

УДК 666.266.6

**О. В. САВВОВА, В. Л. ТОПЧИЙ, С. О. РЯБІНІН, Л. С. КУРАШ, В. Д. ТИМОФЄЄВ****ЗАЛЕЖНІСТЬ УДАРОСТІЙКОСТІ ВІД ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ХВИЛЬ В ЛІТІЙАЛОМОСИЛІКАТНИХ СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛАХ**

Проаналізовано ударно-хвильову стадію взаємодії матеріалу ударника та перешкоди у аспекті створення ударостійких броне елементів. Визначено актуальність створення захисних склокристалічних матеріалів з урахуванням особливостей їх структури. Встановлено залежність швидкості розповсюдження звукових хвиль в алюмосилікатних стеклах з урахуванням питомої енергії атомізації оксидів та в склокристалічних матеріалах на їх основі в залежності від їх пружних властивостей та щільності. За критерієм ударостійкості проведено оцінку придатності розроблених склокристалічних матеріалів на основі β-сподумену та дисилікату літію щодо їх використання як елементів бронезахисту.

**Ключові слова:** ударостійкість, швидкість розповсюдження хвиль, алюмосилікатні склокристалічні матеріали, бронеелемент.

Проанализирована ударно-волновая стадия взаимодействия материала ударника и препятствия в аспекте создания ударопрочных бронееlementов. Определена актуальность создания защитных стеклокристаллические материалов с учетом особенностей их структуры. Установлена зависимость скорости распространения звуковых волн в алюмосиликатных стеклах с учетом удельной энергии атомизации оксидов и в стеклокристаллических материалах на их основе в зависимости от их упругих свойств и плотности. По критерию ударопрочности проведена оценка пригодности разработанных стеклокристаллические материалов на основе β-сподумена и дисиликату лития относительно их использования как элементов бронезащиты

**Ключевые слова:** ударопрочность, скорость распространения волн, алюмосиликатные стеклокристаллические материалы, броне элемент

The shock-wave stage of interaction between the impactor material and obstacles in the aspect of creating impact-resistant armor elements is analyzed. The actuality of creation of protective glass-crystalline materials is determined, taking into account the features of their structure. The prospect of using lithium-aluminosilicate glass-ceramic materials with high indicators of sound wave propagation as shock-resistant elements of armor protection is established and the choice of glass of the generating system is justified. The dependence of the speed of propagation of sound waves in aluminosilicate glasses is determined taking into account the specific energy of atomization of oxides and into glass-ceramic materials based on them, depending on their elastic properties and density. According to the impact criterion, an assessment was made of the suitability of the developed glass-ceramic materials based on β-spodumen and disilicate in relation to their use as armored protection elements. It has been established that the presence of crystalline and amorphous phases with different elastic properties in glass crystalline materials allows to provide more effective destruction of the shock absorber and to minimize post-percutaneous action. These results can be used in the development of armored elements with high bullet resistance.

**Key words:** impact resistance, wave propagation velocity, aluminosilicate glass-ceramic materials, armor-iron.

**Вступ.**

Актуальною проблемою хімічної промисловості є підвищення рівня захисту спеціальної техніки, яка експлуатується в умовах високошвидкісних механічних навантажень, є розробка та впровадження високоефективних ударостійких матеріалів. У зв'язку з цим важливим аспектом створення вказаних матеріалів, є встановлення механізму взаємодії між ударником (куля, уламок) та перешкодою (бронематеріали).

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.**

Процес ударної взаємодії ударників з перешкодою розділяється на найкоротшу початкову ударно-хвильову стадію і подальшу достатньо тривалу стадію динамічного деформування та (або) проникнення ударника в перешкоду без виражених ударно-хвильових процесів. Ударно-хвильова стадія взаємодії характеризується наявністю інтенсивних ударних хвиль та хвиль розрідження як у перешкоді, так і в ударнику [1]. Результати розрахунків вказують, що при дії на перешкоду сталевих куль, що мають  $\sigma_{\text{мо}} = 0,5 \div 1,5$  ГПа у швидкісному діапазоні  $v_{\text{yo}} = 500 \div 1000$  м/с, контактний тиск  $p_k$  за величиною не перевищує 4,5 ГПа. Порівняння виникаючого контактного тиску з твердістю склокристалічних матеріалів (ситалів)  $H_k$  показує, що  $p_k$  значно нижче наведених значень твердості за Віккерсом  $HV$ , яка змінюється ситалах в межах  $7 \div 10$  ГПа [2].

Тому ударостійкий матеріал, зокрема

бронеелемент, повинен характеризуватися двома важливими властивостями, а саме, високою твердістю поверхневого шару – здатністю руйнувати гострий ніс серцевини кулі, та необхідною в'язкістю, достатньою для поглинання енергії удару кулі без утворення тріщин і руйнування.

Швидкість проходження ударної хвилі в матеріалі залежить від його щільності і модуля пружності [3]. Висока швидкість розповсюдження звукової хвилі важлива з двох причин:

- 1) енергія попадання швидко розсіюється по великій площі;
- 2) зростає ступінь руйнування самого снаряду.

Чим більша різниця в швидкості поширення звукової хвилі в матеріалі ударника і в перешкоді, тим сильніше буде зруйнований ударник. Відомо, що для керамічних матеріалів поширення звукової хвилі зростає зі збільшенням модуля пружності. Однак, для ситалів найвищі показники поширення звукової хвилі мають склади на основі літійалюмосилікатних стекел, для яких модуль пружності становить лише  $74 \div 94$  ГПа [4]. Це може бути пов'язано з наявністю у структурі склокерамічних матеріалів склофази, яка дозволяє знімати механічні мікронапруги, що виникають під дією термічних факторів, та заліковувати тріщини, які виникають при ударі. Наявність еластичної скломатриці, яка забезпечує релаксацію напруг та розсіювання енергії удару, дозволяє використовувати цей матеріал не тільки як руйнуючий, але і як демпферний шар. Тому часто крихкі матеріали, такі як ситали, виявляють крашу

захисну дію, аніж можна було б очікувати з простих розрахунків проходження ударної хвилі [5].

Зважаючи на виключно важливу роль склофази у забезпеченні ударостійкості матеріалів на основі ситалів необхідним є встановлення швидкості розповсюдження звукових хвиль у вихідних стеклах.

Для ситалів, які вміщують більше 50 об. % кристалічної фази швидкість розповсюдження звукових хвиль буде визначатися як адитивна властивість, що враховує показник  $v_i$  для склофази та кристалічної фази. Відомо, що швидкість розповсюдження поздовжніх хвиль в мінералах змінюється від 2000 до 18000 м/с, поперечних – від 1100 до 10000 м/с. Низькі швидкості характерні для самородних металів, високі – для алюмосилікатних і оксидних мінералів, які не вміщують залізо (корунд, шпінель, алмаз) [6, 7].

Високо пружний мінерал основного складу піроксен також характеризується максимальними значеннями  $v_i$ . Авторами встановлено, що сподумен в умовах тиску до 2,0 ГПа може мати швидкості поздовжніх хвиль більше 11,96 км/с, а поперечних – 6,98 км/с і характеризуватися пружною анізотропією [8].

Важливим фактором забезпечення високої ударостійкості ситалів як бронееlementів є досягнення у їх складі визначного вмісту та виду скло фази та кристалічної фази в умовах спрямованої кристалізації. Встановлення залежності ударостійкості склокристалічних матеріалів від фазового складу, який визначає швидкість розповсюдження хвиль в матеріалах, є актуальною задачею на що і визначило необхідність проведення даної роботи.

**Мета роботи.** Встановлення залежності ударостійкості від швидкості розповсюдження хвиль для склокристалічних матеріалів.

#### Методика проведення експерименту.

Швидкість розповсюдження звукових хвиль в модельних стеклах з урахуванням питомої енергії атомізації оксидів (табл. 1) розраховували за методикою наведеною Е. Машировим [6].

У роботі [6] за прийнятою системою розрахунків енергії хімічних зв'язків у склоподібних речовинах встановлено, що швидкість розповсюдження звукової хвилі в багатокомпонентних силікатних стеклах пропорційна їх питомій енергії атомізації.

Для залежності швидкості розповсюдження поперечних звукових хвиль ( $v_t$ ), а також характеристичної температури Дебая від молекулярної маси ( $M$ ) і енергії хімічних зв'язків – енергій атомізації ( $E$ ) для ряду простих сполук, зокрема для склоподібного кремнезема, справедливе співвідношення:

$$2v_t^2 M = E \quad (1)$$

Для багатокомпонентного скла значення  $E$  визначається з виразу:

$$E = k \sum E_{oi} m_{oi}, \quad (2)$$

де  $E_{oi}$  – енергія атомізації  $i$ -ого оксиду;  $m_{oi}$  – вміст  $i$ -ого оксиду у склі (мол. %);  $k$  – емпіричний

коефіцієнт, який враховує взаємозв'язок оксидів у багатокомпонентних стеклах. Для силікатних стеклок прийнято  $k = 1,02$ , як і для кристалічних силікатів і алюмосилікатів [5]. За даними хімічних аналізів величина  $M$  багатокомпонентних стеклок розраховувалась за формулою:

$$M = \sum M_{oi} m_{oi}, \quad (3)$$

де  $M_{oi}$  – молекулярна маса  $i$ -ого оксиду.

Зі співвідношення (1) слідує, що  $2v_t^2 = E/M = Em$ , тобто питома енергія атомізації пропорційна квадрату швидкості розповсюдження поздовжніх звукових хвиль. Так, стекла, які містять оксиди літію, берилію, бору і алюмінію з найбільш високими  $E_m = 30,08 \div 33,03$  МДж/кг, характеризуються значеннями  $v_t = 3420 \div 3793$  м/с. Навпаки, стекла, які містять оксиди цезію і свинцю зі значеннями  $E_m = 17,45 \div 19,17$  МДж/кг, характеризуються найменшими величинами  $v_t = 2200 \div 2450$  м/с.

Показники механічних властивостей отримано за допомогою твердомірів ПМТ-3 та ТМВ-1000 та приладу для вимірювання модуля пружності за статичним методом. Щільність матеріалів вимірювали за методом гідростатичного зважування в толуолі.

Придатність матеріалу до його використання як бронезахисного елементу оцінювали за критерієм ударостійкості ( $M$ ) [9], який визначається таким чином:

$$M = E \cdot HK / \rho \quad (4)$$

де  $E$  – модуль пружності, ГПа;  $HK$  – твердість за Кнупом, ГПа;  $\rho$  – щільність, кг/м<sup>3</sup>.

Теоретична швидкість розповсюдження звукових хвиль вимірювалась за формулою [10]:

$$v = (E / \rho)^{1/2} \quad (5)$$

Таблиця 1. Значення показників молекулярної маси та питомої енергії атомізації оксидів [6]

Оксиди	Значення показників	
	$M$ , кг/моль	$E_{oi}$ , МДж/кмоль
Li <sub>2</sub> O	29,88	1168,2
Na <sub>2</sub> O	61,98	977,2
K <sub>2</sub> O	94,2	791,3
MgO	40,31	1001,1
CaO	56,08	1062,2
ZnO	81,37	728,1
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59,92	3144,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,96	3073,2
SiO <sub>2</sub>	60,08	1715,0
TiO <sub>2</sub>	79,9	1260,0 [11]
ZrO <sub>2</sub>	123,224	1382,0 [12]
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	141,948	14,0 [13]
CeO <sub>2</sub>	172,12	1,46 [14, 15]

#### Експериментальна частина.

Для встановлення області існування вихідного скла було обрано систему R<sub>2</sub>O – RO – RO<sub>2</sub> – R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – SiO<sub>2</sub>. В ній було обмежено область в наступних концентраційних межах мас. %: R<sub>2</sub>O  $\Sigma$ (K<sub>2</sub>O, Li<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O) – 0,0 ÷ 20,0; RO  $\Sigma$ (CaO, SrO, MgO, ZnO) – 1,0 ÷ 9,39; RO<sub>2</sub>  $\Sigma$ (SnO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>,) – 1,0 ÷ 12,0; CeO<sub>2</sub> 0,0 ÷ 0,5; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> –

$\Sigma(\text{Al}_2\text{O}_3, \text{B}_2\text{O}_3) - 1,2 \div 34,15$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,0 \div 3,48$ ;  $\text{SiO}_2 - 37,3 \div 71,8$ , та фториди, синтезовано склади стекел серії СЛ та серії СП та досліджено їх кристалізаційну здатність.

### Результати експерименту та їх обговорення.

Розрахункові значення швидкості звукової хвилі для дослідженого скла серії СП та СЛ зростають з підвищенням їх питомої енергії атомізації (табл. 2).

Для дослідженого скла СП-6, СП-9 та СЛ-6, СЛ-7, СЛ-8, СЛ-11 та СЛ-12 високі показники швидкості звукової хвилі пов'язані зі значним вмістом оксидів бору, алюмінію, силіцію, титану, цирконію та літію у їх складі. Після термічної обробки вказаних стекел значення даного показника буде суттєво зростати за рахунок наявності високопружних фаз  $\beta$ -сподумену та дисилікату літію.

Таблиця 2. Значення показників питома енергія атомізації та швидкості звукової хвилі для дослідних стекел

Серія стекел СП												
показники	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
$E_m$ МДж /моль	28	25	28	17	28	29	28	27	30			
$v$ , $10^3$ м/с	5,3	5,0	5,3	4,1	5,3	5,4	5,3	5,2	5,5			
Серія стекел СЛ												
показники	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$E_m$ МДж/ моль	25	26	28	24	26	28	29	31	27	21	28	28
$v$ , $10^3$ м/с	4,9	5,1	5,3	4,9	5,1	5,3	5,4	5,6	5,2	4,6	5,3	5,3

За результатами попередніх досліджень взаємозв'язку структури та фізико-хімічних властивостей розроблених матеріалів серії СЛ [16], СП [17] дозволили встановити, що ситали на основі літій силікатного скла СЛ-12 та літій алюмосилікатного скла СП-9 з вмістом дисилікату літію та  $\beta$ -сподумену у кількості 50 та 80 об. % відповідно.

Для оцінки критерію ударостійкості були визначені механічні властивості склокристалічних матеріалів, які було отримано за скляною технологією за низькотемпературним двостадійним режимом термічної обробки. При цьому значення показнику модуля пружності для матеріалів, який визначали за методом розтягнення нитки є завідомо нижчим, оскільки для в даному випадку кристалізація при термічній обробці нитки протікає не повною мірою (табл.3). Тому теоретичні значення критерію ударостійкості та швидкості

### Список літератури

1. Власов А.С., Кинетика высокоскоростного внедрения в высокопрочные хрупкие среды / [А.С. Власов Ю.А. Емельянов, Е.Л. Зильбербранд и др.] // Физика твердого тела. 1999. – Т. 41, № 10. – С. 1785 – 1787.
2. Брагіна Л.Л. Структура та властивості склокристалічних матеріалів / [Л.Л. Брагіна, О.В. Саввова, О.В. Бабіч, Ю.О. Соболь] – Х: ООО «Компанія СМІТ», 2016. – 253с.
3. Thomas E.L. Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications / [E.L. Thomas, M.F. McGrath, R.C. Buchanan et al]. – Washington: National Academies Press, 2011. – 176 p.
4. Каранетян Г.О. Исследование упругих свойств литиевоалюмосиликатных стекел / [Г.О. Каранетян, В.Я. Лившиц, Д.Г. Теннисон] // Физика и химия стекла. – 1979. – Т. 5, № 3. – С. 314 – 319.
5. Savvova O.V., Bragina L.L., Development of glass-ceramic high-strength material for personal armor protection elements / [O.V. Savvova, L.L. Bragina, et al.] // Chemistry & chemical technology, 2017, Vol. 11, No. 2, pp. 214-219.

розповсюдження хвиль для дослідних матеріалів за даною методикою є нижчою, аніж при вимірюванні в умовах експерименту.

Таблиця 3. Експлуатаційні властивості дослідних матеріалів

Дослідні матеріали	HK, ГПа	$K_{IC}$ , МПа·м <sup>1/2</sup>	E, ГПа	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{ст}$ , МПа	M, ГПа <sup>2</sup> ·м <sup>3</sup> ·кг <sup>-1</sup>	v, м / с
СЛ-12	8,80	3,10	82,0	2,38	650	0,303	5,869
СП-9	8,75	2,4	100,0	2,45	750	0,357	6,388

Проведені дослідження дозволяють стверджувати про підвищення теоретичної швидкості розповсюдження хвиль для стекел та матеріалів на їх основі з появою у їх складі кристалічної фази. Наявність для розроблених склокристалічних матеріалів фаз з різними пружними властивостями дозволяє забезпечити більш ефективне руйнування ударника та мінімізацію позаперешкодної дії.

### Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.

Встановлено перспективність застосування ударостійких склокристалічних матеріалів як елементів бронезахисту.

Визначено особливості структури літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів, які визначають їх високу захисну дію. Прогнозована оцінка максимального зниження позаперешкодного ефекту при мінімальній товщині бронееlementу можлива при застосуванні розроблених літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів за рахунок забезпечення в них високих міцносних властивостей ( $\sigma_{ст} = 650 \div 750$  МПа) та високих значень декременту затухання коливань. Дозволила встановити доцільним застосування розроблених літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів.

Визначено особливості структури літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалів, які визначають їх високу захисну дію. Прогнозована оцінка максимального зменшення позаперешкодної Визначено залежність ударостійкості від швидкості розповсюдження хвиль для літійалюмосилікатних стекел та склокристалічних матеріалів на їх основі.

Встановлено вплив наявності високопружних фаз  $\beta$ -сподумену та дисилікату літію, та скломатриці з демпферними властивостями на ударостійкість та мінімізацію позаперешкодної дії. Дані результати можуть бути використані при розробці бронееlementів з високою кулестійкістю.

6. Мамыров Э. Связь скорости распространения звука в силикатных стеклах с их удельной энергией атомизации / Э. Мамыров // Физика и химия стекла. – 1988. – Т 14, № 4. – С. 600 – 603.
7. Хамидуллина Г.С. Петрофизика: пособие для самостоятельного изучения лекционного курса слушателей повышения квалификации специальности «Геофизика» / Г.С.Хамидуллина. // Казань: Казанский государственный университет, 2009, – 90с.
8. Сафаров И.Б. Упругие модули кристалла сподумена при давлениях до 2,0 ГПа / И.Б. Сафаров, Х.Б. Агаев // Геодинамика, 2012. – № 1(12). – С 163 – 167.
9. Зайцев Г.П. Корундовая бронекерамика: опыт производства и применения / Г.П. Зайцев // Экспертный союз. – 2012. – № 3 (24) интернет ресурс: <http://www.unionexpert.ru/index.php/2011-07-25-15-56-33/item/287-alumina-bronekeramika-experience-of-production-and-use>
10. Клубович В.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей / В.В. Клубович, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко // Минск: Беларус. Навука, 2012. – 294 с.
11. Steven Ed. New and Future Developments in Catalysis: Catalysis by Nanoparticles / Ed. by Steven L. Suib. – Poland, Netherlands: Elsevier, 2013. – 512 p.
12. Fang Zongtang. Computational studies of the catalytic reactions of group ivb and vib transition metal oxide clusters:diss... doctor of philosophy: Zongtang Fang; The University of Alabama. – Tuscaloosa, Alabama, 2014. – 412 p.
13. Smoes S. Atomization energies of phosphorus oxides / S. Smoes, J. Drowart // Faraday Symposia of the Chemical Society. – 1973. – Vol. 8. – P. 139–148.
14. Piacente V. Dissociation energy of CeO<sub>2</sub> and Ce<sub>2</sub>O<sub>2</sub> molecules / [V. Piacente, G. Bardi, L. Malaspina, A. Desideri] // The Journal of Chemical Physics. – 1973. – Vol. 59 (1). – P. 31 – 36.
15. Juarez L.F. Da Silva Formation of the cerium orthovanadate CeVO<sub>4</sub>: DFT+U study / [Juarez L.F. Da Silva, M. Verónica Ganduglia-Pirovano, Joachim Sauer] // Physical Review B. – 2007. – Vol. 76, № 12. – P. 1 – 10.
16. Саввова О.В. Високоміцні літійвмісні матеріали спеціального призначення / [О.В. Саввова, Л.Л. Брагіна, О.В. Бабіч та ін. ] // Збірник наукових праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів імені А.С. Бережного». – Харків: Каравела, 2016. – №116. – С.116 – 124.
17. Саввова О.В. Дослідження кристалізаційної здатності літійалюмосилікатних стекол в умовах термічної обробки / О.В. Саввова, О.В. Бабіч, А.О. Гривцова // Вопросы химии и химической технологии. – Днепр: Новая идеология, 2016. – № 3 (107). – С.82 – 88.
4. Karapetyan G.O., Livshits V. Ya., Tennison D. G. / *Issledovanie uprugikh svoystv litievoalumosilikatnykh stekol* // Fizika i khimiya stekla. – 1979. – Vol. 5, № 3. – P. 314 – 319.
5. Savvova O.V., Bragina L.L., et al. / *Development of glass-ceramic high-strength material for personal armor protection elements* // Chemistry & chemical technology, 2017, Vol. 11, №. 2, P. 214–219.
6. Mamyrov E. Svyaz' skorosti rasprostraneniya zvuka v silikatnykh steklakh s ikh udel'noy energiyey atomizatsii // Fizika i khimiya stekla. – 1988. – Vol. 14, № 4. – P. 600 – 603.
7. Khamidullina G.S. Petrofizika: posobie dlya samostoyatel'nogo izucheniya lektzionnogo kursa slushateley povysheniya kvalifikatsii spetsial'nosti «Geofizika»// Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy universitet, 2009, – 90 p.
8. Safarov I.B., Agaev Kh.B. / *Uprugie moduli kristalla spodumena pri davleniyakh do 2,0 GPa* // Geodinamika, 2012. – № 1(12). – P. 163 – 167.
9. Zaytsev G.P. / *Korundovaya bronekeramika: opyt proizvodstva i primeneniya* // Ekspertnyy soyuz. – 2012. – № 3 (24) internet resurs: <http://www.unionexpert.ru/index.php/2011-07-25-15-56-33/item/287-alumina-bronekeramika-experience-of-production-and-use>
10. Klubovich V.V. Rubanik V.V., Tsarenko Yu.V. / *Ul'trazvuk v tekhnologii proizvodstva kompozitsionnykh kabeley* // Minsk: Belarus. Navuka, 2012. – 294 p.
11. Ed. by Steven L. Suib. / *New and Future Developments in Catalysis: Catalysis by Nanoparticles* // Poland, Netherlands: Elsevier, 2013. – 512 p.
12. Fang Zongtang *Computational studies of the catalytic reactions of group ivb and vib transition metal oxide clusters:diss. doctor of philosophy.* // The University of Alabama. – Tuscaloosa, Alabama, 2014. – 412 p.
13. Smoes S. Drowart J. / *Atomization energies of phosphorus oxides*// Faraday Symposia of the Chemical Society. – 1973. – Vol. 8. – P. 139 – 148.
14. Piacente V., Bardi G., Malaspina L., Desideri A. / *Dissociation energy of CeO<sub>2</sub> and Ce<sub>2</sub>O<sub>2</sub> molecules* // The Journal of Chemical Physics. – 1973. – Vol. 59 (1). – P. 31 – 36.
15. Da Silva Juarez L. F., Verónica Ganduglia-Pirovano M. / *Formation of the cerium orthovanadate CeVO<sub>4</sub>: DFT+U study* // Physical Review B. – 2007. – Vol. 76, № 12. – P. 1 – 10.
16. Savvova O.V., Bragina L.L., Babich O.V. at al. / *Vysokomitsni litiyvmsni materialy spetsial'noho pryznachennya* // Zbirnyk naukovykh prats' VAT «UkrNDIVohnetryviv imeni A.S. Berezhnoho». – Kharkiv: Karavela, 2016. – No.116. – P. 116 – 124.
17. Savvova O.V., Babich O.V., Hryvtsova A.O./ *Doslidzhennya kristalizatsiyoiy zdatnosti litiyalumosilikatnykh stekol v umovakh termichnoyi obrobky* // Vopros khymyy y khymicheskoy tekhnolohyy. – Dnepropetrovsk: Novaya ydeolohyya, 2016. – № 3 (107). – P. 82 – 88.

### References (transliterated)

1. Vlasov A.S., Emel'yanov Yu.A., Zil'berbrand E.L. et al. / *Kinetika vysokoskorostnogo vnedreniya v vysokotverdye khrupkie sredy* / Fizika tverdogo tela. – 1999. – Vol. 41, № 10. – P. 1785–1787.
2. Bragina L.L., Savvova O.V., Babich O.V., Sobol' Yu.O. / *Struktura ta vlastyivosti sklokrystalichnykh materialiv* / Kharkov: OOO «Kompaniya SMIT», 2016.– 253p.
3. Thomas E. L., McGrath M.F., Buchanan R.C. et al. / *Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications* // Washington: National Academies Press, 2011. – 176 p.

Поступила (received) 22.10.17

### Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Залежність ударостійкості від швидкості розповсюдження хвиль в літійалюмосилікатних склокристалічних матеріалах** / О. В. Саввова, В.Л. Топчий, С.О. Рябінін та ін. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – X. : НТУ «ХП», 2017. – № 41(1263). – С. 71–75. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2220-4784.

**Зависимость ударопрочности от скорости распространения волн в литийалюмосилікатних стелокристаліческих матеріалах** / О. В. Саввова, В.Л. Топчий, С.О. Рябінін та ін. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. – X. : НТУ «ХП», 2017. – № 41(1263). – С. 71–75. – Библиогр.: 17 назв. – ISSN 2220-4784.

**Dependence of shock resistance from the speed of wave spreading in lithium-aluminous glass-ceramic materials** / O. Savvova, V. Topchiy, S. Ryabinin and other // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovation researches in students' scientific work. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2017. – № 41(1263). – P. 71–75. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2220-4784.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Саввова Оксана Вікторівна** – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (050) 20-10-444; e-mail: [savvova\\_oksana@ukr.net](mailto:savvova_oksana@ukr.net).

**Саввова Оксана Вікторівна** – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (050) 20-10-444; e-mail: [savvova\\_oksana@ukr.net](mailto:savvova_oksana@ukr.net).

**Savvova Oksana** – Doctor of Technical Sciences, Associate professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, senior research assistant at the Department of the Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology; tel.: (050) 20-10-444; e-mail: [savvova\\_oksana@ukr.net](mailto:savvova_oksana@ukr.net).

**Топчий Віталій Леонідович** – начальник науково-дослідної лабораторії (бойового застосування підрозділів технічного забезпечення та радіаційного, хімічного, біологічного захисту) факультету військової підготовки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», тел.: +38 (057) 7076878, e-mail: [t\\_v\\_l2010@ukr.net](mailto:t_v_l2010@ukr.net)

**Топчий Віталій Леонідович** - начальник научно-исследовательской лаборатории (боевого применения подразделений технического обеспечения и радиационной, химической, биологической защиты) факультета военной подготовки Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», тел.: +38 (057) 7076878, e-mail: [t\\_v\\_l2010@ukr.net](mailto:t_v_l2010@ukr.net)

**Topchiy Vitaliy** - head of the research laboratory (combat application of departments of technical support and radiation, chemical, biological protection) of the military training faculty of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», tel.: +38 (057) 7076878, e-mail: [t\\_v\\_l2010@ukr.net](mailto:t_v_l2010@ukr.net)

**Рябінін Святослав Олександрович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: +38(057)7076878; e-mail: [riabinin\\_svyatoslav@hotmail.com](mailto:riabinin_svyatoslav@hotmail.com)

**Рябинин Святослав Александрович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: +38 (057) 7076878; e-mail: [riabinin\\_svyatoslav@hotmail.com](mailto:riabinin_svyatoslav@hotmail.com)

**Ryabinin Svyatoslav** - National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», postgraduate student the Department of the ceramics, refractories, glass and enamel technology; tel.: +38 (057) 7076878; e-mail: [riabinin\\_svyatoslav@hotmail.com](mailto:riabinin_svyatoslav@hotmail.com)

**Кураш Леонід Степанович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38(057)7076878; e-mail: [ndl\\_btovt@ukr.net](mailto:ndl_btovt@ukr.net)

**Кураш Леонід Степанович** - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38(057)7076878; e-mail: [ndl\\_btovt@ukr.net](mailto:ndl_btovt@ukr.net)

**Kurash Leonid** – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Senior Research Associate of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Guards Faculty of Military Training; tel.: (097) 60-51-815; e-mail: [ndl\\_btovt@ukr.net](mailto:ndl_btovt@ukr.net)

**Тимофєєв Вадим Дмитрович** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник науково-дослідної лабораторії бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки; тел.: +38 (067) 957-00-36, e-mail: [ndl\\_bto@ukr.net](mailto:ndl_bto@ukr.net).

**Тимофеев Вадим Дмитриевич** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории бронетанкового вооружения и военной техники факультета военной подготовки; тел.: +38(067)-957-00-36, e-mail: [ndl\\_bto@ukr.net](mailto:ndl_bto@ukr.net).

**Timofeev Vadim** – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Research Officer of the Armored Weaponry and Military Vehicles Research Laboratory of Military Training Faculty; tel.: +38 (067) 957-00-36; e-mail: [ndl\\_bto@ukr.net](mailto:ndl_bto@ukr.net).