

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.923

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-3-286-7-13

А. А. Жданов, Ю. И. Сидякин, В. В. Авдонин, А. В. Рогачев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОТС НА ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ТОЧЕНИИ СТАЛИ У10

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: alex_128@mail.ru

В статье приведены предварительные результаты исследований, позволяющие говорить о том, что известную методику автоматизированного назначения рациональных режимов резания в условиях безлюдной технологии на современных токарных станках с ЧПУ, являющихся по сути автоматизированными системами, можно применить при обработке с использованием смазывающе-охлаждающих технологических средств, для чего требуется проведение необходимого количества экспериментов и построение соответствующих регрессионных математических моделей. Данные исследования направлены на обучение автоматизированных систем в машиностроении самостоятельному принятию решений в области назначения режимов механической обработки на основе предварительной или оперативной информации о теплофизических свойствах контактных пар «инструмент-заготовка» и других измерительных сигналов из зоны резания без участия оператора.

Ключевые слова: режимы резания, технологические смазочные материалы, адаптивные системы, шероховатость.

A. A. Zhdanov, Yu. I. Sidiyakin, V. V. Avdonin, A. V. Rogachev

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF STS ON SURFACE ROUGHNESS DURING LONGITUDINAL TURNING OF STEEL U10

Volgograd State Technical University

The article presents preliminary research results that suggest that the well-known method of automated assignment of rational cutting modes in conditions of deserted technology on modern CNC lathes, which are essentially automated systems, can be applied to processing using lubricating and cooling technological means, which requires conducting the required number of experiments and building appropriate regression mathematical models. These studies are aimed at teaching automated systems in machine building to make independent decisions in the field of assigning machining modes based on preliminary or operational information about the thermophysical properties of contact pairs "instrument-workpiece" and other measuring signals from the cutting zone without operator participation.

Keywords: Cutting modes, technological lubricants, adaptive systems, roughness.

В современном машиностроении парк станков с программным управлением становится все более широким, а современный станок с ЧПУ может выполнять цикл обработки деталей без вмешательства оператора, являясь, по сути, полноценной автоматизированной системой. Автоматизированная система тем совершеннее, чем большее количество задач она способна решать без помощи человека. В металлообработке такие системы должны уметь обрабатывать внештатные ситуации. Например, скол режущей пластины резца, увеличенный износ пластины, неравномерность

припуска, неравномерность механических свойств поверхности заготовки и т. д. – все это может влиять на качество обработки. При работе на универсальных станках оператор-станочник может, исходя из своего опыта, регулировать те или иные настройки станка, тем самым как бы отрабатывая те сигналы, которые он наблюдает: изменение вида стружки, изменение звука, вибрации и т. д. Назначение рациональных режимов обработки и их корректировка в режиме реального времени – одна из задач, которые современные металлорежущие станки должны уметь решать.

Ключевой проблемой при назначении режимов обработки является широкий разброс диапазона рекомендуемых значений скорости резания и расчетных значений сил резания в зависимости от выбранного источника литературы (справочника) или рекомендации изготовителя твердосплавных пластин [1, 2].

Известен метод [1, 2], который позволяет снизить ошибку при назначении режимов обработки и технологических ограничений до приемлемого значения в $\pm 10\%$ по отношению к экспериментально измеренным параметрам. Суть метода в том, чтобы измерить величину термоЭДС, наводимого в собираемой электрической цепи между инструментом и заготовкой и на основе выведенных регрессионных математических моделей производить собственно выбор режимов резания. Величина термоЭДС в данном случае выступает в качестве индикатора, отражающие комплекс свойств конкретной контактной пары «инструмент-заготовка»: теплофизические свойства, геометрию режущего инструмента и т. д.

Область применения данного метода на сегодняшний момент – токарная обработка стальных деталей твердосплавным инструмен-

том без использования смазывающе-охлаждающих технологических средств (СОТС). Однако этот метод позиционируется как перспективный для обучения автоматизированных систем (станков с ЧПУ), где в подавляющем случае наличие СОТС необходимо не только для собственно охлаждения, но и для увода стружки из зоны резания. Ведь рядом со станком с ЧПУ нет оператора, который скребком будет убирать стружку с рабочих органов станка. Этот процесс на современных станках автоматизирован: СОТС уводит стружку в поддон, откуда по конвейеру она поступает в лотки для стружки. Таким образом, расширение области применения данной методики в том числе и на обработку с применением СОТС является актуальной научно-технологической задачей.

Для автоматизации процесса измерения термоЭДС и корректировки режимов резания разработан прототип устройства (рис. 1, 2) [3–5], который состоит из следующих компонентов (рис. 2): микроконтроллера (далее МК) Arduino Nano, платы расширения, модуля аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), платы преобразователя сигналов UART $\leftrightarrow$ RS232, источника питания; интерфейсного кабеля DB9 $\leftrightarrow$ DB-25.



Рис. 1. Закрепление токосъемника с магнитным креплением на револьверной головке токарного станка с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M

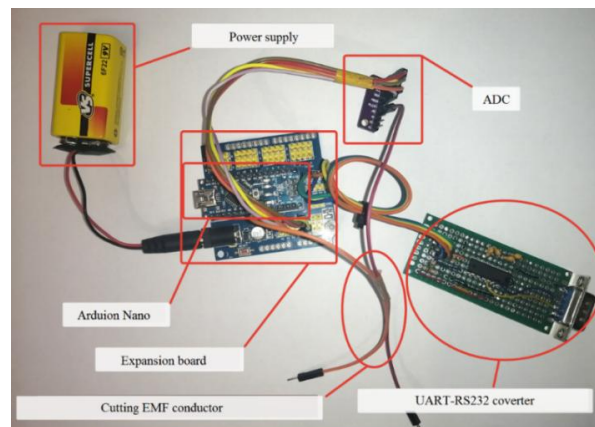


Рис. 2. Схема устройства для автоматизированного назначения режимов обработки на токарном станке с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M

Микроконтроллер подключается к плате расширения, куда присоединяется модуль АЦП, формирующий цепь для измерения ЭДС резания, а также модуль преобразователя сигналов UART – RS232 на базе микросхемы MAX3232 для конвертирования уровня сигналов UART (0...+5В), толерантных МК, в сигналы RS232 (-18...+18В), обрабатываемые УЧПУ станка. Для соединения УЧПУ станка и

устройства используется интерфейсный кабель DB9(F) – DB-25(M).

На рис. 3 изображен готовый прототип устройства автоматизированного назначения режимов резания и измерения величины термоЭДС в сборе в пластиковом корпусе в рабочем положении.

Для исследования возможности применения известной методики автоматизированного на-

значения режимов резания на токарных станках с ЧПУ для обработки с применением СОТС использовалась экспериментальная установка на базе токарно-револьверного станка с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M. Станок оснащен прототипом устройства для автоматизированного назначения режимов обработки (рис. 1–3).

Для каждой серии экспериментов проводилась тарирование пластин в соответствии с методикой [6].

Для дальнейших исследований после процедуры тарировки передаются пластины, которые имеют только порядковый номер граней и пластин. Операторы, занимающиеся дальнейшими опытами, не имеют представления о соотношении номера пластины (граней) и ее принадлежности к конкретному диапазону термоЭДС. Таким образом достигается «ослепление» при исследовании.



Рис. 3. Прототип устройства для автоматизированного назначения режимов обработки на токарном станке с ЧПУ GENOS OKUMA – L300M в сборе в пластиковом корпусе в рабочем положении

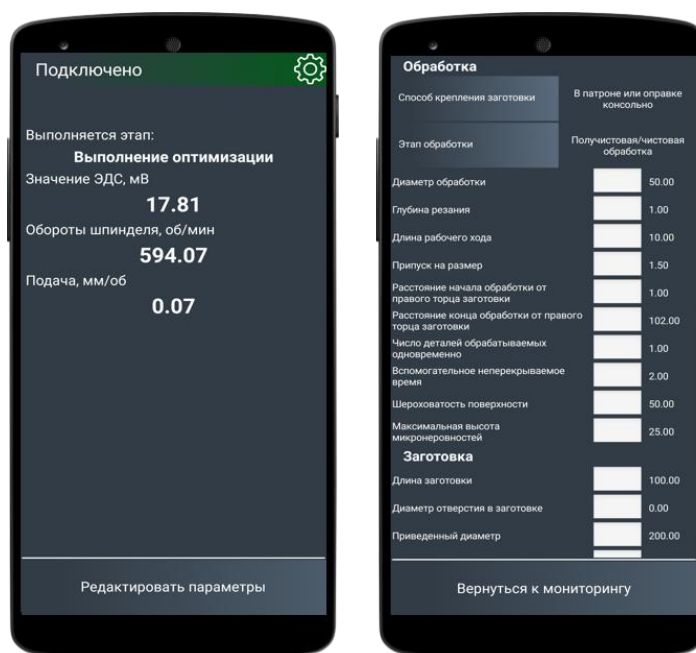


Рис. 4. Скриншот рабочих окон мобильного приложения прототипа автоматизированного устройства назначения режимов резания и измерения термоЭДС

Методика исследования влияния СОТС на параметры шероховатости поверхности

Целью исследования является проверка возможности применения известной методики прогнозирования параметров шероховатости поверхности (R_a , R_z) на случай обработки с применением СОТС.

Алгоритм исследования:

1. Тарировка пластин. При проведении испытаний по определению шероховатости по-

верхности использовались ромбические твердосплавные пластины с покрытием WNMG 060408-VM производства Японии. Обрабатываемый материал – сталь У10. Пластины тарировались по величине термоЭДС, выделялись группы пластин по крайним точкам диапазона измеренных значений термоЭДС.

2. Производилась обработка в режиме полустачки, при этом осуществлялся перебор выбранных факторов (скорости реза-

ния, подачи, термоЭДС), чтобы получить 27 точек для построения регрессионных моделей для случаев обработки с СОЖ и без СОЖ. Эксперимент повторялся три раза согласно критерию Стьюдента. Матрица эксперимента приведена в табл. 1.

Параметры Ra и Rz фиксировались с помощью профилометра Mitutoyo Surftest SJ-210. Пример профилограммы представлен на рис. 5.

3. Обработка и анализ результатов эксперимента.

Результаты исследований:

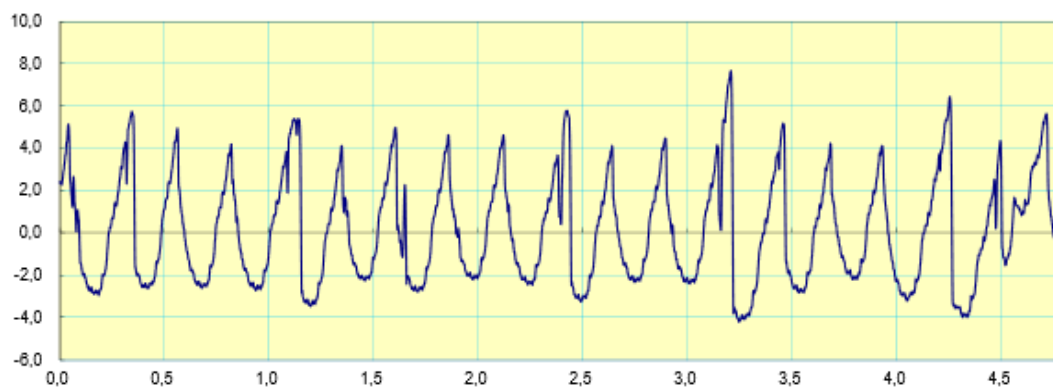


Рис. 5. Пример профилограммы (профилометр Mitutoyo Surftest SJ-210)

Таблица 1

Матрица экспериментов для построения регрессионных моделей зависимости параметров шероховатости от выбранных факторов и наличия СОЖ при тонком продольном точении стали У10 резцом WNMG060408-VM

№ опыта	Факторы				Измеряемые параметры	
	v, м/мин	S, мм/об	E _{пр} , мВ	t, мм	Ra, мкм	Rz, мкм
1	100	0,1	10,01	1	—	—
2	150	0,1	10,01		—	—
3	200	0,1	10,01		—	—
4	100	0,1	16,13		—	—
5	150	0,1	16,13		—	—
6	200	0,1	16,13		—	—
7	100	0,1	19,98		—	—
8	150	0,1	19,98		—	—
9	200	0,1	19,98		—	—
10	100	0,25	10,01		—	—
11	150	0,25	10,01		—	—
12	200	0,25	10,01		—	—
13	100	0,25	16,13		—	—
14	150	0,25	16,13		—	—
15	200	0,25	16,13		—	—
16	100	0,25	19,98		—	—
17	150	0,25	19,98		—	—
18	200	0,25	19,98		—	—
19	100	0,4	10,01		—	—
20	150	0,4	10,01		—	—
21	200	0,4	10,01		—	—
22	100	0,4	16,13		—	—
23	150	0,4	16,13		—	—
24	200	0,4	16,13		—	—
25	100	0,4	19,98		—	—
26	150	0,4	19,98		—	—
27	200	0,4	19,98		—	—

Результаты экспериментальных исследований влияния СОТС на параметры Ra и Rz шероховатости поверхности

При исследовании влияния наличия СОТС на параметры Ra, Rz шероховатости были получены графики (рис. 6, 7), а также произведен многофакторный регрессионный анализ для случая обработки без СОТС и с СОТС.

Был выполнен расчет шероховатости при точении согласно формуле:

$$Ra = C_{Ra} \cdot \frac{E^{K_1} \cdot t^{K_2} \cdot S^{K_3}}{V^{K_4}}, (\text{мкм})$$

где C_{Ra} – коэффициент, учитывающий вид обработки (при получистовой обработке: $C_{Ra} = 5,063$; E – значение термоЭДС контактной пары «инструмент-заготовка», мВ; t – глубина резания, мм; S – подача на оборот, мм/об; V – скорость резания, м/мин; K_1, K_2, K_3, K_4 – показатели степени при соответствующих факторах (получистовая обработка: $K_1=0,5$; $K_2=1,122$; $K_3=0,7$; $K_4=0,26$) [7].

В табл. 2 Φ_0 – это статистический коэффициент, отражающий совокупное влияние постоянных и неучтенных факторов. Из табл. 2 видно, что скорость резания, например, является наименее значимым фактором, который для показательной модели вообще можно не учитывать. Геометрические параметры, формирующие шероховатость, складываются из двух составляющих. Первая из них – подача (S , мм/об). Вторая составляющая – геометрия режущего инструмента, в частности, углы в плане и радиус закругления режущей кромки. Данная составляющая учитывается величиной термоЭДС, которая выступает некоторым комплексным индикатором, учитывающим и тепловые, и геометрические свойства инструмента. Влияние параметра термоЭДС очень существенно и является определяющим в данных моделях. Об этом свидетельствует и форма кривых на графиках (рис. 5–9).

Таблица 2

Анализ значимости факторов при построении регрессионных моделей: линейной, степенной, показательной – для случая обработки с СОЖ

Модель		Вид	Значимость факторов (норм. регрессия)			
			Φ_0	$E_{пр}$, мВ	V , м/мин	S , мм/об
1	Линейная, все факторы	$R = C_0 + \sum_{i=1}^N \Phi_i \cdot C_i$	-0,247	0,093	0,045	0,882
2	Линейная, значимые факторы		-0,247	0,093	0,045	0,882
3	Степенная, все факторы	$R = C_0 \cdot \prod_{i=1}^N \Phi_i^{C_i}$	-0,081	0,055	-0,003	0,953
4	Степенная, значимые факторы		-0,081	0,055	-	0,935
5	Показательная, все факторы	$R = C_0 \cdot \prod_{i=1}^N C_i^{\Phi_i}$	-0,081	0,041	-0,022	0,935
6	Показательная, значимые факторы		-0,081	0,041	–	0,935

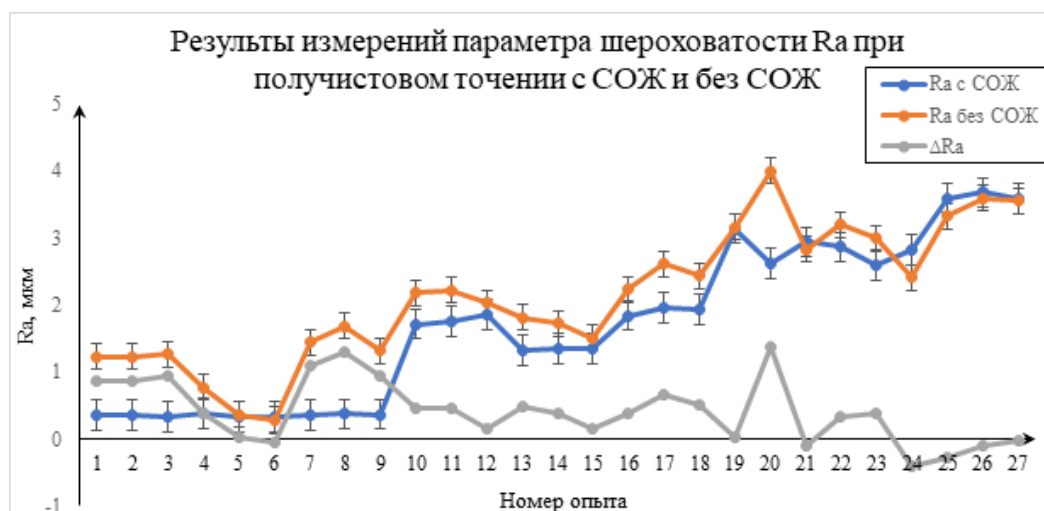


Рис. 6. Сравнение экспериментальных данных по измерению параметра Ra при получистовом продольном точении с применением СОЖ и без

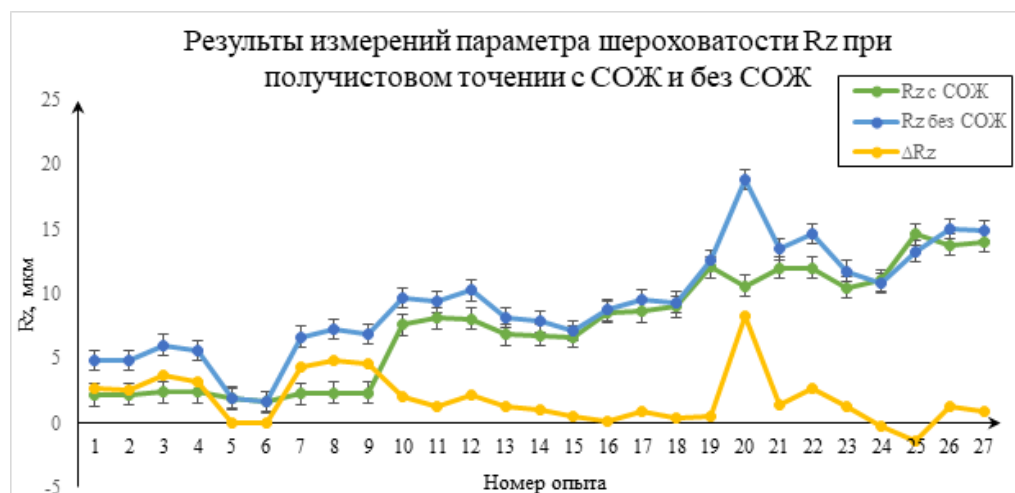


Рис. 7. Сравнение экспериментальных данных по измерению параметра Rz при получистовом продольном точении с применением СОЖ и без

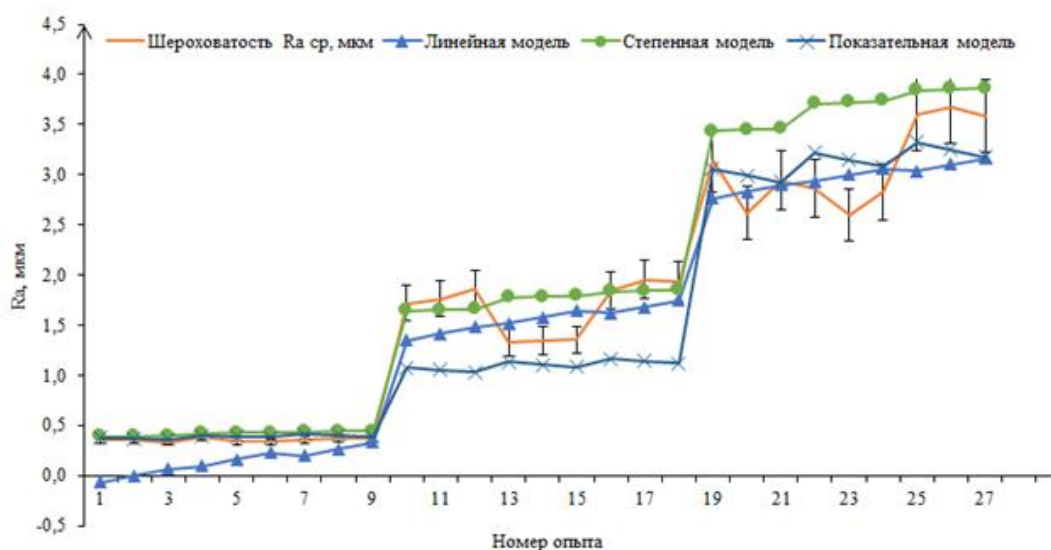


Рис. 8. Сравнение полученных регрессионных моделей: линейной, степенной, показательной – для случая обработки с СОТС

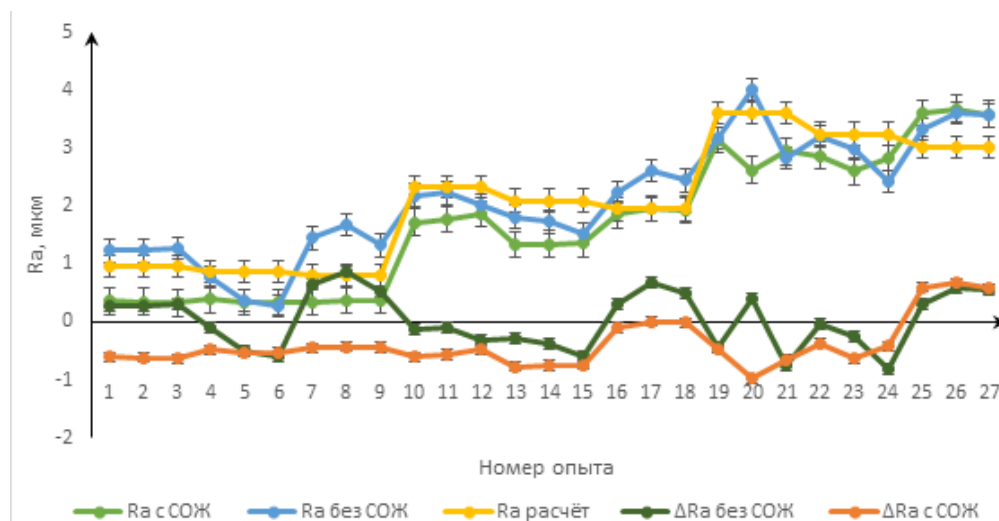


Рис. 9. Сравнение экспериментальных данных по измерению параметра Ra при получистовом продольном точении с применением СОЖ и без СОЖ с расчетными значениями

Таким образом, получены данные позволяющие говорить о том, что известную методику автоматизированного назначения рациональных режимов резания в условиях безлюдной технологии на современных токарных станках с ЧПУ, можно применить на обработку с использованием смазывающе-охлаждающих технологических средств, для чего требуется проведение необходимого количества экспериментов и построение соответствующих регрессионных математических моделей. Данные исследования направлены на выявление корреляции зависимости термоЭДС на шероховатость поверхности при продольном точении стальных заготовок при различных параметрах резания. Необходимо дальнейшее изучение и масштабирование исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Plotnikov, A. L., Chigirinskii, Yu. L., Frolov, E. M., Krylov, E. G. Formulating CAD/CAM modules for calculating the cutting conditions in machining. Russian Engineering Research. 5 (29), 512-517 (2009). DOI: 10.3103/S1068798X09050207.
2. Plotnikov, A. L., Krylov, E. G., Frolov, E. M. Diagnostics of the state of a multicutter hard-alloy tool on the basis of thermoelectric phenomena in the cutting zone. Russian Engineering Research, 2 (30), 161-165 (2010). DOI: 10.3103/S1068798X10020140.
3. Kraynev, D., Bondarev, A., Tikhonova, Z. (2020). Mathematical Apparatus for Predicting Cutting Tool Life in Turning Process After Prior Plastic Deformation. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvenskiy, Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_118.
4. Tikhonova, Zh., Kraynev, D., Frolov, E. (2020). Thermo-Emf as Method for Testing Properties of Replaceable Contact Pairs. In: Radionov, A., Kravchenko, O., Guzeev, V., Rozhdestvenskiy, Y. (eds) Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_117.
5. Frolov, E. M., Rogachev, A. V. Intellectual device for automated assignment of turning modes (Intellectualnoye ustroystvo avtomaticheskogo naznacheniya rezhimov tocheniya). In: Zverovshchikov, A.E. et al. (eds.). Actual problems of machine building – 2023 (Aktualnye problem stankostroyeniya), pp. 411-415. Penza State University, OO “StaknoMashStroy” et al., Penza (2023).
6. Определение рациональных условий эксплуатации твердосплавного инструмента с наноструктурированным поверхностным слоем рабочей части по критерию повышения долговечности при точении конструкционных материалов различных групп : заключительный отчет о НИР № 101-01/2021 (26/365-21) ; ВолгГТУ, ИМАШ РАН. – 2021.
7. Svid. about the state registration of the computer program No. 2012617650 dated August 24, 2012 of the Russian Federation, IPC (no). Calculation of the value of the arithmetic mean deviation of the profile of the treated surface during semi-finishing and finishing face milling of structural carbon and low-alloy steels / A. L. Plotnikov, A. S. Sergeev, N. G. Zaitseva; VolgSTU. - 2012.