

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MECHANICAL PROCESSING OF STRUCTURALLY COMPLEX COMPONENTS BY TOOLS MADE OF EXTRA-HARD MATERIALS

E. Kudryashov, Doctor of Technical sciences, Full Professor
E. Pavlov, Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Head of a Chair
E. Yatsun, Candidate of Technical sciences, Head of a Chair, Associate Professor
Southwestern State University, Russia

This article contains the results of research devoted to the determination of efficiency of tools made of super-hard materials in the processing of structurally complex engineering components.

Keywords: technological process, turning, chisel, composite, processed surface, quality, accuracy, efficiency.

Conference participants National Research Analytics Championship, Open European-Asian Research Analytics Championship

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОНСТРУКТИВНО СЛОЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИНСТРУМЕНТАМИ ИЗ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кудряшов Е.А., д-р техн. наук, проф.
Павлов Е.В., канд. техн. наук, доцент
Яцун Е.И., канд. техн. наук, доцент
Юго-Западный государственный университет, Россия

В данной статье содержатся результаты научно-исследовательской работы по определению работоспособности инструментов из сверхтвердых материалов при обработке конструктивно сложных деталей машиностроительного назначения

Ключевые слова: технологический процесс, точение, резец, композит, обрабатываемая поверхность, качество, точность, эффективность.

Участники конференции, Национального первенства по научной аналитике, Открытого Европейско-Азиатского первенства по научной аналитике

В различных отраслях промышленности достаточно широкое применение находят детали с комбинированными поверхностями, состоящие из разнородных конструкционных материалов, у которых основным элементом конструкции является металлическая основа, образующая с пластмассовым наполнителем неразъемное соединение.

В изготовлении подобных деталей главной технологической проблемой является инструментальное обеспечение и выбор способа обработки для воспроизводства заданных точностных и качественных показателей. Традиционными инструментальными материалами комбинированные поверхности практически не поддаются обработке, поэтому требуются дополнительные решения, вплоть до внесения изменений в конструкцию детали.

Как свидетельствуют результаты исследования и промышленный опыт, возможности интенсификации режимов резания деталей повышенной конструктивной сложности традиционными инструментальными материалами практически исчерпаны. В настоящее время исследования в основном направлены на снижение расхода инструментальных материалов на единицу инструмента. Они касаются выявления резервов производства за счет интенсификации режимов обра-

ботки путем оптимизации геометрических параметров режущей части инструмента. Такой подход к созданию современной технологии носит ограниченный характер, так как дальнейшее развитие механики процесса резания должно быть направлено не только по пути уточнения отдельных положений, но и раскрытия ключевых особенностей процесса резания, в том числе новыми инструментальными материалами, в приложении к точению конструктивно сложных поверхностей.

Недавние ограничения в применении современного инструментального обеспечения для обработки точением конструктивно сложных поверхностей деталей касались известных положений о высокой хрупкости инструментальных материалов, в частности композитов, особенно при обработке прерывистых, направленных и комбинированных поверхностей, состоящих из разнородных конструкционных материалов.

О высокой работоспособности этих прогрессивных инструментальных материалов свидетельствует накопленный опыт исследований в области обработки композитами гладких и прерывистых, восстановленных наплавкой поверхностей деталей при чистовом и отделочном, в том числе и сверхскоростном резании, в самых экстремальных условиях [1-6].

Известны причины, обуславливающие неустойчивый характер процесса резания конструктивно сложных поверхностей деталей: цикличность за счет чередования гладких и прерывистых участков обрабатываемой поверхности, изменения и колебания сил резания, температуры, а так же изменение условий стружкообразования. Нестабильность прерывистого резания влияет на износ инструментов, определяет стойкость и, в конечном счете, качественные показатели процесса.

При прерывистом резании через промежутки времени, измеряемые секундами или долями секунд, резание чередуется с холостым пробегом режущей кромки инструмента. Начало каждого резания осуществляется или при нулевой (например, при встречном фрезеровании), или при всей заданной толщине (строгание) срезаемого слоя. Возникает ряд специфических явлений, в результате которых изменение стойкости инструмента подчиняется иным зависимостям и закономерностям, чем при непрерывном резании.

Особенности этих закономерностей наиболее резко проявляются при работе твердосплавным инструментом и инструментом из сверхтвердых материалов.

Проблема оптимального контакта

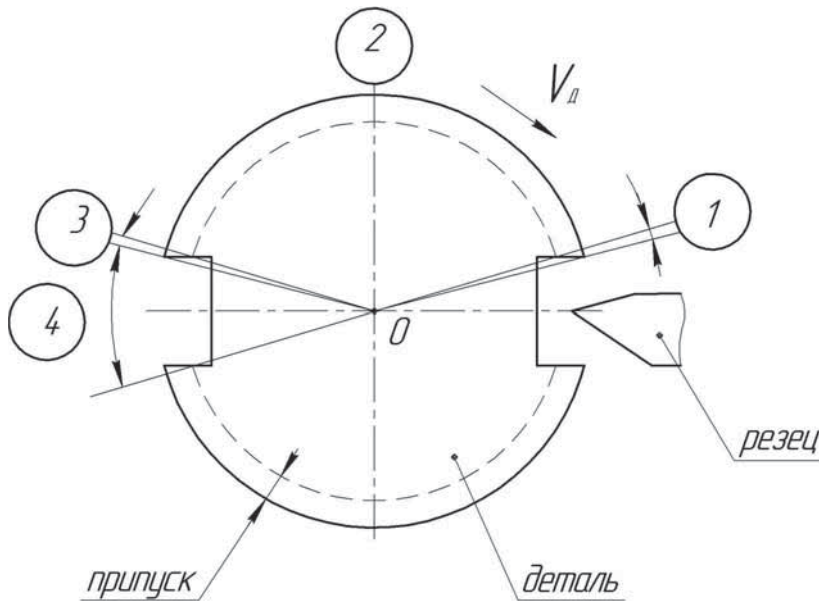


Рис. 1. Схема обработки прерывистой поверхности детали

актуальна и сейчас, когда отечественная металлообрабатывающая отрасль получает разнообразное инструментальное обеспечение, в том числе лезвийные инструменты, оснащенные поликристаллическими сверхтвёрдыми материалами на основе кубического нитрида бора – торговая марка композиты.

По своей природе, специфике процесса получения, все композиты относятся к категории хрупких инструментальных материалов; их кристаллическая структура не свободна от микротрещин, что является основной причиной сдерживания использования композитов при обработке прерывистых поверхностей, при ударных нагрузках на режущую часть инструмента.

Известно одно из простых решений этой проблемы – применить у режущих элементов положительный угол наклона главной режущей кромки. Действительно, при обработке прерывистых поверхностей происходит некоторое повышение стойкости инструмента, поскольку врезание в обрабатываемую поверхность заготовки происходит не вершиной (что приводит к ее выкрашиванию и разрушению), а периферией режущей кромки. Но, в связи с высокой хрупкостью, это решение для композитов не является приемлемым.

Обобщенный опыт исследований в области чистовой обработки ком-

позитами конструктивно сложных поверхностей деталей позволяет сделать заключение о том, что при точении прерывистых поверхностей имеет место закономерное чередование рабочих ходов со снятием стружки и холостых пробогов инструмента. За полный цикл обработки прерывистой поверхности инструмент осуществляет: 1) врезание; 2) рабочий ход (резание); 3) выход из контакта с обрабатываемой поверхностью; 4) холостой пробег (рис. 1).

Отличие обработки поверхности, например, состоящей из чередующихся участков металла и пластмассы, заключается в отсутствии холостого пробега инструмента. За обработкой металлического участка следует резание пластмассового и т.д. В свою очередь при резании каждого участка имеется три этапа: 1) врезание; 2) рабочий ход; 3) выход инструмента из контакта с металлом и врезание в пластмассу (рис. 2).

Величина припуска и частота повторения этапов процесса резания имеют нерегулярный характер и определяются конструкцией детали.

В зависимости от геометрии режущей части резца и его положения относительно обрабатываемой поверхности заготовки, первоначальный контакт (врезание) может произойти в одном из следующих положений режущей части инструмента и поверхности резания: а) точечный контакт вершины инструмента A с точками плоскости среза S, T, U или V ; б) линейный контакт режущей кромки инструмента с сечением плоскости среза ST, TU, UV или VS ; в) плоскостной контакт $STUV$ передней поверхности резца с обрабатываемой поверхностью заготовки (рис. 3).

Из девяти возможных вариантов первоначального контакта самый неблагоприятный контакт вершина рез-

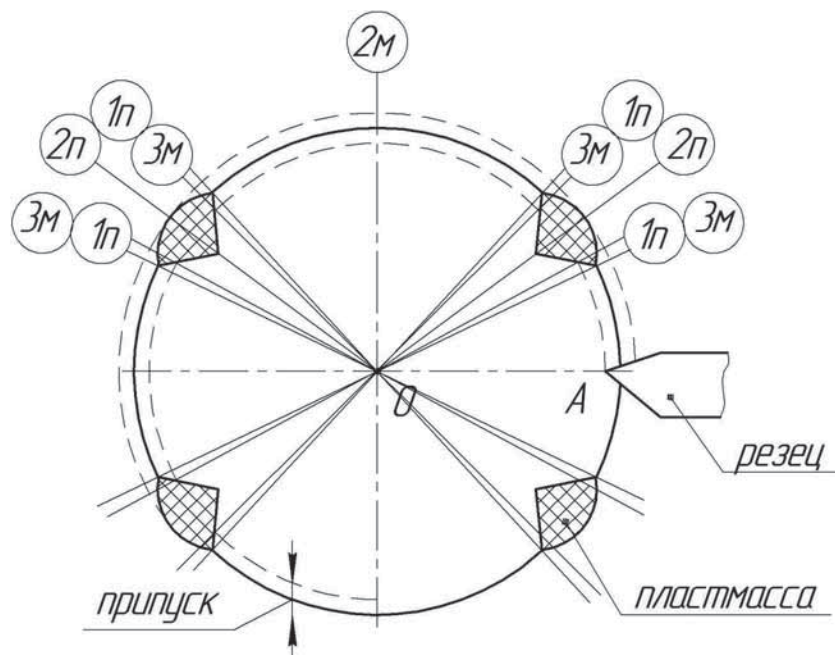


Рис. 2. Схема обработки поверхности из двух конструктивных материалов (п – пластмасса, м – металл)

ца A с точкой плоскости среза S и наиболее выгодный, с точки зрения стойкости инструмента, контакт передней поверхности реза с обрабатываемой поверхностью заготовки $STUV$.

Очевидно, что вариант плоскостного контакта $STUV$ является предпочтительным, поскольку нагрузка одновременно и равномерно принимается всей передней поверхностью реза (см. рис. 3).

Оптимальному контакту передней поверхности реза с поверхностью заготовки $STUV$ соответствует определенное значение угла β (угол поворота заготовки до первого касания передней поверхности инструмента с

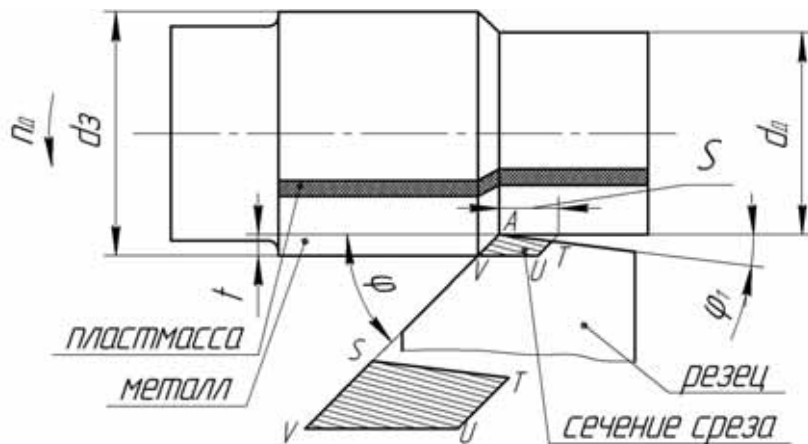


Рис. 3. Возможные варианты контакта реза с обрабатываемой поверхностью

$$\beta = \frac{\pi}{2} - (\delta - \delta') - (\varepsilon - \varepsilon') = \frac{\pi}{2} - \Delta\delta - \Delta\varepsilon \quad (1)$$

поверхностью резания) (рис. 4).

На рис. 4 и в формуле (1): δ и δ' – минимальный и максимальный угол касания вершины инструмента A к минимально и максимально расположенным точкам контакта обрабатываемой поверхности металлического и пластмассового участков (r_{3min}, r_{3max}); ε и ε' – минимальный и максимальный угол, образованный линией касания, проходящей через центр заготовки, вершину инструмента и точку M , образованную на оси ординат перпендикуляром из вершины инструмента A .

В этом положении режущей части инструмента и обрабатываемой по-

верхности расчетным путем найден угол поворота β , а так же критические значения углов γ и λ реза, соответствующие оптимальной работоспособности инструмента.

Угол поворота (2)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\beta &= \left(\frac{\pi}{2} - \delta - \varepsilon\right) - \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \delta' - \varepsilon'\right) = \frac{l \cdot \sqrt{(r_{3min} - t)^2 - a_{min}^2} - a_{min} \sqrt{(r_{3min} - t)^2 - l^2}}{l \cdot a_{min} + \sqrt{(r_{3min} - t)^2 - l^2} \cdot \sqrt{(r_{3min} - t)^2 - a_{min}^2}} - \\ &= \frac{l \cdot \sqrt{(r_{3max} - t)^2 - a_{max}^2} - a_{max} \cdot \sqrt{(r_{3max} - t)^2 - l^2}}{l \cdot a_{max} + \sqrt{(r_{3max} - t)^2 - l^2} \cdot \sqrt{(r_{3max} - t)^2 - a_{max}^2}} = \\ &= \frac{l \cdot \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - \Delta a^2} - \Delta a \cdot \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - l^2}}{l \cdot \Delta a + \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - l^2} \cdot \sqrt{(\Delta r_3 - \Delta t)^2 - \Delta a^2}} \quad (2) \end{aligned}$$

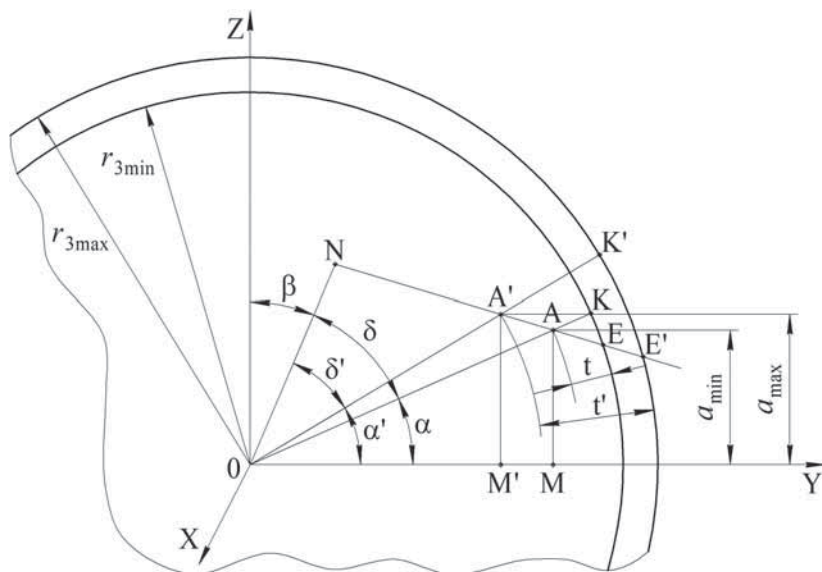


Рис. 4. Схема определения угла поворота заготовки до первого касания передней поверхности инструмента с поверхностью резания

Критическое значение углов реза

В формулах (2) и (3): t и t' – изменение глубины резания вследствие колебания величины припуска металлического и пластмассового участков, мм; a_{min}, a_{max} – минимальная и максимальная величина смещения вершины инструмента A (A') в момент первоначального контакта

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\gamma_{кр} &= \frac{\operatorname{tg}\rho[\cos(\varphi + \varphi_1)]}{\cos\varphi_1 + \operatorname{tg}\beta \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \sin\varphi}; \\ \operatorname{tg}\lambda_{кр} &= \frac{\operatorname{tg}\rho[\sin(\varphi + \varphi_1)]}{\cos\varphi_1 + \operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\varphi_1 \cdot \cos\varphi} \quad (3) \end{aligned}$$

ее с обрабатываемой поверхностью, мм; l – длина участка пластмассы, мм.

В результате обработки исходных данных для возможных девяти вариантов первоначального контакта режущей части инструмента с обрабатываемой поверхностью получено графическое изображение диаграммы выбора геометрии режущей части инструмента из композита для точения конструктивно сложных деталей (рис. 5).

Аналитическое решение проблемы обеспечения оптимального кон-

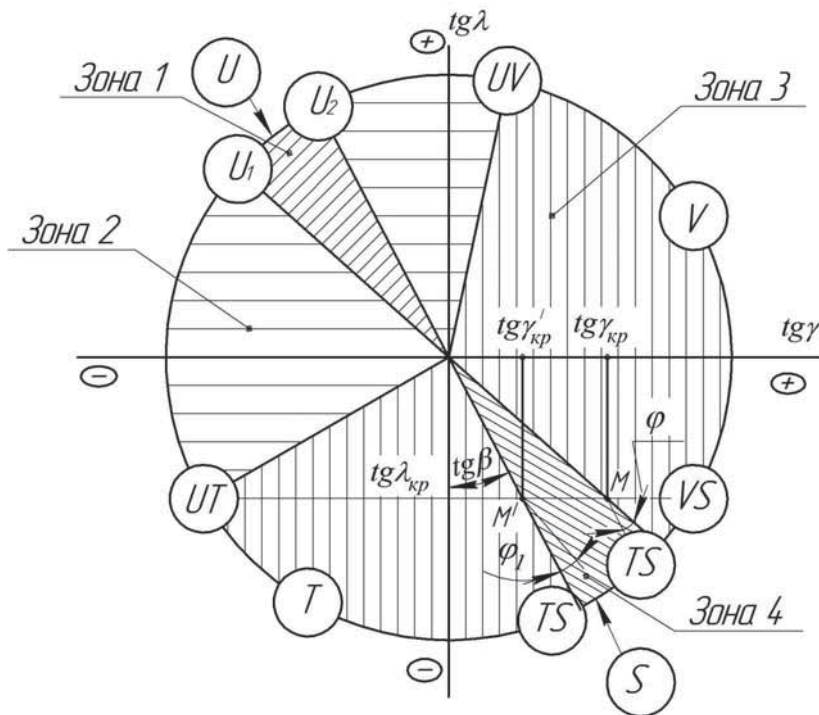


Рис. 5. Диаграмма выбора геометрии режущей части инструмента:

- Зона 1 – оптимальные условия резания (контакт $U, STUV$);
- Зона 2 – хорошие условия резания (контакт U_1-UT, U_2-UV);
- Зона 3 – удовлетворительные условия резания (контакт $UV-VS, UT-TS$);
- Зона 4 – неблагоприятные условия резания (контакт $TS-VS$).

такта режущей части резца с обрабатываемой поверхностью заготовки, представляющей сочетание металлической основы и пластмассы, позволило установить зависимости положения инструмента в процессе точения и рабочими углами резания, как предпосылку нахождения оптимальной геометрии режущей части резца.

Оптимальные условия резания имеют место в случае выбора переднего угла и угла наклона главной режущей кромки резца в зоне 1 при контакте всей передней поверхностью инструмента $STUV$ с поверхностью заготовки в точках U между ограничительными линиями $U_1 - U_2$. Этому условию соответствует конструкция инструмента с геометрией режущей части: отрицательные значения переднего угла и положительные значения угла наклона режущей кромки.

Все другие условия ухудшают работоспособность инструмента, а в зоне 4 (условия контакта $TS - SV$) процесс точения невозможен из-за разрушения режущей части резца.

References:

1. Kudryashov E.A. Obrabotka detalei instrumentom iz kompozitov v oslozhnennykh tekhnologicheskikh usloviyakh [Processing the components with tools made of composites in complicated technological conditions] – Chita., ChitGU, 2002. Vol 1., 257 p, Vol 2., 290p.
2. Kudryashov E.A. Tekhnologicheskie osobennosti lezviinnoi obrabotki kombinirovannykh poverkhnostei detalei kompozitami [Technological features of blade processing of combined surfaces of components by composites]. Obrabotka metallov [Metal processing]. – Novosibirsk., 2002. No.1 (14); pp. 26-228.
3. Kudryashov E.A. Obrabotka detalei iz raznorodnykh konstruktivnykh materialov instrumentom iz kompozitov [Processing the components made of different structural materials with the composite tool] Stanki i instrumenty. [Machines and instruments] STIN. – Moskva., 2008., No. 12., pp. 26-28.

4. Kudryashov E.A., Emel'yanov S.G., Loktionova O.G. Obrabotka paketov iz raznorodnykh materialov instrumentom iz kompozitov [Processing packets made of dissimilar materials with the composite tool] Trudy Arsen'evskogo tekhnologicheskogo instituta DVG TU. – Arsen'ev., ArTI DVG TU, 2009. – Iss.2., pp. 12-17.

5. Kudryashov E.A. Zavisimost' kachestva obrabotki ot geometrii i uslovii kontakta reztsa s konstruktivno-slozhnoi poverkhnost'yu zagotovki [Dependence of the processing quality on geometry and conditions of contact of the cutter with the structurally complicated billet surface]., Izvestiya KurskGTU. – Kursk, 2010., No. 2(31), pp. 77-82.

6. Kudryashov E.A. Effektivnost' instrumental'nogo materiala kompozit 10 pri obrabotke konstruktivno slozhnykh poverkhnostei detalei mashin [The effectiveness of the composite #10 instrumental material at processing of structurally complex surfaces of machine parts] Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie. Nauchnyi zhurnal [Modern technologies. Systemic analysis. Modeling. Scientific journal] – Irkutsk., IrGUPS, 2010, No.2(26), pp. 245-247.

7. Kudryashov E.A. Effektivnaya rabota instrumenta iz kompozita v usloviyakh preryvistogo rezaniya [Efficient work of the composite tool in conditions of interrupted cutting] Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii. [Fundamental and applied problems of engineering and technology] – Orel., Gosuniversitet – UNPK, 2011., No. 6(290), pp. 79-84.

Литература:

1. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненные технологических условиях – Чита: ЧитГУ, 2002. Том 1. – 257с., Том 2. – 290с.
2. Кудряшов Е.А. Технологические особенности лезвийной обработки комбинированных поверхностей деталей композитами //Обработка металлов. – Новосибирск. – 2002. - №1(14). – С. 26-228.
3. Кудряшов Е.А. Обработка деталей из разнородных конструкционных материалов инструментом из

композиатов //Станки и инструменты. СТИН. - М., 2008. - № 12. – С.26-28.

4. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Локтионова О.Г. Обработка пакетов из разнородных материалов инструментом из композиатов //Труды Арсеньевского технологического института ДВГТУ. – Арсеньев: АрТИ ДВГТУ, 2009. – Вып.2. – С. 12-17.

5. Кудряшов Е.А. Зависимость качества обработки от геометрии и условий контакта реза с конструктивно- сложной поверхностью заготовки //Известия КурскГТУ. – Курск, 2010. - №2(31). – С. 77-82.

6. Кудряшов Е.А. Эффективность инструментального материала композит 10 при обработке конструктивно сложных поверхностей деталей машин //Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Научный журнал. – Иркутск: ИрГУПС, 2010. - №2(26). – С. 245-247.

7. Кудряшов Е.А. Эффективная работа инструмента из композита в условиях прерывистого резания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, Госуниверситет – УНПК, 2011. - №6(290). – С. 79-84.

Information about authors:

1. Evgeniy Kudryashov - Doctor of Technical sciences, Full Professor, Southwestern State University address: Russia, Kursk city; e-mail: evp.kstu@mail.ru

2. Evgeniy Pavlov - Candidate of Technical sciences, Associate Professor, Head of a Chair, Southwestern State University; address: Russia, Kursk city; e-mail: evp.kstu@mail.ru

3. Elena Yatsun - Candidate of Technical sciences, Head of a Chair, Associate Professor, Southwestern State University; address: Russia, Kursk city; e-mail: mtio@kurskstu.ru



INTERNATIONAL UNIVERSITY

OF SCIENTIFIC AND INNOVATIVE ANALYTICS OF THE IASHE

- DOCTORAL DYNAMIC SCIENTIFIC AND ANALYTICAL PROGRAMS
- ACADEMIC SCIENTIFIC AND ANALYTICAL PROGRAMS
- INTERNATIONAL ATTESTATION-BASED LEGALIZATION OF QUALIFICATIONS
- SCIENTIFIC AND ANALYTICAL PROGRAM OF THE EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL QUALIFICATION IMPROVEMENT
- DOCTORAL DISSERTATIONAL SCIENTIFIC AND ANALYTICAL PROGRAMS
- BIBLIOGRAPHIC SCIENTIFIC-ANALYTICAL ACADEMIC PROGRAMS
- BIBLIOGRAPHIC SCIENTIFIC-ANALYTICAL DOCTORAL PROGRAMS
- AUTHORITATIVE PROGRAMS



<http://university.iashe.eu>

e-mail: university@iashe.eu

Phone: + 44 (74) 29292337