

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ NEW TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 621.19
DOI: 10.18503/1995-2732-2023-21-4-157-163



ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МОНОЛИТНОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ МЕЛКИХ СЕРИЙ НА ОСНОВЕ ЭКСПРЕСС-ИСПЫТАНИЙ

Маслов Д.А.¹, Овсянников В.Е.², Кулемина А.А.², Ковенский И.М.²

¹ Курганский государственный университет, Курган, Россия

² Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Среднегодовой объем рынка металлообрабатывающего инструмента в России составляет 21 млрд руб. При этом современная ситуация характеризуется тем, что потребность в металлорежущем инструменте возрастает. Однако наблюдается негативная тенденция в снижении доли отечественного инструмента в общем объеме рынка. Если в 2017 году доля отечественного инструмента составляла 42%, то за 2022 год она снизилась до 25%. При этом существенной проблемой является контроль качества инструмента. Причем проблема усугубляется сжатыми сроками на подготовку производства. Также следует отметить, что организация крупных инструментальных производств требует очень больших материальных затрат и не всегда оправдана. Поэтому необходимо совершенствовать организационные и технологические аспекты в условиях мелких серий. Выходом в данной ситуации является использование экспресс-испытаний непосредственно при изготовлении инструмента. **Цель работы.** Снижение сроков постановки на производство опытных партий монолитного осевого режущего инструмента из быстрорежущих сталей и твердых сплавов. **Используемые методы.** В работе использованы методы технологии машиностроения, испытаний на стойкость инструмента, нанесения износостойких покрытий. Рассматривается полный технологический процесс изготовления монолитного режущего инструмента, включая контроль качества и предварительные испытания. В работе рассматривается инструмент в диапазоне размеров (по диаметру) от 6 до 16 мм. **Новизна.** Разработан новый метод исследования – экспресс-испытания монолитного режущего инструмента, кроме того, получены новые данные в результате экспресс-испытаний. **Результат.** Разработанная методика экспресс-испытаний монолитного режущего инструмента, который позволяет повысить контроль качества монолитного режущего инструмента в условиях мелкосерийного производства. **Практическая значимость.** Разработанный метод экспресс-испытаний позволяет существенно сократить сроки технологической подготовки производства монолитного режущего инструмента за счет исключения необходимости производственных испытаний с последующей доводкой образцов. Кроме того, определены оптимальные режимы испытаний, которые обеспечивают сочетание адекватности результатов (по отношению к производственным испытаниям), а с другой – минимальное время испытаний.

Ключевые слова: инструмент, производство, испытания, сокращение, стойкость

© Маслов Д.А., Овсянников В.Е., Кулемина А.А., Ковенский И.М., 2023

Для цитирования

Повышение эффективности изготовления монолитного режущего инструмента в условиях мелких серий на основе экспресс-испытаний / Маслов Д.А., Овсянников В.Е., Кулемина А.А., Ковенский И.М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. №4. С. 157-163. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-4-157-163>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

INCREASED EFFICIENCY OF MANUFACTURING MONOLITHIC CUTTING TOOLS IN SMALL BATCHES BASED ON EXPRESS TESTS

Maslov D.A.¹, Ovsyannikov V.E.², Kulemina A.A.², Kovensky I.M.²

¹ Kurgan State University, Kurgan, Russia

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The average annual volume of the metalworking tool market in Russia is 21 billion rubles. The current situation is characterized by an increasing need for metal cutting tools. However, there is a negative trend in a decrease in the share of domestic tools in the total market volume. If in 2017 the share of domestic tools was 42%, then in 2022 it decreased to 25%. Quality control of tools is a significant problem. Moreover, the problem is aggravated by tight deadlines for the preparation of production. It should be also noted that organizing large tool-making industries requires very large material costs and is not always reasonable. Therefore, it is necessary to improve the organizational and technological aspects in small batches. The solution in this situation is to use express tests directly in manufacturing tools. **Objectives.** Reduced time for production of pilot batches of monolithic axial cutting tools made of high-speed steels and hard alloys. **Methods Applied.** The research uses methods of engineering technology, tests for tool resistance, and application of wear-resistant coatings. The paper describes a complete manufacturing process of the monolithic cutting tool, including quality control and preliminary tests. The paper presents the tool in the size range (by diameter) from 6 to 16 mm. **Originality.** The authors developed a new research method, namely express testing of a monolithic cutting tool, and obtained new data as a result of express testing. **Result.** The result includes a developed procedure for express testing of monolithic cutting tools, increasing quality control of monolithic cutting tools in small batches. **Practical Relevance.** The developed express test method significantly reduces a period required for preparing production of monolithic cutting tools by eliminating the need for production tests with subsequent refinement of samples. Besides, the authors determined optimal test modes that provide a combination of adequacy of results (in relation to production tests) and minimum test time.

Keywords: tool, manufacturing, testing, reduction, resistance

For citation

Maslov D.A., Ovsyannikov V.E., Kulemina A.A., Kovensky I.M. Increased Efficiency of Manufacturing Monolithic Cutting Tools in Small Batches Based on Express Tests. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 157-163. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-4-157-163>

Введение

По данным Агентства маркетинговых исследований DISCOVERY ResearchGroup [1] среднегодовой объем рынка металлообрабатывающего инструмента в России составляет 21 млрд руб. При этом современная ситуация характеризуется тем, что потребность в металлорежущем инструменте возрастает. Примерное распределение потребителей по отраслям за 2021 год приведено на **рис. 1** [1].

Как можно видеть из **рис. 1**, основными потребителями инструмента (по объему рынка) являются оборонная промышленность и авиастроение. На сегодняшний день доля данного сегмента рынка только расширяется в связи с ростом потребности в соответствующей продукции.

При этом доля инструмента, который изготавливается в РФ (по отношению к общему объему рынка), снизилась. Если в 2017 году доля отечественного инструмента составляла 42%, то за 2022 год она снизилась до 25% [1].



Рис. 1. Структура потребления твердосплавного инструмента по отраслям, млрд руб.

Fig. 1. Structure of consumption of hard alloy tools by sector (in billion rubles)

Также следует отметить, что основной объем изготовления инструмента отводится крупным производителям (например, Кировградский завод твердых сплавов, Томский инструментальный завод и т.д.) [1] (рис. 2).

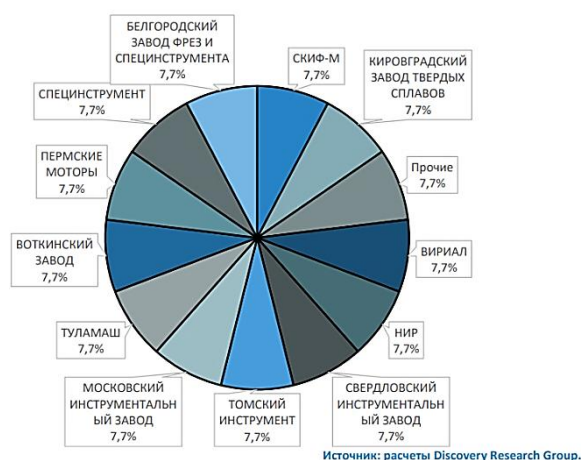


Рис. 2. Доля производителей твердосплавного режущего инструмента
Fig. 2. Share of hard alloy cutting tool manufacturers

Из рис. 2 видно, что общий удельный вес крупных производителей инструмента составляет более 90%. Однако данные предприятия не могут эффективно закрыть все нужды потребителей. Следует отметить, что организация крупных инструментальных производств требует очень больших материальных затрат и не всегда оправдана. Кроме того, существенной проблемой является то, что в рамках крупного предприятия затrudнительно изготовление мелких серий инструмента, особенно специального.

Таблица 1. Номенклатура фрез
Table 1. Range of milling cutters

Параметры фрезы	Сплав		Геометрия			
			Распределение зубьев		Спираль	
			равномерная	неравномерная	равномерная	неравномерная
Фреза 6×25×60	ТС10СМ	VHS-11	+	-	+	-
Фреза 6×25×60	ТС10СМ	VHS-11	-	+	-	+
Фреза 8×30×70	ТС10СМ	VHS-11	+	-	+	-
Фреза 8×30×70	ТС10СМ	VHS-11	-	+	-	+
*Фреза 10×30×80	ТС10СМ	VHS-11	+	-	+	-
*Фреза 10×30×80	ТС10СМ	VHS-11	-	+	-	+
Фреза 12×40×80	ТС10СМ	VHS-11	+	-	+	-
Фреза 12×40×80	ТС10СМ	VHS-11	-	+	-	+
Фреза 14×40×80	ТС10СМ	VHS-11	+	-	+	-
Фреза 14×40×80	ТС10СМ	VHS-11	-	+	-	+
Фреза 16×40×80	ТС10СМ	VHS-11	+	-	+	-
Фреза 16×40×80	ТС10СМ	VHS-11	-	+	-	+

* Изделия-представители.

Выходом из данной ситуации является создание малых субъектов экономической деятельности, которые могут реализовать локальные заказы в рамках мелкосерийного типа производства. Но для эффективного решения данной задачи необходимо максимально сократить сроки технологической подготовки производства инструмента. В среднем при серийном изготовлении инструмента срок от заказа до получения готового продукта составляет от 4 месяцев до 1 года. Кроме того, изготовители инструмента чаще всего находятся на значительном расстоянии от потребителя. Также удаленность предполагает значительные накладные расходы (до 30-50%) [1, 2] в случае изготовления мелких серий непосредственно. Также зачастую вопросы эксплуатационных испытаний инструмента и подбора режимов его работы выполняются потребителем, после чего может возникнуть необходимость в доработке инструмента, особенно специального. Поэтому в рамках малых предприятий возможно реализовать максимально гибкий подход с целью эффективного удовлетворения нужд потребителя с получением им решений «под ключ». Это является залогом обеспечения конкурентоспособности малых предприятий с крупными производителями инструмента [2]. Поэтому необходимо проанализировать технологический процесс изготовления инструмента, выявить узкие места и определить направления для совершенствования (в части сокращения сроков изготовления нового инструмента).

Материалы и методы исследования

Номенклатура рассматриваемого инструмента приведена в табл. 1.

В работе рассматривался технологический процесс изготовления монолитного твердосплавного инструмента (фрез концевых), который состоит из следующих операций:

– 000. Отрезная. Станок отрезной ТОША-200М. На данной операции производится отрезка заготовки.

– 005. Шлифовальная. Станок для снятия фасок LIYOUONE. На данной операции шлифуют фаску на хвостовике заготовки. Пример фаски приведен на **рис. 3**.

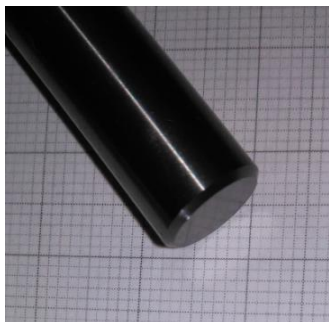


Рис. 3. Шлифование фаски
Fig. 3. Chamfer grinding

– 010. Шлифовальная. Станок с ЧПУ HAWEMAT 2500. На данной операции формируется геометрия режущей части инструмента.

Технологические режимы на шлифовальные операции назначались с учетом известных рекомендаций литературы [3, 4].

– 015. Контрольная. Предварительный контроль. На данной операции выполняется предварительный контроль инструмента. Пример контроля режущей кромки приведен на **рис. 4**.

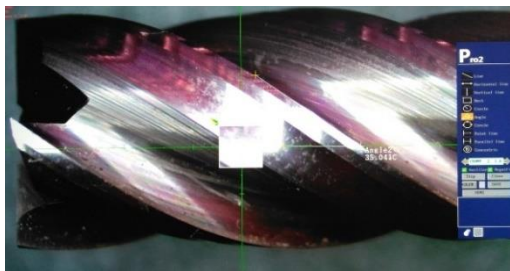


Рис. 4. Контроль геометрических параметров
Fig. 4. Control of geometric parameters

– 020. Слесарная. Галтовочный барабан. На данной операции производится подготовка к нанесению покрытия.

– 025. Ультразвуковая. Пост ультразвуковой мойки. На данной операции производится очистка перед покрытием.

– 030. Вакуумная. Установка Unicoat-400 HIP. На данной операции выполняется нанесение покрытия. Метод нанесения покрытия PVD (физическое осаждение из паровой фазы). Способ нанесения – магнетронное распыление импульсами высокой мощности (HiPIMS). Твердый сплав: TiN, AlTiN.

– 035. Контрольная. Окончательный контроль.

Также предлагается ввести операцию 040, которая заключается в испытаниях инструмента непосредственно на станке.

– 040. Испытательная. Вертикально-фрезерный обрабатывающий центр DMG 635V. Проведение испытаний готового инструмента.

Можно сказать, что контроль изготовленных опытных образцов проводился в несколько этапов:

1. Контроль промежуточный (контроль геометрических параметров):

– визуальный контроль на цифровом микроскопе – осмотр режущей части образцов, сопоставление общей геометрии, полученной на образцах с цифровой моделью;

– измерение основных геометрических параметров на приборе для контроля режущего инструмента ELBO CONTROLLI NikkenHattori и на цифровом микроскопе.

2. Контроль окончательный (контроль качества покрытия):

– визуальный контроль на цифровом микроскопе – осмотр режущей части инструмента на предмет сплошности и целостности нанесенного покрытия, контроль цвета и его равномерности, контроль сорности, микротрещин;

– определение адгезии покрытия на диске-свидетеле с помощью твердомера Роквелла (Роквелл-тест) [5-7].

После проведения окончательного контроля изготовленных опытных образцов фрез были проведены экспресс-испытания.

Экспресс-испытания проводились на фрезерном станке с ЧПУ DMC-635 при обработке заготовки из стали 20.



Рис. 5. Схема экспресс-испытаний
Fig. 5. Express test diagram

При этом режимы обработки изначально принимались рекомендованные для рассматриваемого материала [8-10], а затем производилась корректировка с целью сокращения времени проведения испытаний без потери адекватности результатов.

Полученные результаты и их обсуждение

Были изготовлены образцы фрез из номенклатуры в табл. 1 по технологическому процессу, который приведен выше. После чего производились экспресс-испытания. Пример опытного образца и измерения фаски износа приведен на рис. 6.

Пример результатов испытаний приведен в табл. 2. Также была рассмотрена возможность форсирования режимов резания при испытаниях, чтобы повысить производительность. В частности, для конструкционных сталей адекватные результаты дает заданное значение стойкости в 10 мин, при форсировании режимов (относительно рекомендованных) на 15-20%, для цветных металлов заданное значение стойкости в 10 мин при форсировании режимов на 20-35%. Таким образом, время испытаний сокращается в 1,5-2 раза.

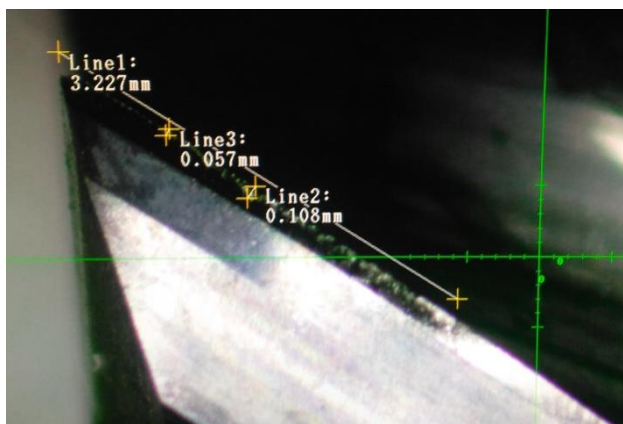


Рис. 6. Опытный образец фрезы и измерение фаски износа
Fig. 6. Pilot milling cutter and chamfer wear measurement

Таблица 2. Пример результатов испытаний
Table 2. Example of test results

Параметр	Обозначение	Значение
Глубина резания	t , мм	1,5
Подача	S , мм/зуб	0,04
Скорость резания	V , м/мин	120
Ширина фрезерования	B , мм	3
Заданная стойкость	T , мин	20
Обрабатываемый материал	Сталь 20	
Результат испытаний образца 1 (фреза $\varnothing 10$, 4 зуба, распределение зубьев равномерное, спираль равномерная)	Образец №1 отработал 25 мин на рекомендованных режимах обработки при нормированной стойкости $T = 20$ мин, при этом сохранив свои режущие свойства. Ширина фаски износа составила $h = 0,33$ мм при длине $l = 3,29$ мм. Инструмент рекомендуется для использования	
Результат испытаний образца 2 (фреза $\varnothing 10$, 4 зуба, распределение зубьев неравномерное, спираль равномерная)	Образец №2 отработал 20 мин на рекомендованных режимах обработки при нормированной стойкости $T = 20$ мин, при этом сохранив свои режущие свойства условно. Ориентировочно на 16 минуте изменился звук обработки, резко изменилось качество обработанной поверхности. Ширина фаски износа составила $h = 0,34$ мм при длине $l = 3,67$ мм. Инструмент требует доработки и не рекомендуется для использования	
Результат испытаний образца 3 (фреза $\varnothing 10$, 4 зуба, распределение зубьев неравномерное, спираль неравномерная)	Образец №3 отработал 15 мин на рекомендованных режимах обработки при нормированной стойкости $T = 20$ мин, при этом потеряв свои режущие свойства ориентировочно на 10 минуте работы. Испытания были остановлены. Ширина фаски износа составила $h = 0,38$ мм при длине $l = 3,84$ мм. Инструмент требует доработки и не рекомендуется для использования	

Заключение

Таким образом, на основе анализа технологического процесса изготовления монолитного режущего инструмента из твердых сплавов было установлено, что при мелкосерийном производстве необходимо включать операцию экспресс-испытаний, что позволит сократить сроки доводки инструмента до нужных параметров и повысить конкурентоспособность мелких производителей режущего инструмента. Также определены рациональные режимы экспресс-испытаний, которые позволяют сократить время операции в 1,5-2 раза. То есть в рамках мелких предприятий можно разрабатывать решения «под ключ», которые включают создание конструкции инструмента, его изготовление, подбор режимов и рекомендаций по эксплуатации, совершенствование инструмента. За счет указанных выше преимуществ и учитывая географическую близость к потребителям малые предприятия в ряде сегментов могут конкурировать с крупными. Немаловажным преимуществом является то, что указанный выше подход можно распространить и на восстановление изношенного инструмента, что позволяет расширить спектр заказчиков.

Список источников

1. Карпова Т. О развитии станкоинструментальной отрасли // Ритм машиностроения. 2022. №2. С. 4-6.
2. Бойцов А.Г. Обеспечение качества на всех этапах производства // Ритм машиностроения. 2022. №2. С. 15-19.
3. Звягольский Ю.С., Солоненко В.Г., Схиртладзе А.Г. Оснастка для заточки и контроля инструментов: учеб. пособие. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии, 2022. 244 с.
4. Звягольский Ю.С., Солоненко В.Г., Схиртладзе А.Г. Технология производства режущего инструмента. М.: КноРУС, 2012. 336 с.
5. Маркова Е.А., Яцкевич О.К. Износостойкие покрытия для режущих инструментов: учеб. пособие. Минск: Изд-во БНТУ, 2021. 153 с.
6. Раменский В.В., Филиппов К.Ю. Сравнительный анализ методов определения твердости // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. Т. 1. С. 28-32.
7. Ярославцев В.М., Ярославцева Н.А. Методы упрочняющей технологии как средство совершенствования процесса резания // Упрочняющие технологии и покрытия. 2018. №1. С. 36-44.
8. Козлов А.А., Козлов А.М. Расчет режимов резания: учеб. пособие. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2017. 96 с.
9. Дудак Н.С., Касенов А.Ж. Расчет режимов резания: учеб. пособие. Алматы: Эверо, 2015. 128 с.
10. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 756 с.

References

1. Karpova T. On the development of the machine tool industry. *Ritm mashinostroeniya* [Rhythm of Mechanical Engineering]. 2022;(2):4-6. (In Russ.)
2. Boitsov A.G. Quality assurance at all the process stages. *Ritm mashinostroeniya* [Rhythm of Mechanical Engineering]. 2022;(2):15-19. (In Russ.)
3. Zvyagolsky Yu.S., Solonenko V.G., Skhirtladze A.G. *Osnastka dlya zatочки i kontrolya instrumentov: ucheb. posobie* [Tooling for sharpening and controlling tools: study guide]. Stary Oskol: Tonkie naukoemkie tekhnologii, 2022, 244 p. (In Russ.)
4. Zvyagolsky Yu.S., Solonenko V.G., Skhirtladze A.G. *Tekhnologiya proizvodstva rezhushchego instrumenta* [Technology of cutting tool production]. Moscow: KnoRUS, 2012, 336 p. (In Russ.)
5. Markova E.A., Yatskevich O.K. *Iznosostoikie pokrytiya dlya rezhushchikh instrumentov: ucheb. posobie* [Wear-resistant coatings for cutting tools: study guide]. Minsk: Belarusian National Technical University, 2021, 153 p. (In Russ.)
6. Ramensky V.V., Filippov K.Yu. Comparative analysis of hardness test methods. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики* [Current Problems of Aviation and Astronautics]. 2022;1:28-32. (In Russ.)
7. Yaroslavtsev V.M., Yaroslavtseva N.A. Hardening technology methods as a tool of improving the cutting process. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya* [Hardening Technologies and Coatings]. 2018;(1):36-44. (In Russ.)
8. Kozlov A.A., Kozlov A.M. *Raschet rezhimov rezaniya: ucheb. posobie* [Calculation of cutting modes: study guide]. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2017, 96 p. (In Russ.)
9. Dudak N.S., Kasenov A.Zh. *Raschet rezhimov rezaniya: ucheb. posobie* [Calculation of cutting modes: study guide]. Almaty: Evero, 2015, 128 p. (In Russ.)
10. Vasilyev A.S., Kutin A.A. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Reference book for technologists and mechanical engineers]. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2018, 756 p. (In Russ.)

Поступила 21.08.2023; принята к публикации 14.09.2023; опубликована 25.12.2023
Submitted 21/08/2023; revised 14/09/2023; published 25/12/2023

Маслов Денис Александрович – старший преподаватель,
Курганский государственный университет, Курган, Россия.
Email: masloff-denis@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3263-2419

Овсянников Виктор Евгеньевич – доктор технических наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.
Email: vik9800@mail.ru. ORCID0000-0002-8775-0781

Кулемина Алёна Александровна – кандидат технических наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.
Email: kuleminaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-2076-166X

Ковенский Илья Моисеевич – доктор технических наук, профессор,
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.
Email: kovenskijim@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3241-8084

Denis A. Maslov – Senior Lecturer,
Kurgan State University, Kurgan, Russia.
Email: masloff-denis@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3263-2419

Viktor E. Ovsyannikov – DrSc (Eng.), Associate Professor,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.
Email: vik9800@mail.ru. ORCID0000-0002-8775-0781

Alena A. Kulemina – PhD (Eng.), Associate Professor,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.
Email: kuleminaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-2076-166X

Ilya M. Kovensky – DrSc (Eng.), Professor,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.
Email: kovenskijim@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3241-8084