

О перспективах получения наноструктур на инструментальной стали У8 при действии потоков ионов различных сортов, энергий и зарядов

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина
Украинская педагогическая академия, г. Харьков, Украина*

На основе исследования температур, температурных напряжений, скорости изменения температуры и скорости изменения температурных напряжений получены размеры зерна, объёмы нанокластера и глубины их залегания для широкого круга ионов: В⁺, С⁺, N⁺, O⁺, Al⁺, V⁺, Cr⁺, Fe⁺, Ni⁺, Co⁺, Y⁺, Zr⁺, Mo⁺, Hf⁺, Ta⁺, W⁺, Pt⁺ в зависимости от энергии иона и его заряда. При ограничении размера зерна до 100 нм определены зоны технологических параметров, где могут быть получены наноструктуры, а при наличии зависимостей различных физико-механических характеристик материала от размера зерна есть возможность прогнозировать эти физико-механические характеристики инструментальной стали У8.

Ключевые слова: наноструктуры, ионы, энергия ионов и их заряд, температуры, температурные напряжения, прогнозирование физико-механических характеристик, инструментальная сталь.

Введение

При обработке изделий в машиностроении в настоящее время практически не применяют инструментальную сталь, что, очевидно, связано с невысокими физико-механическими характеристиками этого материала. Получение на поверхности инструментальной стали наноструктурного слоя может существенно улучшить его твёрдость, что повысит износостойкость режущего инструмента (РИ). Повышение предела прочности и предела пластичности обеспечит эффективную работу РИ в зоне действия закона Гука, а снижение модуля упругости даст возможность этому материалу работать в зоне высоких относительных перемещений, чтобы способствовать сопротивлению ударным нагрузкам.

Всё это свидетельствует о своевременности проводимого исследования, которое, вероятно, даст толчок второй жизни инструментальных материалов. Очевидно, эти исследования будут важны для машиностроения и инструментального производства.

Работа выполнена в рамках программы Министерства образования и науки Украины «Новые и ресурсосберегающие технологии в энергетике, промышленности и агропромышленном комплексе» (подсекция 13 «Аэрокосмическая техника и транспорт») и по темам: «Создание физико-технических основ повышения качества материалов аэрокосмических конструкций» и «Разработка технологических основ интегрированных технологий плазменно-ионной обработки деталей аэрокосмической техники» (подсекция 6 «Физико-технические проблемы материаловедения»), «Концепция создания наноструктур, нано- и традиционных покрытий с учетом влияния адгезии на эффективность и работоспособность деталей АТ, АД и РИ», «Экспериментально-теоретическое исследование получения наноструктур при действии ионных и светолучевых потоков на конструкционные материалы и РИ», хозяйственных работ и договоров о сотрудничестве.

Состояние вопроса

Несмотря на то, что существует значительное число экспериментальных и теоретических работ о НС, которые обобщены в монографиях [1 – 12], работ по получению НС на инструментальных сталях в настоящее время нет.

Инструментальные стали достаточно широко использовались, в машиностроении пока не было быстрорежущих сталей и твёрдых сплавов. Быстрорежущие стали благодаря более высоким физико-механическим характеристикам вытеснили их. Аналогичное явление произошло и с быстрорежущими сталями, которые были вытеснены твёрдыми сплавами, несмотря на то, что стоимость быстрорежущих сталей и, тем более, твердых сплавов значительно больше, чем инструментальных. Если учесть тот факт, что наноструктурные слои обладают уникальными свойствами и могут существенно повысить стойкость инструментальных сталей, необходимо проверить, насколько физико-механические характеристики НС слоёв будут отличаться от характеристик твердых сплавов и быстрорежущих сталей. Такая задача актуальна и своевременна, так как современное производство должно использовать режущие инструменты с наиболее высоким отношением «качество-цена».

Теоретический метод исследования

Решали совместную задачу теплопроводности и термоупругости с учётом энергетического действия иона. Причём на первом полушаге рассчитывали температуру, затем по известной температуре находили температурные напряжения, по которым определяли энергию затрачиваемую на деформирование. Ее учитывали при расчётах на втором полушаге, что позволяло обеспечивать решение совместной задачи.

В дальнейшем с учётом полей температур и температурных напряжений и скоростей роста температур определяли зоны, где возможно получение НС, что в конечном итоге давало возможность найти технологические параметры, при которых возможна реализация НС.

Результаты расчёта и их обсуждения

Рассчитывали максимальные температуры, объёмы зерна и глубины их залегания, максимальные значения температурных напряжений, скорости роста температур и температурных напряжений и размеры зерна в зависимости от энергии ионов и их заряда. Рассмотрено действие таких ионов : B^+ , C^+ , N^+ , Al^+ , V^+ , Cr^+ , O^+ , Fe^+ , Ni^+ , Co^+ , Y^+ , Zr^+ , Mo^+ , Hf^+ , Ta^+ , W^+ , Pt^+ с зарядами $z=1$, $z=2$, $z=3$.

Так, при малых энергиях ионов в случае действия ионов B^+ (500...600 эВ) существует вероятность появления НС, тогда как с ростом энергии эта вероятность снижается и получение НС возможно только на периферии зоны действия ионов. Причём в этом случае глубина расположения зон, где находятся НС, лежит в пределах от $9 \cdot 10^{-10}$ до $9 \cdot 10^{-9}$ м (рис.1, б, в, г). В этом случае температурные напряжения превышают 10^{10} Па только при энергии 20 КэВ ($z=2$, $z=3$), а для остальных она значительно выше и только может ускорять образование НС (д). Скорость роста температуры практически во всех исследованных случаях превышает необходимую 10^7 К/с, так как составляет 10^{15} ... 10^{15} К/с (рис. 1, е). Скорость деформирования в этом случае имеет порядок 10^{19} ... 10^{21} Па/с (рис. 1, ж), оче-

видно, такие скорости деформирования могут существенно повлиять на образование НС. В этом случае можно получить размер зерна от 2 до 60 нм (рис. 1, з).

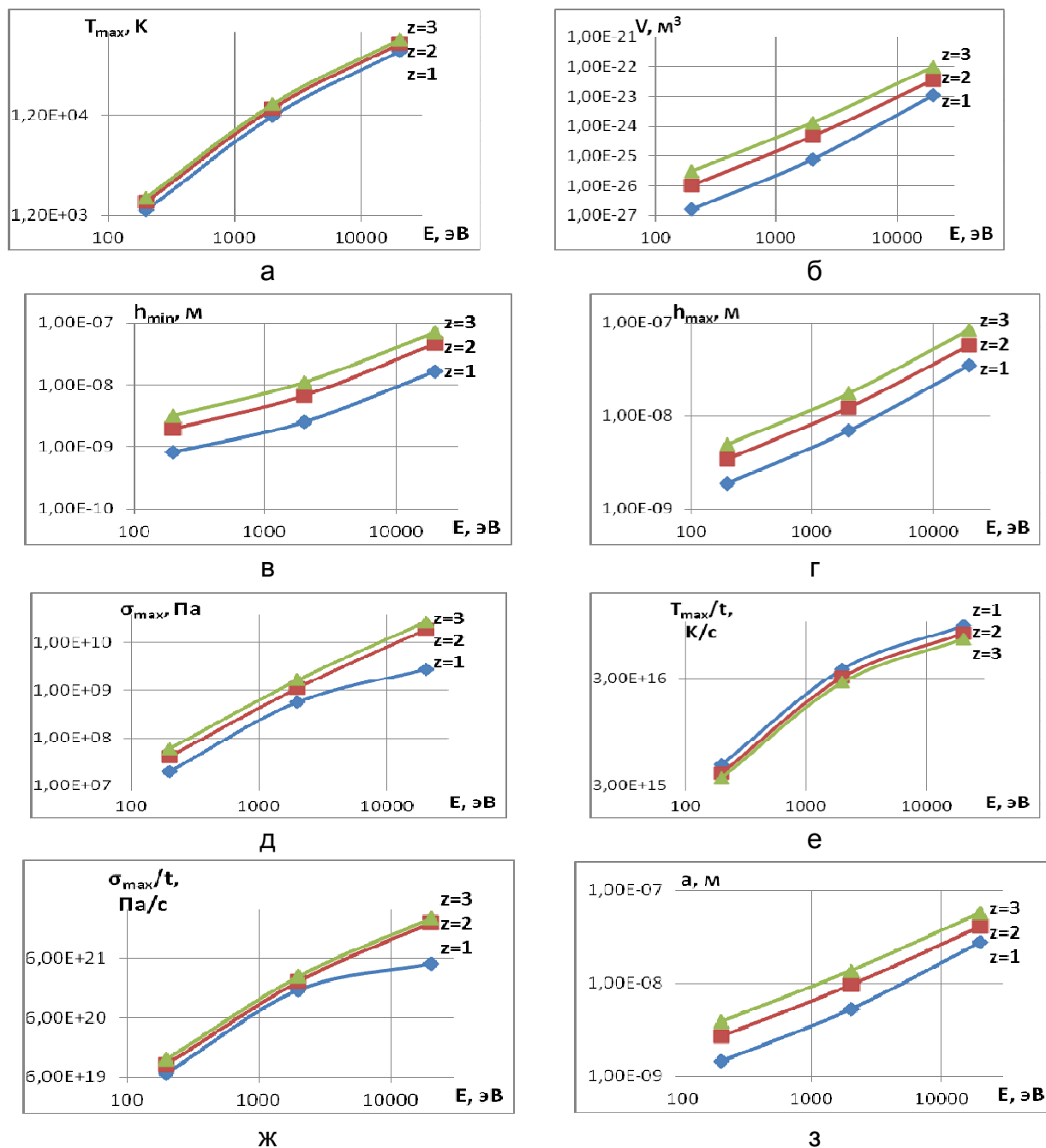


Рис. 1. Зависимости максимальной температуры (а), объема нанокластера (НК) (б), минимальной (в) и максимальной (г) глубины залегания НК, максимальных температурных напряжений (д), скорости изменения температуры (е) и температурных напряжений (ж) и размера зерна (з) при действии ионов бора (B^+) с различным зарядом ($z=1, z=2, z=3$) для У8

Переход к более тяжелым ионам C^+ , N^+ и O^+ (рис. 2 – 4) приводит к некоторому снижению температур, объемов и глубин залегания НС, напряжение также несколько снижается, скорости роста температуры и деформирования снижаются, но достаточно велики, а размер зерна уменьшается.

В случае действия ионов Al^+ , V^+ реализуется снижение значений всех исследуемых величин, включая и размер зерна (рис. 2).

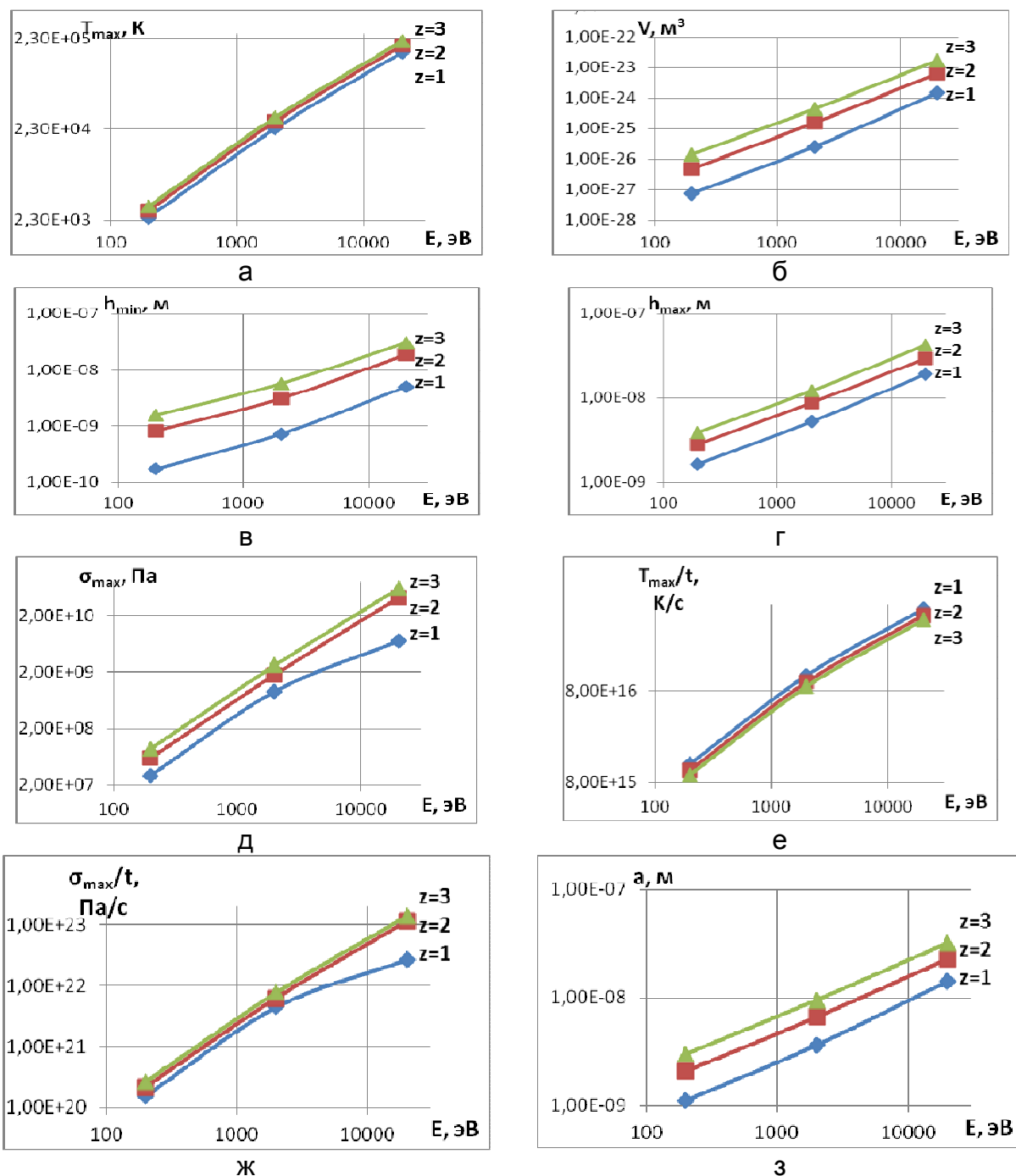


Рис. 2. Зависимости максимальной температуры (а), объема нанокластера (НК) (б), минимальной (в) и максимальной (г) глубины залегания НК, максимальных температурных напряжений (д), скорости изменения температуры (е) и температурных напряжений (ж) и размера зерна (з) при действии ионов алюминия (Al^+) с различным зарядом ($z=1, z=2, z=3$) для У8

Переход к более тяжёлым ионам Cr^+ , Fe^+ и Ni^+ приводит к снижению максимальных температур, объёмов и глубин залегания (особенно минимальных). Напряжения также снижаются, скорости роста температур и температурных

напряжений остаются значительными (превышающими необходимые), зона технологических параметров, где образуются НС, расширяется, размеры зерна отличаются меньше (рис. 2).

Для ионов Co^+ , Y^+ , Zr^+ , Mo^+ и Hf^+ (рис.10 –14) реализуется дальнейшее уменьшение температур, объёмов НС, глубин их залегания, величин напряжений, скоростей роста температуры, скоростей деформирования снижаются, но остаются достаточными для образования НС. Кроме того реализуется дальнейшее сужение зоны области размеров НС, которые уже уменьшаются до долей нанометров при минимальных значениях технологических параметров и до десятков нанометров нм – максимальных.

Выводы

1. На основе исследования максимальных температур, скорости её изменения, температурных напряжений, скоростей деформирования получены объёмы зерна, глубины его залегания и размеры зерна от энергии для широкого круга ионов: B^+ , C^+ , N^+ , O^+ , Al^+ , V^+ , Cr^+ , Fe^+ , Ni^+ , Co^+ , Y^+ , Zr^+ , Mo^+ , Hf^+ , Ta^+ , W^+ , Pt^+ . Показано, что для лёгких ионов объём и размер зерна довольно значителен и вероятность получения НС невысока, особенно при высоких энергиях ионов.

2. Рост массы иона приводит к перемещению зоны НС ближе к поверхности, и НС могут образовываться при более высоких энергиях, чем для лёгких ионов. При очень больших массах ионов НС можно получать при значительных энергиях иногда даже при 20 КэВ (однозарядные ионы).

3. Проведенное исследование позволяет конструировать наноструктурную поверхность РИ или детали, варьируя сорт иона, энергию иона и его заряд. Кроме того можно получить необходимую плотность ионного тока, при которой будет наиболее полное заполнение слоёв НС. Показано, что есть возможность конструировать поверхность, учитывая свойства НС каждого из слоёв. В наших монографиях показано, что, выбирая размер зерна НС, можно изменять физико-механические характеристики материала, что свидетельствует о возможности прогнозировать свойства поверхностного слоя.

Список литературы

1. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с нанопокрытиями и наноструктурными модифицированными слоями [Текст]: Монограф.-справ.: в 2 кн./Г.И. Костюк – Х.: Планета-Принт, 2016. – Кн.1. Плазменно-ионные и ионно-лучевые технологии. – 735 с.

2. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: выбор технологических параметров и установок, производительность обработки, физико-механические характеристики наноструктур [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2014. – 472 с.

3. Костюк, Г. И. Нанотехнологии: теория, эксперимент, техника, перспективы [Текст]: моногр. / Г. И. Костюк. – К.: Изд. центр Междунар. академии наук и инновац. технологий, 2012. – 648 с.

4. Костюк, Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002.– Кн.1: Физи-

ческие процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. – 596 с.

5. Костюк, Г. И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий [Текст] / Г. И. Костюк. – К.: Изд-во АИНУ, 2002. – Кн. 2: Справочник для расчета основных физических и технологических параметров, оценки возможностей, выбора типа технологий и оборудования. – 482 с.

6. Костюк, Г. И. Наноструктуры и нанопокрyтия: перспективы и реальность [Текст]: учеб.пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2009. – 406 с.

7. Костюк, Г. И. Научные основы создания современных технологий [Текст]: учеб.пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2008. – 552 с.

8. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: моногр.-справ. / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007. – 633 с.

9. Костюк, Г. И. Эффективный режущий инструмент с покрытием и упрочненным слоем [Текст]: справ. / Г. И. Костюк. – К.: Вид-во АИНУ, 2003. – 412 с.

10. Костюк, Г. И. Физико-технические основы роботизированного производства [Текст]: учеб.пособие / Г. И. Костюк. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 614 с.

11. Гречихин, Л. И. Физика наночастиц и нанотехнологий [Текст] / Л. И. Гречихин. – М.: УП «Технопринт», 2004. – 397 с.

12. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии [Текст] / А. И. Гусев. – М.: Физматлит, 2005. – 416 с.

Поступила в редакцию 29.11.2016

Про перспективи отримання наноструктур на інструментальній сталі У8 при дії потоків йонів різних сортів, енергій і зарядів

На основі дослідження температур, температурних напружень, швидкості зміни температури і швидкості зміни температурних напружень отримано розміри зерна, обсяг нанокластера і глибини їх залягання для широкого кола йонів: В +, С +, N +, O +, Al +, V +, Cr +, Fe +, Ni +, Co +, Y +, Zr +, Mo +, Hf +, Ta +, W +, Pt + залежно від енергії йона і його заряду. У разі обмеження розмір зерна до 100 нм було визначено зони технологічних параметрів, де можуть бути отримані наноструктури, а за наявності залежностей різних фізико-механічних характеристик матеріалу від розміру зерна є можливість прогнозувати ці фізико-механічні характеристики інструментальної сталі У8.

Ключові слова: наноструктури, йони, енергія йонів і їхній заряд, температури, температурні напруження, прогнозування фізико-механічних характеристик, інструментальна сталь.

On Prospects of Obtaining Nanostructures Tool Steel 8 Action at Different High Quality Streaming Ions, Energies and Charge

Based on the study of temperatures, temperatures tense, speed changed temperature and velocity changed temperatures tense obtained dimensions grain volumes nanocluster and depth hide for a wide range of ions: B +, C +, N +, O +, Al +, V +, Cr +, Fe +, Ni +, Co +, Y +, Zr +, Mo +, Hf +, Ta +, W +, Pt +, such as energy dependence and ego ion charge. Grain size limited 100 nm identified zone technological parameters, where can are obtained nanocluster, while dependence different availability of physical and mechanical characteristics of the material in dependence from corn size there ability predict these physicochemical characteristics mechanically become tool steel 8.

Keywords: nanostructures, ions, ion energy and charge, temperature, thermal stress, prediction of physical and mechanical characteristics of tool steel.

Сведения об авторах:

Костюк Геннадий Игоревич – профессор, доктор техн. наук, профессор кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.

Воляк Елена Александровна – доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры экономико-математического моделирования Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина.

Костюк Елена Геннадиевна – доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры грузоподъемных машин Украинской педагогической академии, г. Харьков, Украина