

Г. И. КОСТЮК, О. Д. ГРИГОР

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ В ЗОНЕ ЛАЗЕРНОЙ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВОЛКАР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, СТОХАСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ, ПРОСЧИТАННЫХ КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Проведены сравнение температур и скорости нарастания температур, полученных при использовании теплофизических и термомеханических характеристик, как стохастических значений, так и полученных квантово-механическим методом.

Результаты сравнения показали, что при использовании квантово-механического метода полученные значения температур и скоростей нарастания температур несколько более высокие, чем при использовании стохастических значений. Это требует исследования не только влияния этих способов задания на температуру, но и самое важное на объем кластера, который мы должны провести в дальнейшем, для оценки адекватности того или иного метода задания теплофизических и термомеханических характеристик.

Ключевые слова: технологичні параметри лазера, фемтосекундний лазер, твердий сплав «ВолКар», ріжучий інструмент, наноструктурні шари.

Г. І. КОСТЮК, О. Д. ГРИГОР

ПОРІВНЯННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ У ЗОНІ ЛАЗЕРНОЇ ФЕМТОСЕКУНДНОЇ ОБРОБКИ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВОЛКАР ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ І ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК, СТОХАСТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ, ПРОРАХУВАНІХ КВАНТОВО-МЕХАНІЧНИМ МЕТОДОМ

На основі теоретичного дослідження впливу технологічних параметрів фемтосекундного лазера (щільність теплового потоку, час Проведено порівняння температур і швидкості наростання температур, отриманих при використанні теплофізичних і термомеханічних характеристик, як стохастичних значень, так і отриманих квантово механічним методом.

Результати порівняння показали, що при використанні квантово механічного методу отримані значення температур і швидкостей наростання температур дещо вищі, ніж при використанні стохастичних значень. Це вимагає дослідження не тільки впливу цих способів завдання на температуру, але і найважливіше, на обсяг кластера який ми повинні провести в подальшому, для оцінки його того чи іншого методу завдання теплофізичних і термомеханічних характеристик.

Ключові слова: технологічні параметри лазера, фемтосекундний лазер, твердий сплав «ВолКар», ріжучий інструмент, наноструктурні шари.

G. KOSTYUK, O. GRIGOR

COMPARISON OF TEMPERATURE REGIMES IN THE ZONE OF LASER FEMTOSECOND PROCESSING OF A VOLCAR SOLID ALLOY WHEN USING THERMOPHYSICAL AND THERMOMECHANICAL CHARACTERISTICS, STOCHASTIC MEANS OF READ QUANTUM MECHANICAL METHODS

Comparison of the temperatures and the rate of temperature increase obtained using thermophysical and thermomechanical characteristics, both stochastic values and quantum mechanical methods, are compared.

The results of the comparison showed that using the quantum mechanical method, the obtained values of temperatures and rates of temperature increase are somewhat higher than when using stochastic values. This requires research not only on the effect of these methods of setting on temperature, but, most importantly, on the volume of the cluster that we must carry out in the future, to assess the adequacy of this or that method of specifying thermophysical and thermomechanical characteristics.

Key words: technologic parameters of the laser, femtosecond laser, hard alloy "VolKar", radio tool, nanostructured balls.

Введение. В настоящее время, к сожалению, нет адекватной модели получения наноструктур при действия фемтосекундных лазеров, хотя и экспериментально были получены наноразмерные зерна на разных материалах.

Применение интегральных значений теплофизических и термомеханических характеристик обычно дает хорошее согласие результатов эксперимента при достаточно большом времени действия теплового источника. Поэтому нашей задачей было оценить возможность использования таких моделей (1-15) для оценки размера нанозерна с тем, чтобы выявить режимы обработки, при которых можно гарантированно говорить о получении наноструктур.

Квантово-механический способ задания теплофизических и термомеханических характеристик

ближе к процессам, которые реализуются в зоне действия фемтосекундного лазера. Поэтому необходимо было оценить насколько отличаются результаты по определению с температурой при стохастическом задании и квантово-механическом способе задания теплофизических и термомеханических характеристик.

Оценка адекватности модели при тех или иных способах задания теплофизических и термомеханических характеристик позволит оценить возможную ошибку то ли в определении этих характеристик то ли в модели. Так как квантово-механический подход обычно дает порядок величины, а само значение оно обычно не соответствует истинному значению.

Все это говорит о важности определения таких

© Г. И. Костюк, О. Д. Григор, 2018

характеристик как теплопроводность, теплоемкость, плотность, модуль упругости, коэффициент линейного расширения, которые могут существенно повлиять на точность определения объема наноструктур, а, следовательно, и точность предлагаемой модели.

Состояние вопроса. Несмотря на то, что в настоящее время имеется огромное количество работ по наноструктурам и их свойствам, монографии в которых они обобщены [4-10]. Два вопроса, которые не рассматривались в этих работах это: технологические параметры фемтосекундных лазеров для получения наноструктур, а также влияния характера задания теплофизических и термомеханических характеристик на точность прогноза этих технологических параметров.

Все выше изложенное говорит о том, что предлагаемая работа по исследованию влияния способа задания теплофизических и термомеханических характеристик материала на точность расчета и технологические параметры получения наноструктур есть важной и актуальной задачей.

Постановка задачи исследования. Проводилось решение совместной задачи теплопроводности и термоупругости [4] в которой использовались стохастические значения и полученные квантово-механическим методом теплофизические и термомеханические характеристики, проводилось исследования, как характер изменения температур, так и скорости ее изменения так и плотности теплового потока на разных глубинах.

Результаты и их обсуждение. На рисунках (а–ж) даны зависимости температур от плотности теплового потока на разных глубинах и разных временах действия (а- 10^{-10} , б- 10^{-11} , в- 10^{-12} , г- 10^{-13} , д- 10^{-14} , е- 10^{-15} , ж- 10^{-16} с)

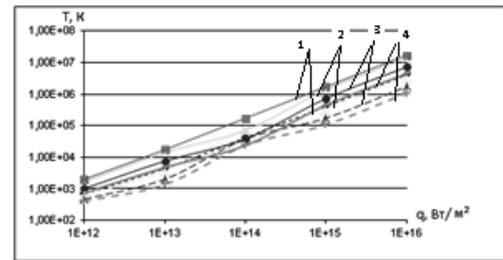
При следующих временах действия фемтолазера (а-с, б- 10^{-11} , в- 10^{-12} , г- 10^{-13} , д- 10^{-14} , е- 10^{-15} , ж- 10^{-16} с) рисунок 1.

При чем на этих рисунках сплошными линиями обозначены кривые при использовании квантово-механического метода, а пунктиром при использовании стохастических значений теплофизических и термомеханических характеристик.

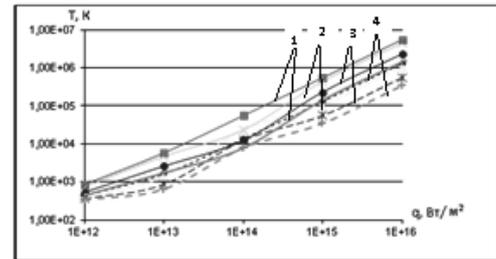
Анализ зависимости кривых показал, что при относительно невысоких плотностях теплового потока отличие относительно невелико, тогда как с ростом теплового потока этих значений увеличивается правда незначительно. А с уменьшением времени действия теплового потока это отличие возрастает. Видно, что фемтосекундный лазер очень чувствителен к способу задания теплофизических и термомеханических характеристик.

Исследования же скорости изменения температур от плотности теплового потока на разных глубинах представлены на рисунках 2 (а- 10^{-10} , б- 10^{-11} , в- 10^{-12} , г- 10^{-13} , д- 10^{-14} , е- 10^{-15} , ж- 10^{-16} с). Показано, что характер изменения скоростей роста температур соответствует характеру изменения температур от плотности теплового потока. В этом случае также для меньших времен отличие результатов увеличивается и несмотря на то, что эти скорости высоки и превышают

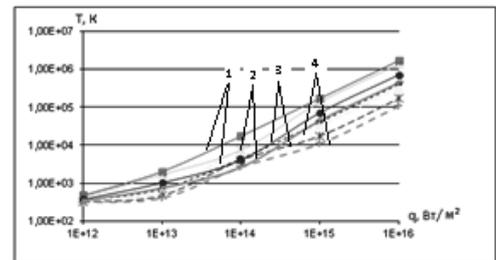
необходимые значения для получения наноструктур (10^{-7} Кс) поэтому необходимо также учитывать теплофизические и термомеханические способы задания.



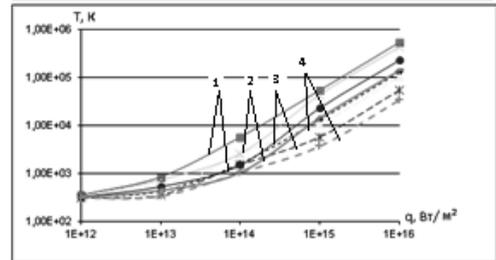
а



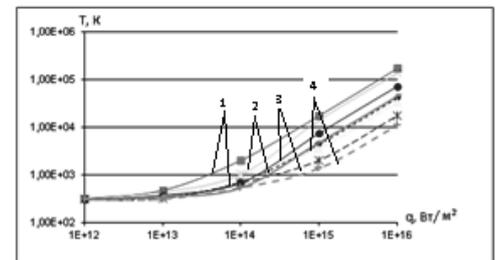
б



в

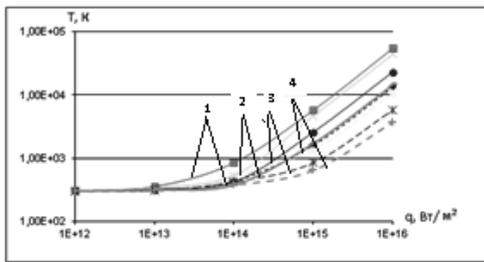


г

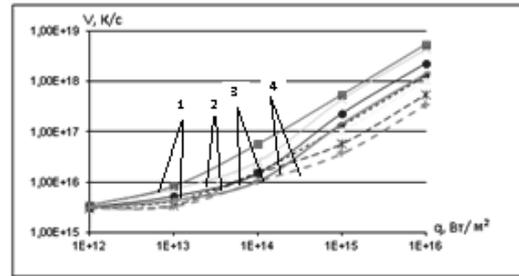


д

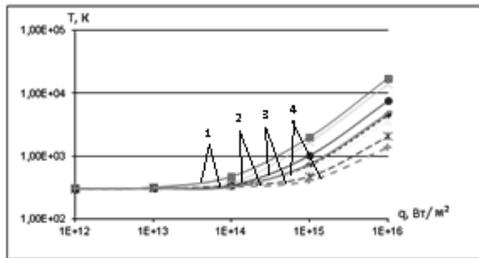
Рис. 1 – Зависимости максимальной температуры – T от плотности теплового потока q создаваемого лазерным излучением при разных временах его действия (а- 10^{-10} , б- 10^{-11} , в- 10^{-12} , г- 10^{-13} , д- 10^{-14} , е- 10^{-15} , ж- 10^{-16} с) и на разной глубине (1- $x=0$, 2- $x=1$, 3- $x=2$, 4- $x=3$) при разных способах задания теплофизических и термомеханических характеристик: _____ квантово-механическим методом, ----- стохастическим методом



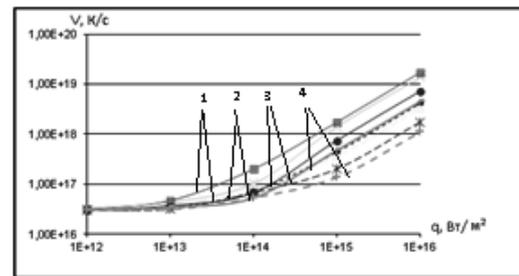
е



г



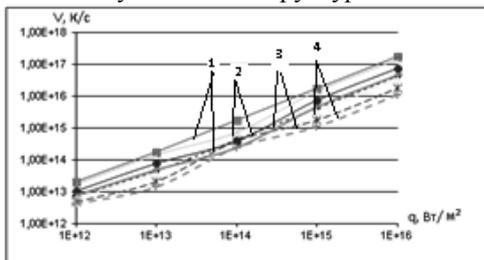
ж



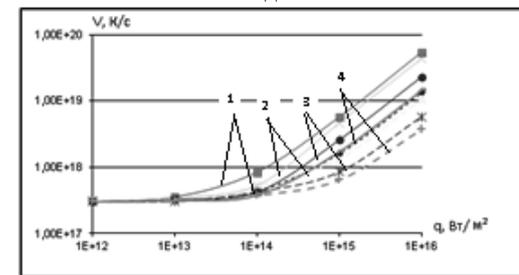
д

Рис. 1 – Продолжение

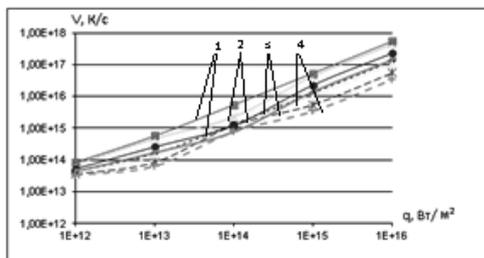
Но в рассмотренных вариантах эти значения существенно превышают необходимые для форсирования получения наноструктур.



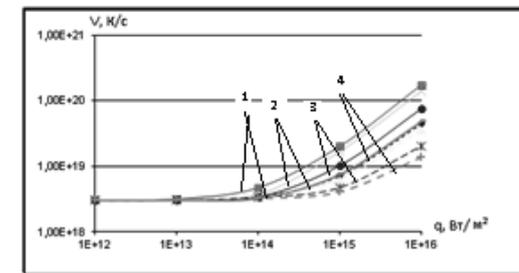
а



е

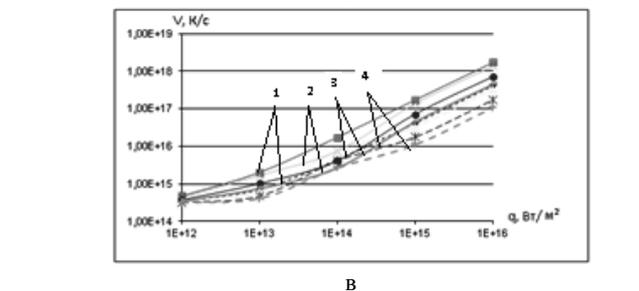


б



ж

Рис. 2 – Продолжение



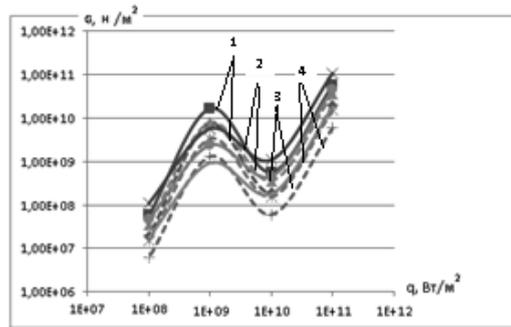
в

Рис. 2– Зависимости скорости изменения максимальной температуры – V от плотности теплового потока q создаваемого лазерным излучением при разных временах его действия (а- 10^{-10} , б- 10^{-11} , в- 10^{-12} , г- 10^{-13} , д- 10^{-14} , е- 10^{-15} , ж- 10^{-16} с) и на разной глубине (1- $x=0$, 2- $x=x1$, 3- $x=x2$, 4- $x=x3$) при разных способах задания теплофизических и термомеханических характеристик: — квантово-механическим методом, ----- стохастическим методом

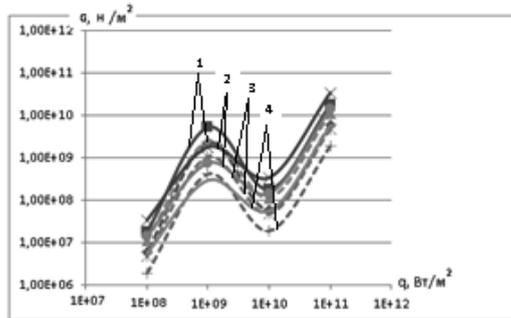
Все это говорит о том, что мы имеем дело с довольно тонким механизмом и большое значение будет иметь сопоставление теоретических значений и полученных экспериментально. Так как измерить, эти температура практически невозможно то мы будет проверять результаты по размеру наноструктур, которые можно будет оценить с помощью предложенной модели.

Так на рисунке 3 представлены зависимости температурных напряжений от плотности теплового потока на разных глубинах и для разных времен действия фемтолазера. Видно, что на всех есть зоны с максимумом, которые находятся вблизи 10^9 Вт/м² и минимум которые находятся вблизи 10^{10} Вт/м², в дальнейшем происходит рост температурных напряжений, что объясняется концентрацией тепловых полей в зоне плотности теплового потока 10^9 Вт/м² (смотри рисунок 1). В дальнейшем область

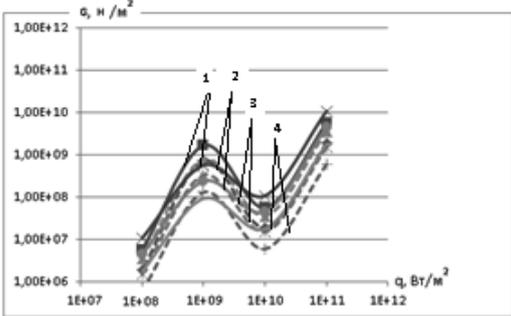
расширяется и достигает минимума при 10^{10} Вт/м². При дальнейшем росте теплового потока зона температур сжимается (градиент увеличивается, а значит, и растут напряжения).



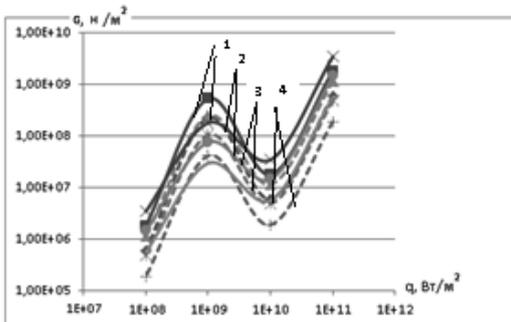
а



б

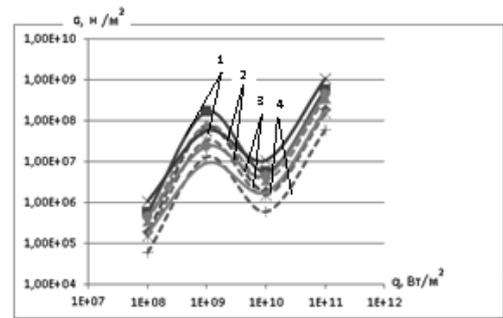


в

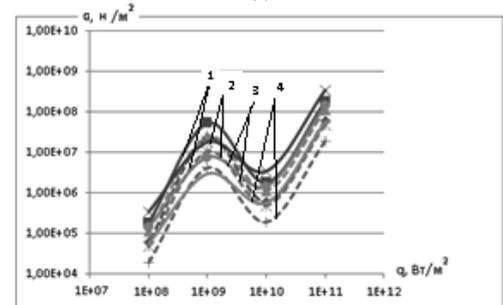


г

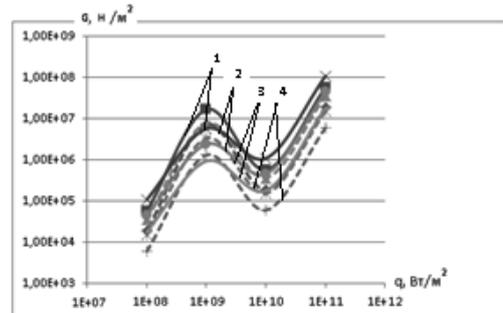
Рис. 3 – Зависимости температурных напряжений от плотности теплового потока q создаваемого лазерным излучением при разных временах его действия (а- 10^{-10} , б- 10^{-11} , в- 10^{-12} , г- 10^{-13} , д- 10^{-14} , е- 10^{-15} , ж- 10^{-16} с) и на разной глубине (1- $x=0$, 2- $x=x1$, 3- $x=x2$, 4- $x=x3$) при разных способах задания теплофизических и термомеханических характеристик: _____ квантово-механическим методом, ----- стохастическим методом.



д



е



ж

Рис. 3 – Продолжение

Величины температурных напряжений превышают 10^{10} Вт/м² только при трех временах (рис 3-а, 3-б, 3-в). В этом случае температурные напряжения могут, приводит к образованию наноструктур тогда как в остальных случаях они только ускоряют процесс образования наноструктур.

Выводы. Проведенные исследования получения наноструктур при разных способах задания теплофизических и термомеханических характеристик показал, что значение температур в случае квантово механического способа задания значительно выше чем при использовании стохастических значений. Причем для высоких значений плотности теплового потока эти отличия более существенны, особенно это заметно для времен 10^{-16} 10^{-14} .

Данные исследования, к сожалению, еще не позволяет говорить об адекватности модели с тем или иным способом задания теплофизических и термомеханических характеристик, поэтому для более точного определения адекватности модели необходимо будет сравнить объемы наноструктур получаемые в том или ином случае.

В то же время характер распределения температурных напряжениях показывает об их

высокой неоднородности: наличия максимума при плотности теплового потока $q=10^9$ Вт/м² и минимума при $q=10^{10}$ Вт/м², что объясняется максимальным градиентом температур при $q=10^9$ Вт/м² и его минимуме при $q=10^{10}$ Вт/м².

Показано, что при временах действия теплового потока при 10^{-10} , 10^{-11} , 10^{-12} , с. есть вероятность получения наноструктур только за счет температурных напряжений.

Обнаружено, что максимальные температурные напряжения реализуется при квантово-механическом способе задания теплофизических и термомеханических характеристик.

Список литературы

1. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокртиями и наноструктурными модифицированными слоями: монография-справ. в 2 кн. Кн.1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии / Г.И. Костюк – Харьков: «Планета-Принт», 2016. — 735 с.
2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур: монография / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.
3. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы: монография / Г. И. Костюк. – Киев: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.
4. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокртия: перспективы и реальность: учеб. пособ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.
5. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий: учеб. пособ. / Г. И. Костюк. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.
6. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем: монография-справочник / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.
7. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и

упрочненным слоем: справочник / Г. И. Костюк. – Киев.: Вид-во АИУ, 2003. – 412 с.

8. Гречихин, Л. И. Физика наночастиц и нанотехнологий / Л. И. Гречихин. – Москва: УП «Технопринт», 2004. – 397 с.
9. Аксенов, И. И. Вакуумная дуга в эрозионных источниках плазмы / И. И. Аксенов. – Харьков: Изд-во НИИ «ХФТИ», 2005. – 211 с.
10. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Москва: Физматлит, 2005. – 416 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kostyuk, G.I. Effective cutting tool with nanocoatings and nanoscale modified layers: monograph-reference. in 2 books. Book 1. Plasma-ion and ion-beam technologies. Kharkov: "Planet-Print", 2016. 735 p.
2. Kostyuk, G.I. Nanotechnologies: selection of technological parameters and installations, processing capacity, physical and mechanical characteristics of nanostructures: monograph. Kiev: Publ. center of Intern. Academy of Sciences and Innovation. technologies, 2014. 472 p.
3. Kostyuk, G.I. Nanotechnology: theory, experiment, technology, perspectives: monograph. Kiev: Publ. center of Intern. Academy of Sciences and Innovation. technologies, 2012. 648 p.
4. Kostyuk, G.I. Nanostructures and nanocoatings: perspectives and reality: Proc. Help. Kharkov: The national. aerospace. University of Kharkov. aviats. in-t », 2009. 406 p.
5. Kostyuk, G.I. Scientific foundations of the creation of modern technologies: Textbook. Help. Kharkov: Nats. aerospace. University of Kharkov. aviats. in-t », 2008. 552 p.
6. Kostyuk, G.I. Effective cutting tool with a coating and a reinforced layer: a monograph-reference book. Kharkov: Nats. aerospace. University of Kharkov. aviats. in-t », 2007. 633 p.
7. Kostyuk, G.I. Effective cutting tool with a coating and a reinforced layer: a reference book. Kiev: View of AINU, 2003. 412 p.
8. Grechikhin, L.I. Physics of Nanoparticles and Nanotechnology. Moscow: UP "Technoprint", 2004. 397 p.
9. Aksenov, I.I. Vacuum arc in erosive plasma sources. Kharkov: Publishing house of scientific research institute "Kharkov Institute of Physics and Technology ", 2005. 211 p.
10. Gusev, A.I. Nanomaterials, nanostructures, nanotechnologies. Moscow: Fizmatlit, 2005. 416 p.

Поступила (received) 05.02.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Костюк Геннадій Ігорович (Костюк Геннадий Игоревич, Kostyuk Gennady Igorovich) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, тел.: (057)-788-42-06, e-mail: gennadiykostyuk206@gmail.com.

Григор Ольга Діонісовна (Григор Ольга Діонісівна, Grigor Olga Dionisovna) – студентка, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, Україна, тел.: (057)-788-42-06, e-mail: gennadiykostyuk206@gmail.com.