными элементами (рис.2б). Разработанная схема позволяет разделить стружку на части, облегчить ее

сход из зоны резания и значительно снизить нагрузку на режущие кромки зуба, и снизить силы резания.



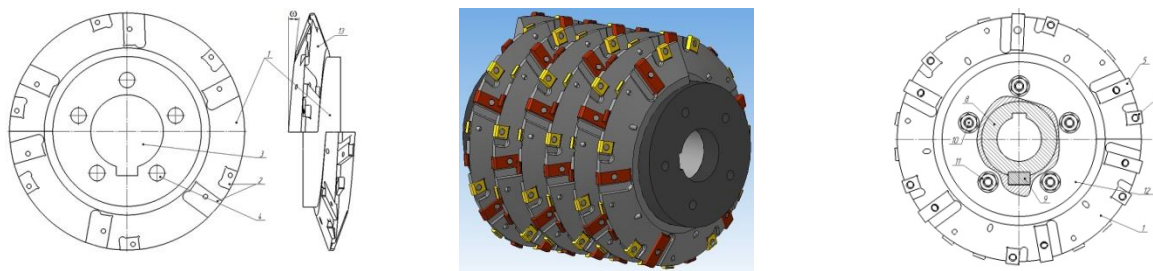
**Рис. 2.** График зависимости площадей поперечного сечения срезаемого слоя:

**а** – для стандартной червячной фрезы; **б** – при тангенциальном расположении СРТП

**Fig. 2.** Graph of the dependence of the cross-sectional area of the cut layer: **a** – for a standard hob cutter; **b** – with the tangential arrangement of the RCHAP

С применением программного обеспечения Компас 3D, была спроектирована сборная червячная фреза  $m=14$  для об-

работки цилиндрических зубчатых колес с тангенциальным расположением СРТП (рис.3).



**Рис. 3.** Конструкция сборной червячной фрезы с СРТП

**Fig. 3.** Design of a prefabricated worm cutter with RCHAP

## Результаты и их обсуждение

Результатом исследований стало создание конструкции сборной червячной фрезы, которая состоит из отдельных дисков, корпус которых образует винтовую поверхность, которая имеет определенный угол подъема  $\omega$ , имеющих тангенциальные пазы с опорными поверхностями для расположения в них режущих элементов, отверстие для расположения втулки со шпоночным пазом и пять сквозных отверстий для шпилек. На каждом диске закреплены основные и боковые режущие пластины, базирующиеся в угловых пазах при помощи винтов. Для исключения возможности проворота дисков корпуса фрезы во время фрезерования инструмент оснащен втулкой и призматической шпонкой со шпоночным пазом. Диски собираются на втулке и шпонке и стягиваются пятью шпильками, на концах которых имеются гайки. По краям корпуса имеются две дисковые щеки для наилучшего закрепления дисков сборной червячной фрезы. Данный метод

позволяет сэкономить использование инструментального твердого сплава, обеспечить стабильность позиционирования СРТП в корпусе инструмента, улучшить сход стружки из зоны резания, обеспечить легкий доступ при поломке к крепежным винтам при замене режущих пластин [22].

Однако дальнейший анализ полученных результатов имитационного моделирования выявил незначительную неравномерность загрузки боковых, тангенциально расположенных пластин. Причиной данного явления может служить образование площадей поперечного сечения срезаемого слоя сложной формы (рис.4), в процессе обработки зубчатого колеса с прямолинейными и криволинейными участками. Данный вид стружки оказывает на сменную твердосплавную пластину негативное влияние в точках перехода с одного участка на другой и способствует возникновению концентраторов напряжений в процессе механической обработки (рис. 5).

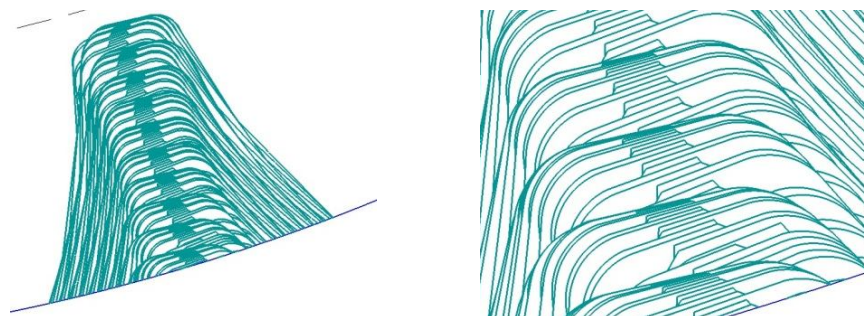
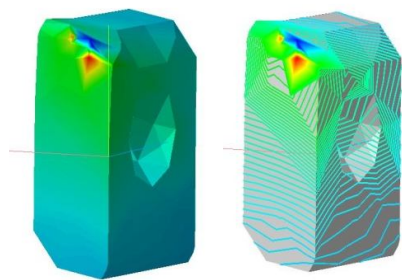
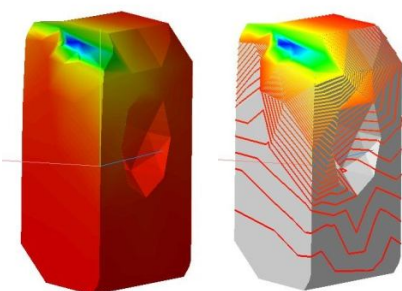


Рис. 4. Срезаемые слои сложной формы

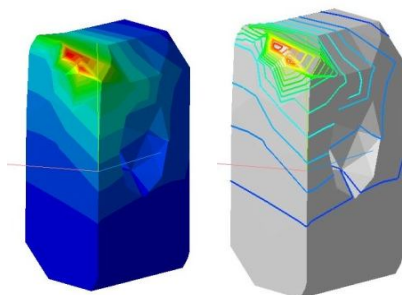
Fig. 4. Cut layers of complex shape



Поля и изолинии главных напряжений  $\sigma_1$   
(Fields and isolines of the main stresses  $\sigma_1$ )



Поля и изолинии главных напряжений  $\sigma_3$   
(Fields and isolines of the main stresses  $\sigma_3$ )



Поля и изолинии эквивалентных напряжений  
(Fields and isolines of equivalent stresses)

**Рис. 5.** Распределение главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  в процессе обработки зубчатого колеса фрезой

**Fig. 5.** Distribution of the main stresses  $\sigma_1$  and  $\sigma_3$  during the processing of the gear wheel with a mill

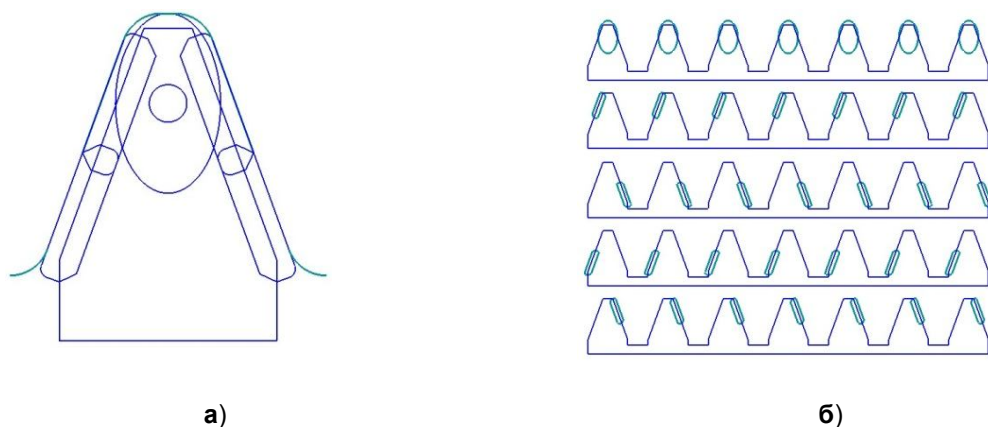
Поэтому для снижения и частично-го исключения возникновения опасных

напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  рекомендуется применять измененную схему расположением сменных твердосплавных режущих пластин, позволяющую исключить возможность возникновения при реальной обработке сложной стружки с прямолинейными и криволинейными участками одновременно. На рис. 6а показана реализация расположения режущих пластин с внедрением эллипсной пластины при тангенциальном расположении СРТП с измененной геометрией (рис.6б).

Результат имитационного моделирования подтвердил правильный выбор геометрии сменных режущих пластин и реализации расположения режущих элементов в корпусе режущего инструмента. С применением данной схемы удалось добиться более равномерного деления припуска на обработку и исключить возникновение стружки с прямолинейными и криволинейными участками одновременно при обработке крупномодульных зубчатых колес (рис.7).

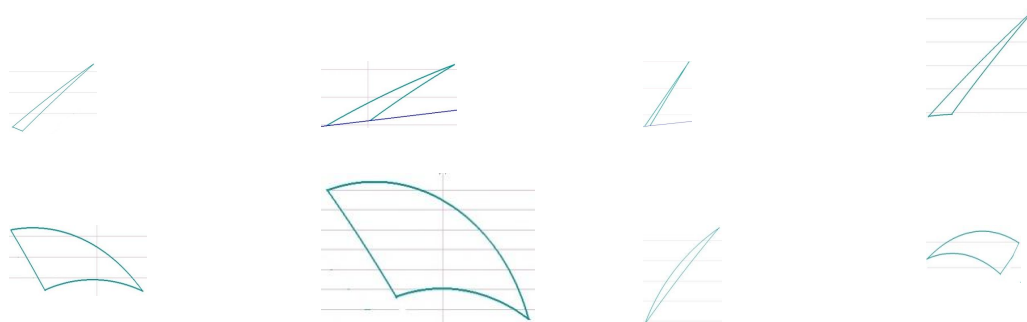
Графики изменения площадей поперечного сечения срезаемых слоев для данного расположения режущих пластин показали равномерность загрузки режущих элементов из инструментального твердого сплава (рис.8).

В Тюменской области и других нефтегазодобывающих регионах в большом количестве крупномодульные зубчатые колеса используются в редукторах типа Ц2НШ (рис.9) для нефтяных и газовых качалок (рис.10).



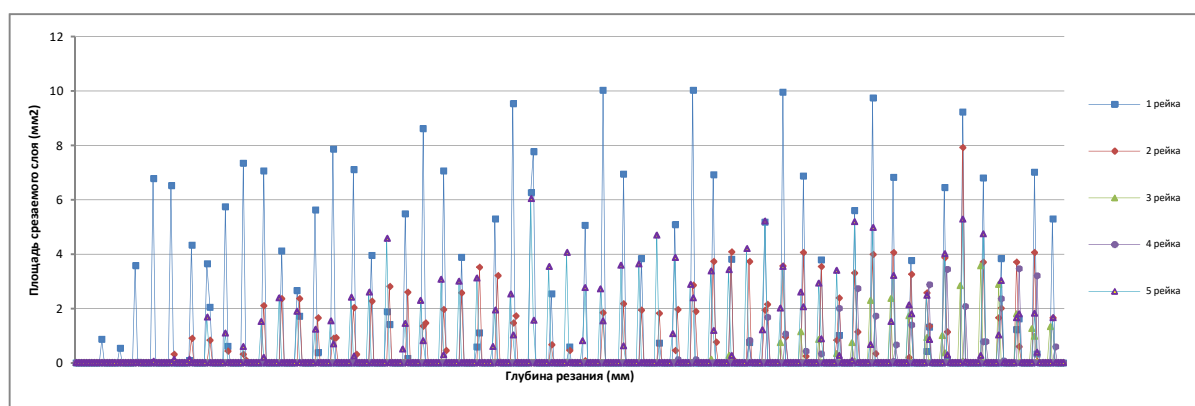
**Рис. 6.** Расположение режущих пластин в корпусе сборной червячной фрезы с применением эллипсной пластины

**Fig. 6.** Location of cutting inserts in the body of a prefabricated worm cutter using an ellipse plate



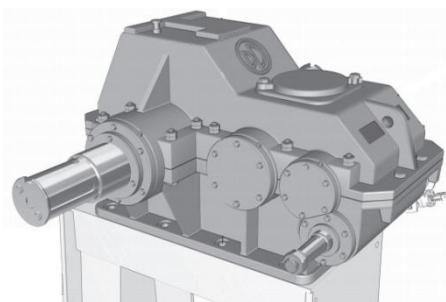
**Рис. 7.** Фрагменты видов площадей поперечного сечения среза при работе сборной фрезы

**Fig. 7.** Fragments of views of the cross-sectional area of the slice during operation of the combined cutter



**Рис. 8.** График зависимости площадей поперечного сечения срезаемого слоя при тангенциальном расположении СРТГ

**Fig. 8.** Graph of the dependence of the cross-sectional area of the cut layer with the tangential arrangement of the RCHAP



**Рис. 9.** Редуктор Ц2НШ

**Fig. 9.** Reducer Ц2НШ



**Рис. 10.** Нефтяная качалка

**Fig. 10.** Oil pumping

В связи с постоянным увеличением объемов добычи углеводородных ресурсов и увеличением количества месторождений потребность в новом оборудовании возрастает. Соответственно возрастает потребность в изготовлении крупномодульных зубчатых колес для новых редукторов и ремонта уже эксплуатируемых на месторождениях.

### Выводы

В результате проведенных исследований было доказано, что применение тангенциального расположения режущих элементов в конструкциях сборных червячных фрез способствует снижению износа инструмента путем последовательного срезания припуска на обработку отдельными режущими твердосплавными пластинами, расположен-

ными на инструментальном червяке. В результате обеспечивается получение стружки более простой формы, что способствует снижению главных напряжений растяжений и возникающих сил резания. Расположение большого количества режущих твердосплавных элементов на инструментальном червяке с увеличением режимов обработки по сравнению со стандартными червячными фрезами приводит к снижению величины подачи на зуб инструмента и увеличению срока службы, а также снижению величин износа и вероятности разрушения режущих элементов. Все вышесказанное позволит повысить эффективность механической обработки зубчатых колес путем увеличения производительности обработки в 3-4 раза.

### Список литературы

1. Башкиров В.Н. Экспериментальное исследование динамики процесса зубофрезерования крупномодульными червячными фрезами // Станки и инструмент. 1984. № 12. С. 18-20.

2. Напряженно-деформированное состояние и прочность режущих элементов инструментов / Е.В. Артамонов, И.А. Ефимович, Н.И. Смолин, М.Х. Утешев. М.: Недра, 2001. 199 с. ISBN 5-8365-0093-2
3. W. Liu, D. Ren, S. Usui, J. Wadell, T. D. Marusich, A gear cutting predictive model using the finite element method // J. CIRP. 2013. 8. P. 51-56.
4. Egorov S.B., Kapitanov A.V., Loktev D.A. Modern Methods and Technological Solutions for Effective Processing of Gear Wheels // Materials Science Forum. 2016. Vol. 870, pp. 397-403, Trans Tech Publications, Switzerland. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.397
5. The Selection of the optimum process of machining gear teeth / V.I. Ruban, A.Z. Gojayev, V.M. Ruban, S.D. Zaitsev // Journal of mechanical engineering. 2008. № 7. P. 40-41.
6. Artamonov E. V., Kireev V. V. The Compound Hob For Processing Gearbox Pinions Used In Hoist For Well Repairs // Appl. Mech. Mater. 2015. № 770. P. 469-475.
7. Gear hobbing: A contribution to analogy testing and its wear mechanisms / S. Steina, M. Lechthalera, S. Krassnitzera, K. Albrechta, A. Schindlerb, M. Arndta // J. CIRP. 2012. N1(1). P. 220-225.
8. Processing of gears: improving productivity and quality / N. Kurochkin, B.M. Solonitsyn, O.V. Taratynov, V.V. Klepikov // Truck. 2005. N3. P. 28-31.
9. Kanatnikov N.In., Kharlamov G.A. Improving the efficiency of processing of straight-toothed bevel gears // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2015. N 3. P. 8-16.
10. Papsheva N.D., Akushskaya O.M. Improving the efficiency of the process of gear cutting // Engineering Journal of Don. 2015. N 36. 54 p.
11. Tokawa T., Y Nishimura., Nakamura Y. High productivity dry hobbing system // J. Mitsubishi Heavy Ind. 2001. N 38(1). P. 27-31.
12. Бетанели А.И. Прочность и надежность режущего инструмента. Тбилиси, 1973. 304 с.
13. Ткемиладзе Г.Н., Тотчиев Ф.Г., Лоладзе Т.Н. Исследование напряжений в режущей части инструмента при переходных процессах методом фотоупругости // Сообщ. А.Н. Грузинской ССР. 1975. №3.
14. Медведицков С.Н., Нарожных А.Т., Чурбаков В.Ф. Толщина срезаемого слоя при нарезании зубчатых колес червячно-модульными фрезами // Технология машиностроения. Труды Волгоградского политех. института. Волгоград, 1971. С. 245-252.
15. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами. М.: Машиностроение, 1981. 104 с.
16. Artamonov E. V., Kireev V. V., Zyryanov V. A., Improving the Efficiency of Hobbing Mills // Russian Engineering Research. 2017. Vol. 37. No. 5. P. 447-449. Allerton Press, Inc., 2017. DOI: 10.3103/S1068798X17050057

17. Artamonov E. V., Kireev V. V. Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates // J. Russ. Eng. Res. 2014. N 37(7). P. 473-474.
18. Артамонов Е.В., Помигалова Т.Е., Утешев М.Х. Расчет и проектирование сменных режущих пластин и сборных инструментов. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 152 с. ISBN 978-5-99-61-0453-6
19. Механика разрушения и прочность сменных режущих пластин из твердых сплавов / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, А.М. Тверяков, М.Х. Утешев. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. 148 с. ISBN 978-5-9961-0652-3
20. Современные технологические подходы при изготовлении цилиндрических зубчатых колес в условиях мелкосерийного производства и особенности расчета и проектирования зуборезного инструмента / В.П. Балков, Л.И. Каменецкий, А.С. Кирютин, Е.А. Негинский, О.С. Отт, Д.Н. Пищулин // Металлообработка. 2015. № 4(88). С. 2-6.
21. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов. Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. 192 с. ISBN 5-88465-416-2
22. Пат. 2680122 Российская Федерация, МПК В23F21/16. Сборная червячная фреза / Артамонов Е. В., Киреев В. В., Зырянов В. А.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ). заявл. 28.12.2017; опубли. 15.02.2019. Текст: непосредственный

## References

1. Bashkirov V.N. Eksperimental'noe issledovanie dinamiki protsessa zubofrezzerovaniya krupnomodul'nymi chervyachnymi frezami [Experimental Study of the Dynamics of Tooth Cutting Process by Large-Module Worm Mills]. *Stanki i instrument = Machines and Tools*, 1984, no. 12, pp. 18-20 (In Russ.).
2. Artamonov E.V., Ephimovich I.A., Smolin N.I., Uteshev M. H. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie i prochnost' rezhushchikh elementov instrumentov* [Stress strain condition and durability of tools cutting elements]. Moscow, Nedra Publ., 2001, 199 p. (In Russ.).
3. Liu W., Ren D., Usui S., Wadell J., Marusich T. D. A gear cutting predictive model using the finite element method. *J. CIRP*. 2013, no. 8, pp. 51-56.
4. Egorov S.B., Kapitanov A.V., Loktev D.A.. Modern Methods and Technological Solutions for Effective Processing of Gear Wheels. *Materials Science Forum*, 2016, vol.870, pp. 397-403, 2016 Trans Tech Publications, Switzerland. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.870.397.

5. Ruban V.I., Gojayev A.Z., Ruban V.M., Zaitsev S.D. The Selection of the optimum process of machining gear teeth. *Journal of mechanical engineering*, 2008., no. 7, pp. 40-41.
6. Artamonov E. V., Kireev V. V. The Compound Hob For Processing Gearbox Pinions Used In Hoist For Well Repairs, *Appl. Mech. Mater*, 2015, 770, pp. 469-475.
7. Steina S., Lechthalera M., Krassnitzer S., Albrechta K., Schindlerb A., Arndta M., Gear hobbing: A contribution to analogy testing and its wear mechanisms. *J. CIRP*, 2012, no. 1(1), pp. 220-225.
8. Kurochkin N., Solonitsyn B.M., Taratynov O.V., Klepikov V.V. Processing of gears: improving productivity and quality. *Truck*, 2005, no. 3, pp. 28-31.
9. Kanatnikov N.In., Kharlamov G.A. Improving the efficiency of processing of straight-toothed bevel gears. *Science intensive technologies in mechanical engineering*, 2015, no. 3, pp. 8-16.
10. Papsheva N.D., Akushskaya O.M. Improving the efficiency of the process of gear cutting. *Engineering Journal of Don*. 2015, no. 36, 54 p.
11. Tokawa T., Nishimura Y., Nakamura Y. High productivity dry hobbing system. *J. Mitsubishi Heavy Ind*, 2001, no. 38(1), pp. 27-31.
12. Betaneli A.I. *Prochnost' i nadezhnost' rezhushchego instrumenta* [Strength and reliability of cutting tool]. Tbilisi, 1973, 304 p. (In Russ.).
13. Tkemiladze G. N., Totchiev F.G., Loladze T. N. Issledovanie napryazhenii v rezhushchei chasti instrumenta pri perekhodnykh protsessakh metodom fotouprugosti [Study of stresses in the cutting part of the tool during transient processes by photoelastic method]. *Soobshch. A.N. Gruzinskoi SSR = Mg. A.N. Georgian SSR*. 1975. no. 3. (In Russ.).
14. Medvedev S.N., Narozhny A.T., Churbakov V.F. [Thickness of cut layer at cutting of gear wheels by worm-modular mills]. *Tekhnologiya mashinostroeniya. Trudy Volgogradskogo politekh. instituta* [Technology of mechanical engineering. Works of the Volgograd Polytechnic Institute]. Volgograd, 1971, pp. 245-252 (In Russ.).
15. Medvedickov S.N. *Vysokoproizvoditel'noe zubonarezanie frezami* [High-performance gear cutting by mills]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 106 p. (In Russ.).
16. Artamonov E. V., Kireev V. V., Zyryanov V. A. Improving the Efficiency of Hobbing Mills. *Russian Engineering Research*, 2017, vol. 37, no. 5, pp. 447–449. Allerton Press, Inc., 2017. DOI: 10.3103/S1068798X17050057.
17. Artamonov E. V., Kireev V. V. Effectiveness of cutting by hods with replaceable hard-alloy plates. *J. Russ. Eng. Res*, 2014, no. 37(7), pp. 473-474.
18. Artamonov E.V., Pomigalova T.E., Uteshev M.H. *Raschet i proektirovanie smennykh rezhushchikh plastin i sbornykh instrumentov* [Calculation and designing of retrofittable indexible inserts and assembly tools]. Tyumen, TSOGU Publ., 2011, 152 p. (In Russ.).
19. Artamonov E.V., Pomigalova T.E., Tveryakov A. M., Uteshev M.H. *Mekhanika razrusheniya i prochnost' smennykh rezhushchikh plastin iz tverdykh splavov* [Failure me-

chanics and durability of retrofittable indexable inserts made of hard alloys]. Tyumen, TSOGU Publ., 2013, 148 p. (In Russ.).

20. Balkov V.P., Kamenetskii L.I., Kiryutin A.S., Neginsky E.A., Ott O.S., Pishchulin D.N. *Sovremennye tekhnologicheskie podkhody pri izgotovlenii tsilindricheskikh zubchatykh koles v usloviyakh melkoseriinogo proizvodstva i osobennosti rascheta i proektirovaniya zuboreznogo instrumenta* [Up to date approaches for technology of small lot cylindrical gears production and special features of gear cutting tool computing and design engineering]. *Metalloobrabotka = Metalworking*, 2015, no. 4(88), pp. 2-6 (In Russ.).

21. Artamonov E.V. *Prochnost' i rabotosposobnost' smennykh tverdospлавnykh plastin sbornykh rezhushchikh instrumentov* [Durability and operability of replaceable hard-alloy plates of the combined cutting tools]. Tyumen, TGNGU Publ., 2003, 192 p. (In Russ.).

22. Artamonov E. V., Kireev V. V., Zyryanov V. A. *Sbornaya chervyachnaya freza* [Combined worm mill]. Patent RF, no. 2680122, 2017 (In Russ.).

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Артамонов Евгений Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Станки и инструменты», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Российская Федерация, e-mail: artamonovev@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-4435>

**Evgeny V. Artamonov**, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Machines and Tools Department, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, e-mail: artamonovev@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-4435>,

**Киреев Виталий Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Станки и инструменты», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Российская Федерация, , e-mail: kireevvv@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2285-1036>

**Vitaly V. Kireev**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Machines and Tools Department, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, e-mail: kireevvv@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2285-1036>,

**Зырянов Виталий Андреевич**, аспирант кафедры «Станки и инструменты», ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Российская Федерация, e-mail: zyrjanovva@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8191-3930>,

**Vitaly A. Zyryanov**, Post-Graduate Student, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, e-mail: zyrjanovva@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8191-3930>,