

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. Rajakumari, P. T. (2013). Online monitoring of drilling carbon fiber reinforced polymeric nanocomposite laminates using acoustic emission technique. *A thesis submitted by in partial fulfillment for the requirement of award of the degree of doctor of philosophy faculty of mechanical engineering (Anna University, Chennai)*, 171 p.

10. Andoh, P. Y., Davis, F., Owusu-Ofori, S. (2010). Development of a control strategy for monitoring the delaminating damage in drilling of carbon composite laminates. *Journal of Science and Technology*, vol. 30, no.2. – pp. 142–156.

11. Filonenko, S., Nimchenko, T. (2015) Simulation of acoustic emission in composite material machining with regard to its physical and mechanical. *Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no 2 (7), pp. 44–50 (in English).

12. Filonenko, S. F. (2015). Vliianie svoystv obrabatyvaemogo kompozitsionnogo materiala na akusticheskuu emissiiu [Impact of processed composite material properties on the acoustic emission]. *Vostochno-evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 5 (74), pp. 60–64 (in Russian).

13. Filonenko, S. F. (2015). Vliianie svoystv obrabatyvaemogo kompozitsionnogo materiala na energeticheskie parametry akusticheskoi emissii [Impact of the processed composite material properties on the energy parameters of acoustic emission]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Bulletin of engineering academy of Ukraine*, no 4, pp. 187–192 (in Russian).

**Філоненко Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, директор Інституту інформаційно-діагностических систем, Національний авіаційний університет (просп. Комарова, 1, г. Київ, 03058, Україна).  
**Філоненко Сергій Федорович** – доктор технічних наук, професор, директор Інституту інформаційно-діагностических систем, Національний авіаційний університет (просп. Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).  
**Filonenko Sergey** – Doctor of Technical Sciences, professor, director of the Institute of Informational-Diagnostic Systems, National Aviation University (1 Komarova Av., 03058 Kyiv, Ukraine).  
**E-mail:** fils0101@gmail.com

УДК 620.178

*Владимир Анисимов, Владимир Анисимов, Александр Чуприна*

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

*Володимир Анісімов, Володимир Анісімов, Олександр Чуприна*

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЗУСИЛЛЯ РІЗАННЯ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

*Vladimir Anisimov, Vladimir Anisimov, Alexandr Chuprina*

## PROGRESSIVE RESEARCH DIRECTIONS IN THE SPHERE OF CUTTING FORCES MEASUREMENT IN TURNING

*Существует большое количество методов исследования усилия резания, которые в большинстве являются эмпирическими. Систематизированы методики исследования усилия резания. Представлены реализованные авторами концептуальные решения для измерения усилия резания при точении. Предложены новые направления разработки и конструкции устройств для измерения усилия резания при точении.*

**Ключевые слова:** усилие резания, точение, измерение, резец, тензодатчик.

*Рис.:5. Библ.:5.*

*Існує велика кількість методів дослідження зусилля різання, які в більшості є емпіричними. Систематизовано методики дослідження зусилля різання. Представлено реалізовані авторами концептуальні рішення для вимірювання зусилля різання під час точіння. Запропоновано нові напрямки розроблення та конструкції пристроїв для вимірювання зусилля різання під час точіння.*

**Ключові слова:** зусилля різання, точіння, вимірювання, різець, тензодатчик.

*Рис.:5. Бібл.:5.*

*There are many methods of cutting force investigations, most part of them are empirical. Methods of studying cutting force are systematized. Implemented by authors conceptual solutions for cutting force measurement during turning are presented. New directions of development and designs of devices for cutting force measurement when turning are proposed.*

**Key words:** cutting force, turning, measuring, cutter, strain gauge.

*Fig.:5. Bibl.:5.*

**Постановка проблеми, анализ последних исследований и публикаций.** При интенсивном развитии современных технологий в машиностроении обработка резанием остается актуальной частью технологии формообразования и размерной обработки деталей машин. На данный момент существует множество методик расчета режимов резания и расчета параметров режущего инструмента. Эти методики основаны на обработке эмпирических данных методами статистики и построением эмпирических формул

[1] либо на основе глубоких теоретических исследований свойств материалов и моделирования процессов с применением сложного математического аппарата.

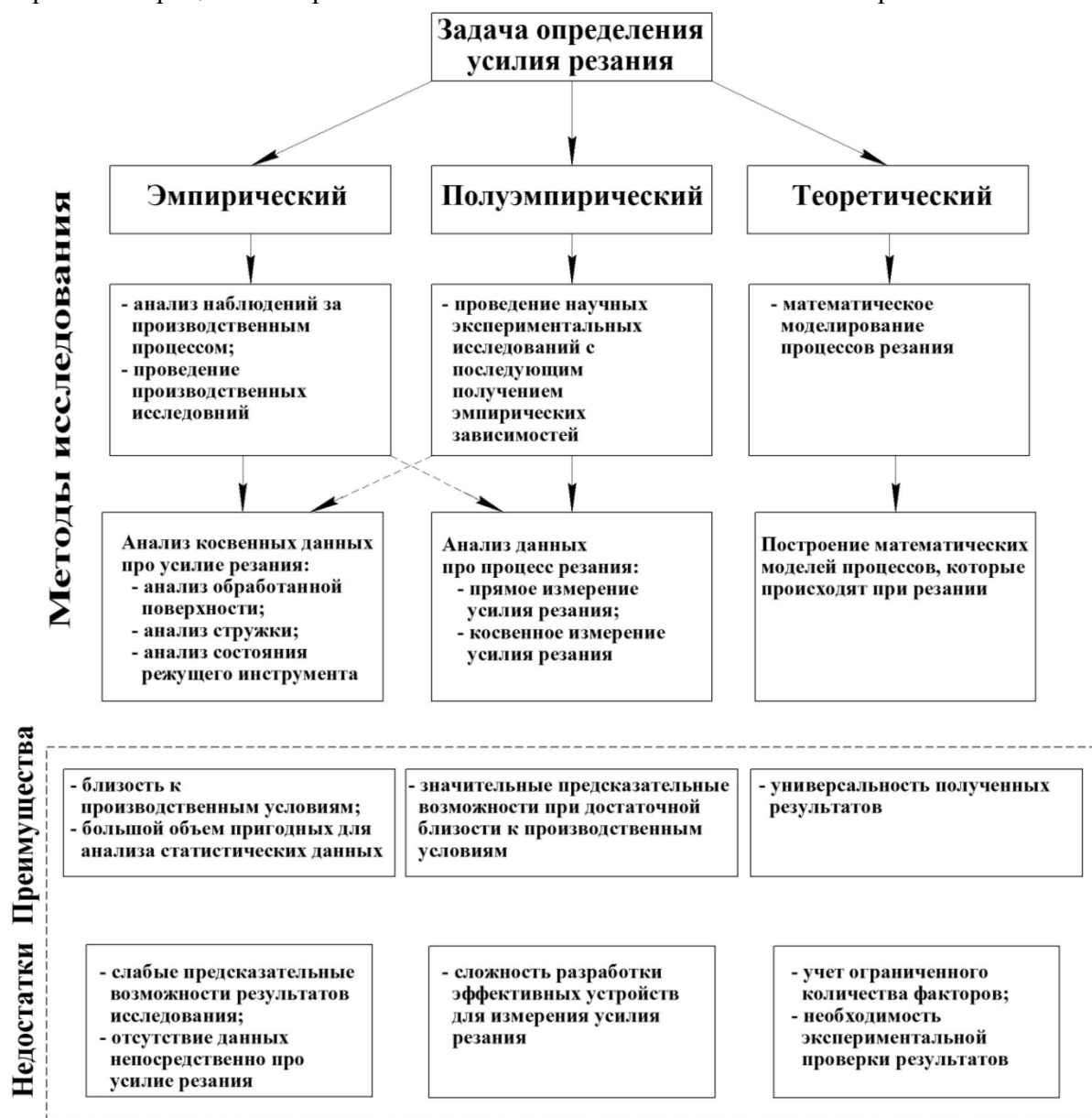


Рис. 1. Основные пути решения задачи предсказания усилия резания

Таким образом, существует множество путей решения задач параметризации процессов резания и, в частности, предсказания усилия резания. Одним из наиболее перспективных, на взгляд авторов, является полуэмпирический путь, который позволяет совместить относительную простоту эмпирических и высокую точность теоретических методов.

**Изложение основного материала. Ранее выполненные разработки.** На первом этапе исследований было разработано приспособление для исследования усилия резания РИТ-С [2].

Предложенное техническое решение заключается в отделении головки измерительного устройства от корпуса, а также использовании жесткой механической системы, которая, с одной стороны, передает усилие резания с головки на измерительный элемент (планку тензодатчика), а с другой – не препятствует установке устройства на действующем оборудовании.

Разработанное устройство (рис. 2), которое получило название «резец измерительный тензометрический сборный» (РИТ-С), позволяет выделять из суммарного усилия резания одну из его составляющих –  $P_z$  и измерять ее.

Рассмотрим глубже конструкцию и принцип работы резца.

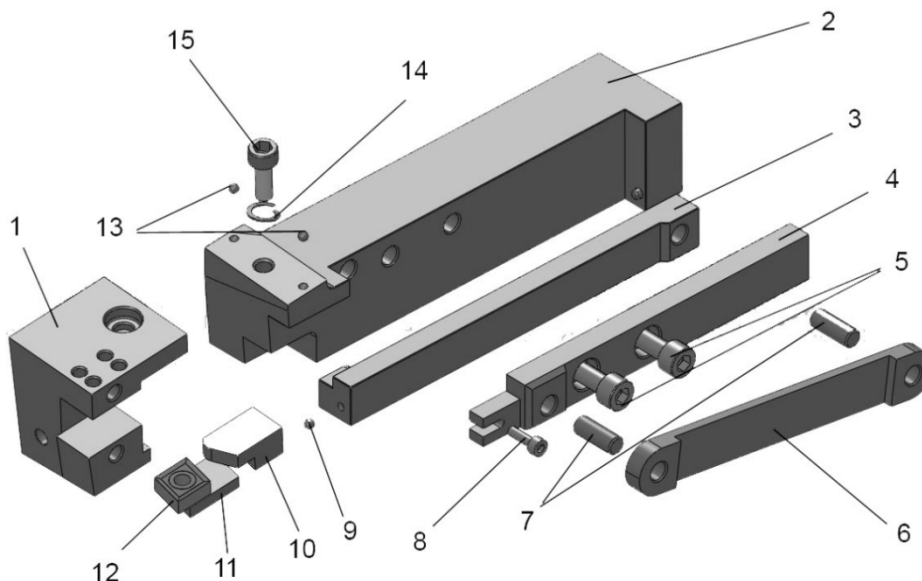


Рис. 2. Конструкция РИТ-С:

1 – головка; 2 – корпус; 3 – нижняя планка; 4 – верхняя планка; 5 – болты М6; 6 – планка тензодатчика; 7 – оси; 8 – болт М3; 9 – нажимной шарик; 10 – прокладка верхняя; 11 – прокладка нижняя; 12 – режущая пластина; 13 – опорные шарики; 14 – пружина; 15 – прижимной болт

Резец состоит из корпуса (2), головки (1), которая опирается на корпус при помощи двух опорных шариков (13), а третьим, нажимным шариком (9), давит на систему планок, которая состоит из жестко закрепленной верхней планки (4), нижней планки (3) и планки тензодатчика (6). В головке резца с помощью четырех прижимных болтов закрепляется режущая пластина (12). Предварительное натяжение системы осуществляется при помощи прижимного болта (15).

Под действием силы резания головка давит на нижнюю планку, что приводит к растяжению планки тензодатчика, на которой наклеен сам тензодатчик.

Сигнал с тензодатчика усиливается с помощью тензометрического усилителя, например УТ4-1, фиксируется аналогово-цифровым преобразователем и передается на компьютер, где из сигнала формируются таблицы данных.

Проведены тарировочные испытания и теоретические расчеты, которые показали следующее: данное устройство способно измерять усилие от 1 Н; рекомендуемый диапазон нагрузок – от 100 Н до 1000 Н; при разгрузке системы возникает небольшой прогнозируемый гистерезис; погрешность устройства в рекомендованном интервале не превышает 3%.

Разработанное устройство может закрепляться в резцедержателе любого универсального токарного станка, не препятствует доступу к зоне резания, обеспечивает возможность подвода СОЖ, имеет наглядный вид и может быть использовано как в учебном процессе так в научных целях.

#### **Перспективные направления исследований и их концепции**

По результатам предыдущих разработок и исследований сформировано концепции:

– при измерении одной составляющей усилия резания необходимо добиваться отсутствия влияния остальных составляющих на показания;

– для трехкоординатного усилия резания необязательно измерять отдельно каждую составляющую, достаточно лишь разработать методику однозначной расшифровки из совместного действия;

– устройство для измерения усилия резания должно разрабатываться на основе токарного резца, тогда оно будет универсальным, сможет применяться в условиях, близких к производственным.

Вышеперечисленные концепции дали возможность сформировать перспективные направления исследований в области измерения усилия резания (рис. 3).



Рис. 3. Перспективные направления исследований в области измерения усилия резания

Рассмотрим представленные направления исследований более подробно.

Устройство для измерения усилия резания РИТ-С2 представляет собой развитие конструкции РИТ-С. В нем сохраняется идея отделения головки резца от корпуса, но предлагается изменить механическую систему передачи усилия резания на чувствительный элемент. Конструкция РИТ-С2 представлена на рис. 4.

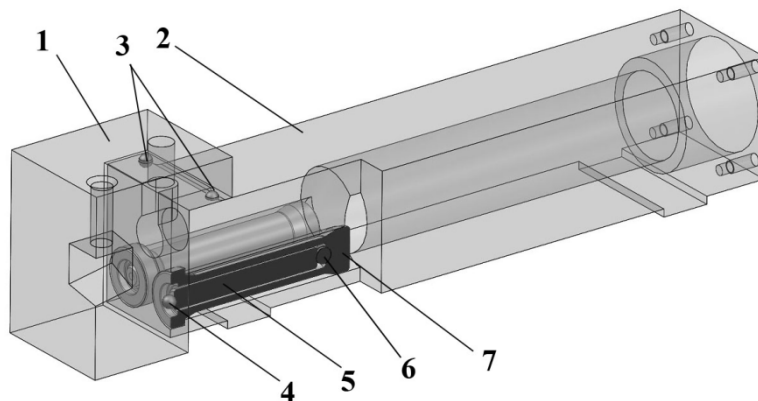


Рис. 4. Конструкция РИТ-С2: 1 – головка; 2 – корпус (державка); 3 – опорные шарики; 4 – упорный шарик; 5 – стержень мездозы; 6 – шаровая опора; 7 – стакан

Как и в РИТ-С, усилие резания передается с головки 1 через упорный шарик 4. Однако в качестве механической системы передачи усилия используется мездоза. Усилие резания со стержня 5 мездозы через шаровую опору 6 передается на стакан 7, на котором наклеен тензодатчик. В корпусе резца предусмотрено глухое отверстие для вывода проводов.

В данном приспособлении система передачи усилия резания надежно защищена корпусом резца от внешних воздействий. Также устройство имеет более простую систему шарниров, что уменьшает гистерезис показаний.

Устройства для трехкоординатного измерения усилия резания призваны отбросить задачу механического отделения составляющих усилия резания как таковую. В то же время возникает задача разработки схемы наклейки тензодатчиков и методики расшифровки сигналов от них.

Самым простым примером реализации трехкоординатного измерения усилия резания является «резец измерительный тензометрический трехкоординатный» (РИТ-3D). Он представляет собой стандартный токарный резец со специальным образом наклеенными тензодатчиками и большим вылетом из резцедержателя. Схема РИТ-3D представлена на рис. 5.

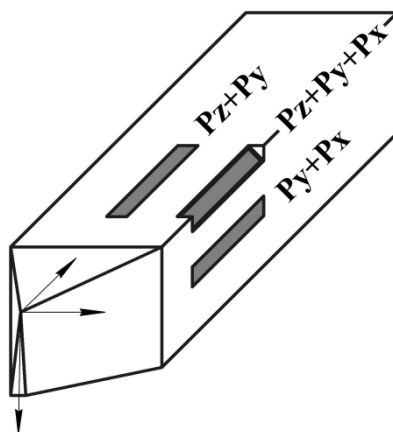


Рис. 5. Схема приспособления для трехкоординатного измерения усилия резания РИТ-3D

Основная идея трехкоординатного измерения усилия резания заключается в том, что оно измеряется одновременно тремя датчиками в различных местах сечения резца, а потом полученные сигналы расшифровываются и преобразуются в значение составляющих усилия резания.

В частности, датчик на горизонтальной поверхности резца (рис. 4) воспринимает составляющие  $P_z$  и  $P_y$ , а составляющую  $P_x$  не воспринимает, т. к. находится на нейтральной линии при изгибе в этом направлении. Угловой датчик воспринимает все три составляющие, а датчик на вертикальной стенке, соответственно, не воспринимает составляющую  $P_z$ .

Расшифровка сигналов датчиков сводится к решению системы уравнений (1):

$$\begin{cases} A = P_x + P_y; \\ B = P_x + P_y + P_z; \\ C = P_y + P_x. \end{cases} \quad (1)$$

где  $A, B, C$  – сигналы датчиков;  $P_z, P_y, P_x$  – составляющие усилия резания.

Основным предполагаемым недостатком данной конструкции является слабая чувствительность резца из-за значительной его жесткости. Возможные пути избавления от этого недостатка:

- увеличение вылета резца из резцедержателя;
- уменьшение осевого момента инерции поперечного сечения резца в месте наклейки тензодатчиков, например, выполнение специальных пропилов с целью уменьшения жесткости;
- увеличение количества параллельно работающих тензодатчиков.

Идеи уменьшения жесткости корпуса резца и увеличения количества тензодатчиков нашли реализацию в проекте резца для трехкоординатного измерения усилия резания «Резец-Т», общий вид которого представлен на рис. 6.

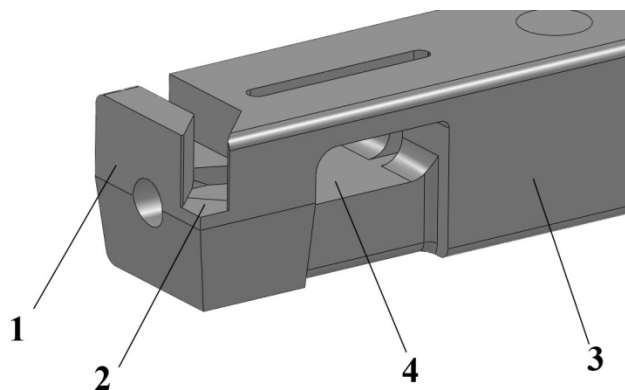


Рис. 6. Конструкция приспособления для трехкоординатного измерения усилия резания Резец-Т

Из рис. 6 видно, что данное приспособление для измерения усилия резания имеет выемку сложной формы, которая позволяет уменьшить жесткость резца, и, как следствие, повысить чувствительность приспособления.

Представленные выше приспособления для измерения усилия резания открывают широкий спектр исследований силовой стороны процессов резания.

Одним из наиболее тривиальных направлений является исследование влияния смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) на усилие резания. Уже на данный момент проведены некоторые исследования, которые показали, что грамотный с позиции усилия резания подбор СОЖ позволяет уменьшить энергопотребление при резании на 10 – 15 % без каких-либо дополнительных затрат.

Нетривиальным направлением является исследование усилия резания при электротокерной обработке. Известно, что при пропускании электрического тока через зону резания обрабатываемый материал в ней нагревается и размягчается вплоть до расплавления, что значительно уменьшает усилие резания. Но для выявления наиболее эффективных режимов такой обработки необходимы соответствующие устройства для измерения усилия резания, которые и представлены выше.

Также перспективным направлением является исследование процесса резания полимеров. В последнее время использование полимеров стало широко распространенным во многих отраслях машиностроения и не только. Тем не менее основная доля изделий из полимеров изготавливается методом формовки и имеет невысокую точность в сравнении с изделиями из металла после механической обработки. Поэтому актуальным является получение и систематизация данных про оптимальные режимы обработки полимеров резанием.

На данный момент уже проведены некоторые исследования в этом направлении, которые представлены в [3; 4;5].

**Выводы и предложения.** Из вышеизложенного материала видно, что уже существует ряд исследований в области измерения усилия резания. Есть множество идей и предложений для дальнейших исследований в этой области, некоторые из которых освещены в данной статье. Подобные решения возможно предложить и для других методов обработки, например для сверления, фрезерования и др. Также интерес представляет исследование напряженного состояния режущего инструмента с позиции измерения усилия резания. Некоторые из описанных направлений уже находятся на разных стадиях реализации, другие существуют лишь в форме идеи, но все они в той или иной степени могут помочь глубже понять механизм процесса резания или получить прикладные результаты.

#### Список использованных источников

1. Штучный Б. П. Обработка пластмасс резанием : справочное пособие / Б. П. Штучный. – М. : Машиностроение, 1974. – 145 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. *Анисимов В. В.* Разработка приспособления для измерения усилия резания при точении / В. В. Анисимов, О. Л. Чуприна // Труды VII Международной научно-практической конференции “Trans-Mech-Art-Chem”. – М. : МИИТ, 2010. – С. 8–9.

3. *Оптимизация режимов резания при механической обработке ароматического полиамида* / О. С. Кабат, А. Л. Чуприна, В. И. Сытар, В. В. Анисимов // Вопросы химии и химической технологии. – 2011. – № 5. – С. 201–204.

4. *Анісімов В. В.* Технологія обробки різанням литих газокристалічних матеріалів / В. В. Анісімов, О. Л. Чуприна // Тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія і сучасні технології». – Дніпропетровськ, 2009. – С. 243.

5. *Новая конструкция устройства для многокоординатного измерения усилия резания при точении* / В. В. Анисимов, К. Н. Строчиков, А. Л. Чуприна, А. П. Клименко // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Хімія і сучасні технології». – Дніпропетровськ, 2013. – Т. 1. – С. 107.

## References

1. Shtuchnyi, B. P. (1974). *Obrabotka plastmass rezaniem: spravocnoe posobie [Plastic Machining Process]*. Moscow: Mashinostroenie, 145 p. (in Russian).

2. Anisimov, V. V., Chuprina, O. L. (2010). *Razrabotka prispobleniia dlia izmereniia usilii rezanii pri tochenii [Tools development for measuring cutting force during the turning]*. Proceedings of the *Trudy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Trans-Mech-Art-Chem”- VII International scientific-practical conference “Trans-Mech-Art-Chem”*. Moscow: МИИТ, pp. 8–9 (in Russian).

3. *Kabat, O. S., Chuprin, A. L., Syta, V. I., Anisimov, V. V.* (2011). *Optimizatsiia rezhimov rezanii pri mekhanicheskoi obrabotke aromaticeskogo poliamida [Optimization of cutting modes during machining aromatic polyamide]*. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii – Issues of Chemistry and Chemical Technology*, no 5, pp. 201–204 (in Russian).

4. *Anisimov, V. V., Chupryna O. L.* (2009). *Tekhnolohiia obrobky rizanniam lytykh hazokrystalichnykh materialiv [Cast gas crystal materials processing technology by cutting]* Proceedings of the *Tezy dopovidei IV Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Khimiia i suchasni tekhnolohii» – IV International scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists «Chemistry and modern technology»*. Dnipropetrovsk, 243 p. (in Ukrainian).

5. *Anisimov, V. V., Storchikov, K. N., Chuprina, A. L., Klimenko, A. P.* (2013). *Novaia konstruktsiia ustroistva dlia mnogokoordinatnogo izmereniia usilii rezanii pri tochenii [The new device designed for multi-axis cutting force measurement during turning]*. Proceedings of the *Tezy dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh «Khimiia i suchasni tekhnolohii» – IV International scientific-technical conference of students, postgraduates and young scientists «Chemistry and modern technology»*. Dnipropetrovsk, vol. 1, 107 p. (in Ukrainian).

**Анисимов Владимир Владимирович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).

**Анісімов Володимир Володимирович** – кандидат технічних наук, асистент кафедри машинобудування та інженерної механіки, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

**Anisimov Vladimir** – PhD in Technical Sciences, Assistant of mechanical engineering department, SHED “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

**E-mail:** wovilon@mail.ru

**Анисимов Владимир Николаевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения и инженерной механики, ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).

**Анісімов Володимир Миколайович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри машинобудування та інженерної механіки, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

**Anisimov Vladimir** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of mechanical engineering department, SHED “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).

**E-mail:** vn7anisimov@ukr.net

**Чуприна Александр Леонидович** – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения и инженерной механики, ГБУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепропетровск, 49005, Украина).

**Чуприна Олександр Леонідович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування та інженерної механіки, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна).

**Chuprina Alexandr** – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of mechanical engineering department, SHED “Ukrainian State University of Chemical Technology” (8 Gagarina Av., 49005 Dnepropetrovsk, Ukraine).