

УДК 538.91:621.793.182; 620.197

**В. В. Чаевский<sup>1</sup>, Н. Вишняков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса

## **СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ZrC-Ni-УДА-ПОКРЫТИЙ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Определены параметры синтеза и сформированы комбинированные ZrC-Ni-УДА-покрытия на твердосплавных ножах дереворежущего инструмента. ZrC-Ni-УДА-покрытия содержат отдельные фазы никеля, Ni-УДА, графитоподобные фазы ультрадисперсных алмазов, а также фазы карбида циркония ZrC. Поверхность покрытия неоднородна, содержит поры и включения (частицы). Структура нижнего слоя Ni-УДА влияет на морфологию поверхности ZrC-Ni-УДА-покрытия: отдельные частицы УДА присутствуют в порах комбинированного покрытия.

**Ключевые слова:** структура, покрытие, режущий инструмент, ультрадисперсные алмазы, никель, карбид циркония.

**V. V. Chayevski<sup>1</sup>, N. Višniakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Vilnius Gediminas Technical University

## **THE STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF ZrC-Ni-UDD-COATINGS OF A MILLING TOOL**

The parameters of the synthesis of combined ZrC-Ni-UDD-coatings have been determined as well as the coatings have been formed on hard alloy knives of a woodcutting tool. The ZrC-Ni-UDD-coatings consist of separate phases of nickel, Ni-UDD, ultradisperse diamonds phases similar to the graphite phase and zirconium carbide ZrC-phase. The surface morphology of the coating shows a pattern with pits, pores, and dots (particles). The structure of the bottom layer of Ni-UDD affects the morphology of the surface of the ZrC-Ni-UDD coating: separated UDD particles are present in the pores of the combined coating.

**Key words:** structure, coating, cutting tool, ultradisperse diamonds, nickel, zirconium carbide.

**Введение.** Некоторые традиционные твердые керамики, такие как нитриды, карбиды, бориды и оксиды переходных металлов (TiAlN, TiC, TiB<sub>2</sub> и др.), которые применяются для защиты твердосплавных (на основе карбида вольфрама WC, легированного кобальтом) режущих инструментов от повреждений в различных областях промышленности, обладая повышенной износостойкостью и химической стабильностью, не способны сохранять свои свойства при тяжелых условиях резания. Срок службы твердосплавных инструментов может значительно увеличиваться наноструктурированными многослойными покрытиями, такими как TiCN, TiCrN, AlCrN, TiAlN, CrZrN и др., синтезированными методом физического осаждения из паровой фазы с помощью катодного дугового испарения (CAE-PVD), и обладающими превосходными механическими свойствами [1–3]. Кроме того, использование ультрадисперсных алмазов (УДА), получаемых детона-

цией взрывчатых веществ, в качестве композиционного материала в электрохимических и химических металл-алмазных покрытиях приводит к повышению их износостойкости, существенной адгезии, значительному снижению коэффициента трения [4]. Было доказано, что обработка твердосплавных ножей комбинированными гальваническим методом и методом CAE-PVD обеспечивает увеличение периода стойкости срока службы режущих инструментов с ZrN-Ni-Co-покрытием при фрезеровании ламинированных древесно-стружечных плит (ЛДСП) [5].

В связи с этим целью данной работы было сформировать методами CAE-PVD и электрохимического осаждения градиентные комбинированные ZrC-Ni-УДА-покрытия на поверхности твердосплавных лезвий ножей из карбида вольфрама WC дереворежущего инструмента и исследовать структуру, фазовый и элементный состав сформированных слоев.

**Основная часть.** Гальванические Ni-УДА композиционные электрохимические покрытия наносили на подготовленную поверхность лезвий твердосплавных ножей фирмы Leitz (Германия) на экспериментальной установке с применением источника постоянного тока марки НУ3005-3 при плотностях тока 1–24 А/дм<sup>2</sup> в гальваностатическом и импульсном режимах электролиза из электролитов следующих составов: NiSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O – 300 г/дм<sup>3</sup>, NiCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O – 40 г/дм<sup>3</sup>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> – 30 г/дм<sup>3</sup>, УДА – 2–5 г/дм<sup>3</sup>. Кислотность электролита составляла pH = 4,5. В качестве дисперсной фазы использовали УДА (ТУ РБ 28619110.001-95), являющиеся продуктом детонационного превращения взрывчатых веществ размером 3–5 нм, развитой удельной поверхностью 200–450 м<sup>2</sup>/г. КЭП формировались при температуре 40–50°C и постоянном перемешивании электролита-суспензии для поддержания частиц УДА во взвешенном состоянии. Толщина покрытий не превышала 10 мкм.

Ионно-плазменные ZrC-покрытия осаждались методом САЕ-PVD на поверхность ножей с Ni-УДА-покрытием на установке ВУ-1Б «Булат» по стандартной методике [6]: с предварительной обработкой ионами циркония подложки в вакууме 10<sup>-3</sup> Па при потенциале подложки, равном –1 кВ, и последующим нанесением покрытий при токе горения дуги катода –100 А и опорном напряжении, равном –100 В, в атмосфере углеводорода CH<sub>4</sub> при давлении 10<sup>-1</sup> Па. Температура при осаждении соответствовала 400–450°C. Толщина ZrC-покрытий не превышала 1,5 мкм.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеноструктурного анализа (РСА) при помощи дифрактометра Ultima IV (Rugaku, Япония) в Cu-K<sub>α</sub> излучении.

Морфология поверхности образцов изучалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с использованием микроскопа LEO-1455 VP, который также применялся для определения элементного состава полученных покрытий методами СЭМ и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА).

Рентгенограммы ZrC-Ni-УДА-покрытия (рис. 1) показывают наличие отдельных фаз никеля, Ni-УДА, графитоподобных фаз ультрадисперсных алмазов, а также фазы карбида циркония ZrC. Присутствие на рентгенограммах при касательных съемках ZrC-Ni-УДА-покрытия рефлекса алмаза C (111), характерного для УДА порошков, и рефлексов, соответствующих фазам ZrC, никеля, свидетельствует о наличии фазы Ni-УДА, а также об аморфизации и мелкокристалличности структуры сформированной ZrC-Ni-УДА-системы. Кроме того, наличие более интенсивного пика Ni (111) при 2θ = 44° по сравнению с пиком Ni (200) при 2θ = 52° является характерным для покрытий, содержащих Ni-УДА [7].

РЭМ-снимок поверхности покрытия, представленный на рис. 2, показывает типичную морфологию для структур, сформированных методом САЕ-PVD из-за характерной для него высокой скорости осаждаемого вещества: наличие следов капельной фазы металла (рис. 2, а), ям, пор и точек (частиц) (рис. 2, б).

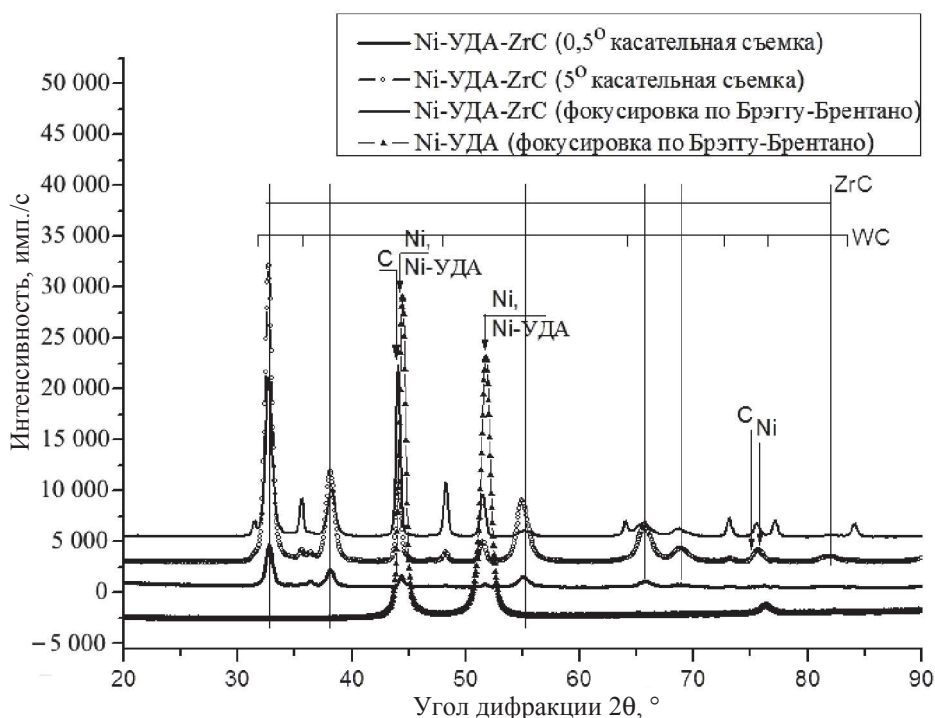


Рис. 1. Рентгенограммы ZrC-Ni-УДА-, Ni-УДА-покрытий

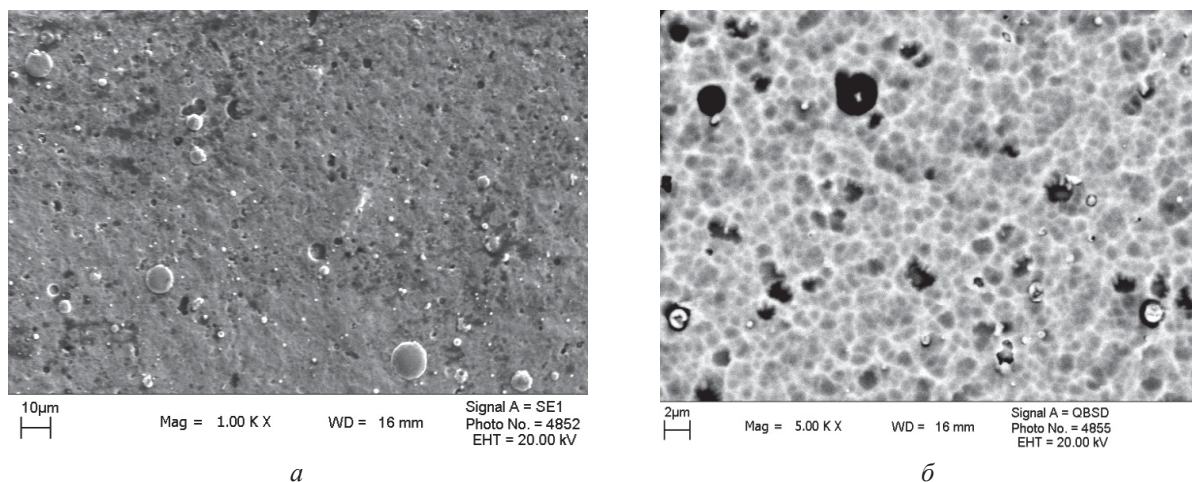


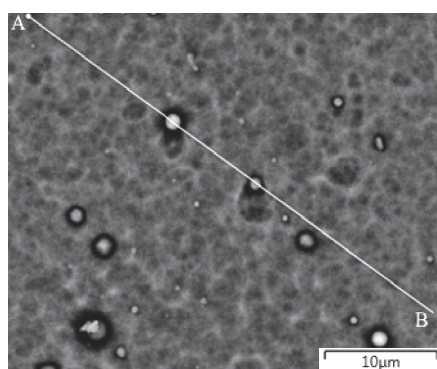
Рис. 2. РЭМ-снимки поверхности ZrC-Ni-УДА-покрытия

Отсутствие никеля в поверхностном слое ZrC-Ni-УДА-покрытия согласно данным РСМА (таблица) свидетельствует, что слой ZrC плотно покрывает Ni-УДА-покрытие и основу.

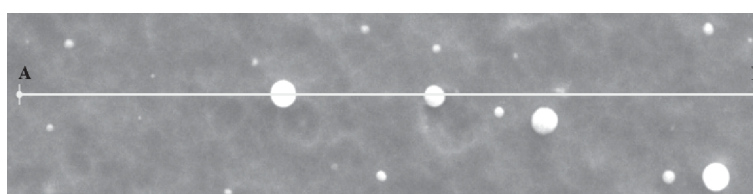
СЭМ-исследование поверхности покрытия показало (рис. 3), что в порах покрытия присутствуют частицы, содержащие углерод, которые не взаимодействуют с цирконием (рис. 3, а, б, в) и не являются элементами твердосплавной основы WC (рис. 3, г).

#### Элементный состав поверхности ZrC-Ni-УДА-покрытия

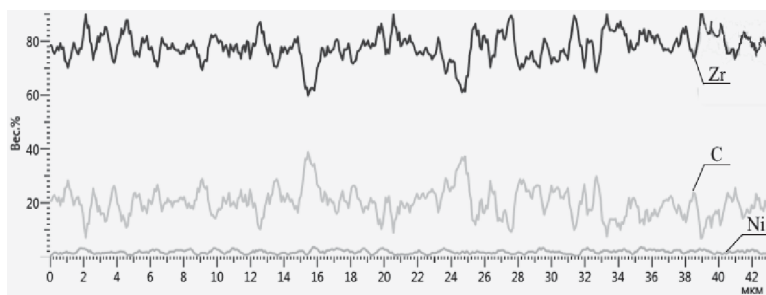
Элемент	Концентрация, вес. %	Концентрация, ат. %
C	14,88	52,38
O	3,61	9,54
Ni	1,13	0,82
Zr	80,38	37,26



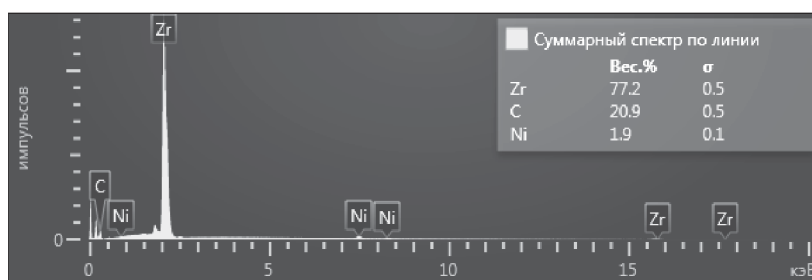
а



б



в



г

Рис. 3. СЭМ-снимок поверхности покрытия (а), распределение концентрации элементов (Zr, Ni, C) (б) и спектр элементного состава (в) при сканировании вдоль линии АВ



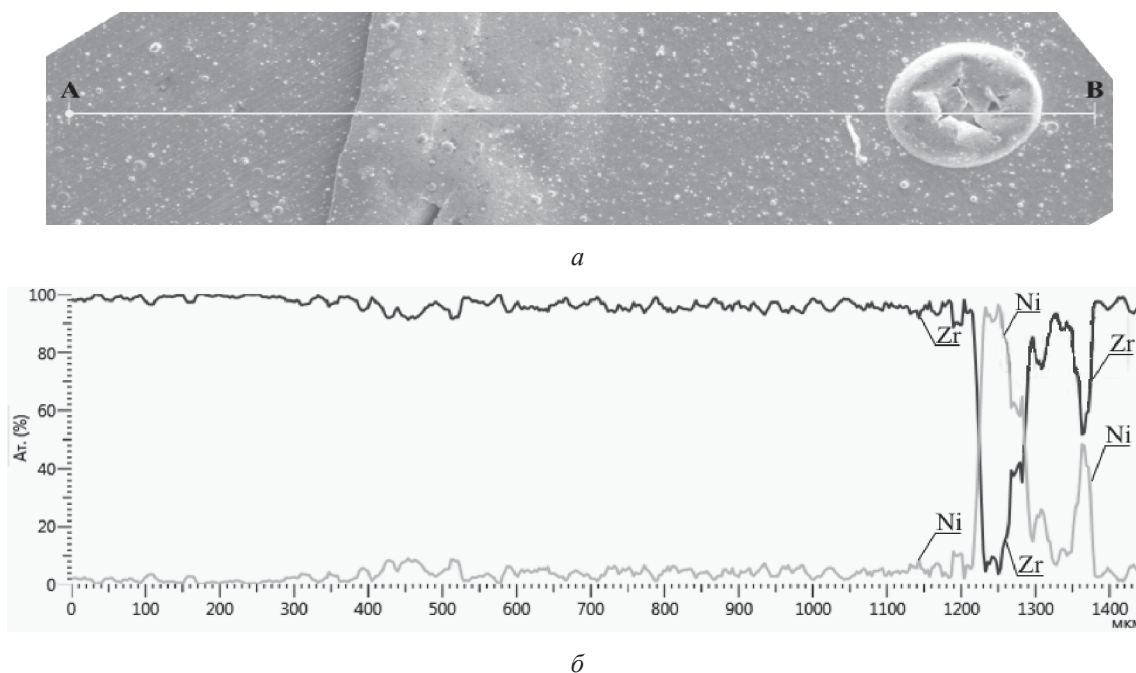


Рис. 4. СЭМ-снимок поверхности покрытия (а), распределение концентрации элементов (Zr, Ni) (б) при сканировании вдоль линии АВ

Кроме того, СЭМ-исследование дефекта в покрытии (рис. 4) выявило наличие Ni-УДА-слоя (рис. 4, б).

Наличие углерода в порах ZrC-Ni-УДА-покрытия (рис. 3) объясняется тем, что Ni-УДА-покрытия имеют характерную структуру, формируемую кластерами наноалмазов [8]. Частицы наноалмазов адгезионно активны и могут формировать кластеры размером до 10 мкм. В результате углерод (наноалмазы) распределяются по поверхности Ni-УДА-слоя в виде кластеров.

**Заключение.** Комбинированные ZrC-Ni-УДА-покрытия, осажденные на твердосплавные из карбида вольфрама WC ножи дереворежущего инструмента, обладают мелкокристаллической структурой и содержат отдельные

фазы никеля, Ni-УДА, графитоподобную фазу УДА, а также фазу ZrC. Поверхность покрытия имеет характерную морфологию для структур, сформированных методом САЕ-PVD. Структура нижнего Ni-УДА-слоя влияет на морфологию поверхности ZrC-Ni-УДА-покрытия: отдельные частицы УДА присутствуют в порах покрытия.

Осажденные на твердосплавные ножи дереворежущего фрезерного инструмента ZrC-Ni-УДА-покрытия благодаря их специфической структуре (чередующиеся слои разного состава, мелкокристалличность, наличие твердого карбида циркония ZrC) могут быть использованы для увеличения периода стойкости инструмента при резании ЛДСП на станках с ЧПУ.

### Литература

1. The effects of the H/E ratio of various Cr-N interlayers on the adhesion strength of CrZrN coatings on tungsten carbide substrates / Hye-Kun Kim [et al.] // *Surface & Coatings Technology*. 2015. № 284. P. 230–234.
2. Kumar T. Sampath, Prabu S. Balasivanandha, Manivasagam G. Metallurgical Characteristics of TiAlN/AlCrN Coatings Synthesized by the PVD Process on a Cutting Insert // *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2014. Vol. 23 (8). P. 2877–2884.
3. Structural characterization and adhesion appraisal of TiN and TiCN coatings deposited by CAE-PVD technique on a new carbide composite cutting tool / A. A. Matei [et al.] // *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2015. Vol. 29 (23). P. 2576–2589.
4. Долматов В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детанационного синтеза: свойства и применение // *Успехи химии*. 2001. Т. 70, № 7. С. 687–708.
5. Influence of high energy treatment on wear of edges knives of wood-cutting tool / V. Chayeuski [et al.] // *MM (Modern Machinery) Science Journal*. 2016. № 6. P. 1519–1523.
6. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti-Zr-N- и Ti-покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесно-стружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика*. 2008. Вып. XVI. С. 52–54.

7. Тырышкина Л. Е., Чиганова Г. А., Абкрян А. К. Влияние наноалмазов на микроструктуру никелевых покрытий // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2014. № 2. С. 54–58.

8. Дисперсное упрочнение наночастицами алмазного композиционного электрохимического покрытия / Н. И. Полушин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 4. С. 49–53.

### References

1. Kim Hoe-Kun, La Joung-Hyun, Kim Kyu-Sung, Lee Sang-Yul. The effects of the H/E ratio of various Cr–N interlayers on the adhesion strength of CrZrN coatings on tungsten carbide substrates. *Surface & Coatings Technology*, 2015, no. 284, pp. 230–234.

2. Kumar T. Sampath, Prabu S. Balasivanandha, Manivasagam G. Metallurgical Characteristics of TiAlN/AlCrN Coatings Synthesized by the PVD Process on a Cutting Insert. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2014, vol. 23 (8), pp. 2877–2884.

3. Matei A. A., Pencea I., Stanciu S. G., Hristu R., Antoniac I., Ciovica E., Sfat C. E., Stanciu G. A. Structural characterization and adhesion appraisal of TiN and TiCN coatings deposited by CAE-PVD technique on a new carbide composite cutting tool. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2015, vol. 29 (23), pp. 2576–2589.

4. Dolmatov V. Yu. Detonation synthesis ultradispersed diamonds: properties and applications. *Uspekhi Khimii* [Russian Chemical Reviews], 2001, vol. 70, no. 7, pp. 687–708 (In Russian).

5. Chayeuski V., Zhylynskiy V., Grishkevich A., Rudak P., Barcik Š. Influence of high energy treatment on wear of edges knives of wood-cutting tool. *MM (Modern Machinery) Science Journal*, 2016, no. 6, pp. 1519–1523.

6. Grishkevich A. A., Chayeuski V. V., Uglov V. V., Kuleshov A. K. Efficiency of use of TiN-, ZrN-, Ti–Zr–N-, and Ti-coatings on hard alloy during machining of laminated woodchip board using tail cutters. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2008, no. 6: Physical-mathematical sciences and informatics, pp. 52–54 (In Russian).

7. Tyryshkina L. E., Chiganova G. A., Abkaryan A. K. Influence of Nanodiamonds on Microstructure of Nickel Coatings. *Izvestiya Vuzov. Poroshkovaya Metallurgiya i Funktsional'nye Pokrytiya* [Universities Proceedings. Powder Metallurgy and Functional Coatings], 2014, no. 2, pp. 54–58 (In Russian).

8. Polushin N. I., Kudinov A. V., Zhuravlev V. V., Stepareva N. N., Maslov A. L. Dispersed hardening of diamond composite electrochemical coating by nanoparticles. *Izvestiya Vuzov. Poroshkovaya Metallurgiya i Funktsional'nye Pokrytiya* [Universities Proceedings. Powder Metallurgy and Functional Coatings], 2011, no. 4, pp. 49–53 (In Russian).

### Информация об авторах

**Чаевский Вадим Витальевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tchaievsky@tut.by

**Вишняков Николай** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией факультета механики. Вильнюсский технический университет имени Гедиминаса (03224, г. Вильнюс, ул. Басанавичюса, 28, Литва). E-mail: nikolaj.visniakov@vgtu.lt

### Information about the authors

**Chayeuski Vadzim Vitalievich** – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Physics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chayeuski@belstu.by

**Višniakov Nikolaj** – PhD (Engineering), Major research worker of Scientific Laboratory of the Faculty of Mechanics. Vilnius Gediminas Technical University (28, Basanaviciaus str., 03224, Vilnius, Lithuania). E-mail: nikolaj.visniakov@vgtu.lt

Поступила 26.04.2017