

УДК 623.438

*С. П. БІСИК, І. Б. ЧЕПКОВ, М. І. ВАСЬКІВСЬКИЙ, В. Г. КОРБАЧ, О. А. СЛИВІНСЬКИЙ,  
Л. С. ДАВИДОВСЬКИЙ, О. М. АРИСТАРХОВ*

### ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ДІЇ ВИБУХУ НА ЗАХИСНІ КОНСТРУКЦІЇ

Представлені результати моделювання дії вибуху на металеву пластину з використанням різних розрахункових методів: LOAD\_BLAST; LOAD\_BLAST\_ENHANCED; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Particle Blast Method; Smooth Particle Hydrodynamics, що реалізовані в програмі LS-DYNA. Оцінена адекватність та точність цих методів в залежності від коефіцієнту відстані до вибухової речовини. Наведенні переваги й недоліки кожного методу та рекомендації по їх застосуванню за результатами цього моделювання та досвіду авторів.

**Ключові слова:** вибух, протимінна стійкість, моделювання, LS-DYNA.

*С. П. БИСЫК, И. Б. ЧЕПКОВ, М. И. ВАСЬКОВСКИЙ, В. Г. КОРБАЧ, А. А. СЛИВИНСКИЙ,  
Л. С. ДАВЫДОВСКИЙ, О. М. АРИСТАРХОВ*

### СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА НА ЗАЩИТНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Представлены результаты моделирования действия взрыва на металлическую конструкцию с использованием разных расчетных методов: LOAD\_BLAST; LOAD\_BLAST\_ENHANCED; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Particle Blast Method; Smooth Particle Hydrodynamics, которые реализованы в программе LS-DYNA. Оценена адекватность и точность этих методов в зависимости от коэффициента расстояния к взрывчатому веществу. Представлены преимущества и недостатки каждого метода и рекомендации по их использованию по результатах этого моделирования и опыта авторов работы.

**Ключевые слова:** взрыв, противоминная стойкость, моделирование, LS-DYNA.

*S. P. BISYK, I. B. CHERPKOV, M. I. VASKIVSKYY, V. G. KORBACH, O. A. SLYVINSKYI,  
L. S. DAVYDOVSKYY, O. M. ARISTARXOV*

### COMPARISON OF METHODS FOR MODELING OF AIR BLAST ON PROTECTIVE STRUCTURES

The results of simulation of the explosion action on a metal structure using different calculation methods are presented: LOAD\_BLAST; LOAD\_BLAST\_ENHANCED; Arbitrary Lagrangian Eulerian; Particle Blast Method; Smooth Particle Hydrodynamics, which are implemented in the program LS-DYNA. The adequacy and accuracy of these methods are evaluated depending on the distance ratio to the explosive substance. The advantages and disadvantages of each method and recommendations for their use based on the results of this simulation and the experience of the authors of the work are presented.

**Keywords:** explosion, mine resistance, modeling, LS-DYNA.

**Вступ.** Результати аналізу збройних конфліктів останніх десятиріч показують, що значна частина бойових пошкоджень озброєння та військової техніки (ОВТ) і загибелі їх екіпажів спричинена внаслідок ураження мінами та саморобними вибуховими пристроями [1,2]. Тому є актуальним рішення проблеми визначення ефективності захисних конструкцій при вибуховому навантаженні для покращення протимінної стійкості зразків ОВТ. Методи її рішення базуються як правило на розрахункових та експериментальних підходах. При цьому розрахункові підходи умовно можна розділити на такі: 1) числовий – з використанням розрахункових моделей; 2) аналітичний – з використанням спрощених моделей та їх комбінування. Використання другого підходу прийнятне у окремих випадках коли допускається спрощений розрахунок. Числові методи в задачах фізики швидкоплинних процесів на сьогоднішній день являються важливим і досить ефективним інструментом моделювання процесів, що протікають в екстремальних умовах навантаження конструкції зразка ОВТ. Використання числових методів в поєднанні з методами програмування і можливостями електронно-обчислювальної техніки дозволяє створювати розрахункові методики, що є потужним інструментом інженера-дослідника та дозволяє отримувати апріорну експертну оцінку конструкції,

досліджувати вплив параметрів конструкції і фізико-механічних характеристик матеріалу її елементів на параметри функціонування конструкції в цілому, визначати закономірності того чи іншого процесу, що лежить в основі роботи конкретної конструкції зразка ОВТ. Числове моделювання, зрозуміло, не може замінити традиційних експериментальних методів дослідження, але може суттєво мінімізувати їх кількість та доповнити, що зробить більш ефективним весь процес вивчення, створення і покращення протимінної стійкості зразків ОВТ.

Дослідженню вибухового навантаження конструкцій присвячено досить значну кількість робіт, серед яких можна виділити [3-33]. Характерним для них є те, що авторами як правило обирається один з методів числового моделювання і не проводиться обґрунтування чому саме обрано такий метод моделювання. Зважаючи на велику кількість методів моделювання дії вибуху, та похибки що має кожний з методів для конкретних умов виникає необхідність у порівняльній оцінці їх точності та адекватності.

На сьогоднішній день однією з програм, що дозволяють проводити моделювання дії вибуху на захисні конструкції є програмний комплекс LS-DYNA, що дозволяє використання різних розрахункових методів для оцінки вибухового навантаження.

**Метою статті** є порівняльна оцінка точності та

адекватності методів моделювання дії вибуху на захисні конструкції.

**Основна частина.** Основним критерієм при оцінці дії вибуху на захисні конструкції є коефіцієнт відстані до вибухової речовини (ВР), який визначається за виразом [34]:

$$Z = \frac{R}{\sqrt[3]{m_{BP}}} \quad (1)$$

де  $Z$  – коефіцієнт відстані до ВР;  
 $R$  – відстань від центру заряду ВР;  
 $m_{BP}$  – маса ВР в тротиловому еквіваленті.

Умовно дію вибуху на захисні конструкції можна класифікувати в залежності від значення  $Z$  (таблиця 1).

Таблиця 1 – Умовна класифікація дії вибуху залежно від значення  $Z$

Класифікація	$Z$ , кг/м <sup>1/3</sup>
Дальнє поле	>4 - ≈40
Середнє поле	0,4-4
Ближнє поле	≈0,053-0,4
Контактний вибух	≈0,053

Враховуючи значення таблиці 1 доцільно проводити оцінку адекватності і точності методу числового рішення з використанням значення коефіцієнту відстані до ВР, що дозволить уникнути прив'язання до фактичної маси заряду ВР та відстані до нього тобто провести оцінку з урахуванням законів подібності.

При моделюванні дії вибуху на захисні конструкції в програмі LS-DYNA реалізовані такі розрахункові методи у вигляді команд [35]:

LOAD\_BLAST;  
 LOAD\_BLAST\_ENHANCED;  
 Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE);  
 Particle Blast Method (PBM);  
 Smooth Particle Hydrodynamics (SPH).

За даними роботи застосування цих розрахункових методів можливе залежно від значення  $Z$  (таблиця 2).

Таблиця 2 – Можливість застосування розрахункових методів залежно від  $Z$  [36]

Класифікація	$Z$ , кг/м <sup>1/3</sup>	LOAD_BLAST	LOAD_BLAST_ENHANCED	ALE	PBM	SPH
Дальнє поле	>4 - ≈40	так	так	так*	ні	ні
Середнє поле	0,4-4	так	так	так/так*	можливо	ні
Ближнє поле	≈0,053 - 0,4	так	так	так	так	так?
Контактний вибух	≈0,053	ні	ні	так	так	так

\* - в поєднанні із методом LOAD\_BLAST\_ENHANCED

Відповідність теоретичних результатів даним проведеного експерименту, дозволяє контролювати як правомірність основних посилок, закладених у розрахункову схему, так і достовірність отриманих числових результатів. У якості експериментальних даних обрані дані робіт [37,38].

Загальний вигляд експериментальної установки для вибухового навантаження броньової пластини представлено на рис.1 [37,38].

При проведенні дослідження броньова пластина затискала між двома плитами (рис. 1). Заряд вибухової речовини (ВР) тринітротолуолу (ТНТ) у формі сфери розміщувався на різній відстані ( $R$ ) від броньової пластини. Значення маси ВР також варіювалось. Схема проведення експерименту показана на рис.1, в. Значення максимальних динамічних прогинів ( $\delta_i$ ) фіксувались використовуючи металеві креслери (рис. 1, б).

При проведенні числового моделювання застосовано модель Купера–Саймондса (2) для матеріалу пластини [35].

$$\sigma_T = \left[ 1 + \left( \frac{\dot{\varepsilon}}{C} \right)^{1/p} \right] \left( \sigma_0 + \beta E_p \varepsilon_{eff}^p \right) \quad (2)$$

$$E_p = E_{tg} E / (E - E_{tg})$$

$$\varepsilon_{eff}^p = \int_0^t \left( \frac{2}{3} \dot{\varepsilon}_{ij}^p \right)^{1/2} dt,$$

де  $p$  і  $C$  – параметри швидкості деформацій;

$\dot{\varepsilon}$  – швидкість деформацій;

$\sigma_0, \sigma_T$  – статична та динамічна границя плинності;

$E$  – модуль пружності;

$E_{tg}$  – модуль зміцнення.

Рівняння стану продуктів детонації ВР [35]:

$$p = A \left( 1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) \exp\{-R_1 V\} + B \left( 1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) \exp\{-R_2 V\} + \frac{\omega}{V} \bar{E}, \quad (3)$$

де  $v = \rho_0 / \rho = v / v_0$  – відносний питомий об'єм;  $A, B, C$ ,

$R_1, R_2, \omega$  – емпіричні константи;  $\bar{E}$  – внутрішня енергія на одиницю об'єму. В стані Жуге:

$$\bar{E}_H = \bar{E}_0 + \frac{\rho H}{2} (1 - V_H),$$

де  $\bar{E}_0$  – нормалізована величина, що включає енергію хімічних зв'язків і визначається з термодинамічного експерименту або за даними термодинамічного розрахунку.

Рівняння стану повітря [35]:

$$p = e \cdot (\gamma - 1) \rho / \rho_0 \quad (4)$$

де  $\gamma = 1,4$  – показник адіабати повітря.

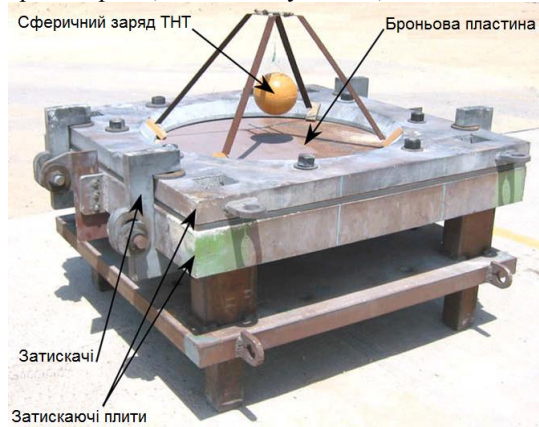
Механічні характеристики броньової пластини приведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристики матеріалу пластини [37,38]

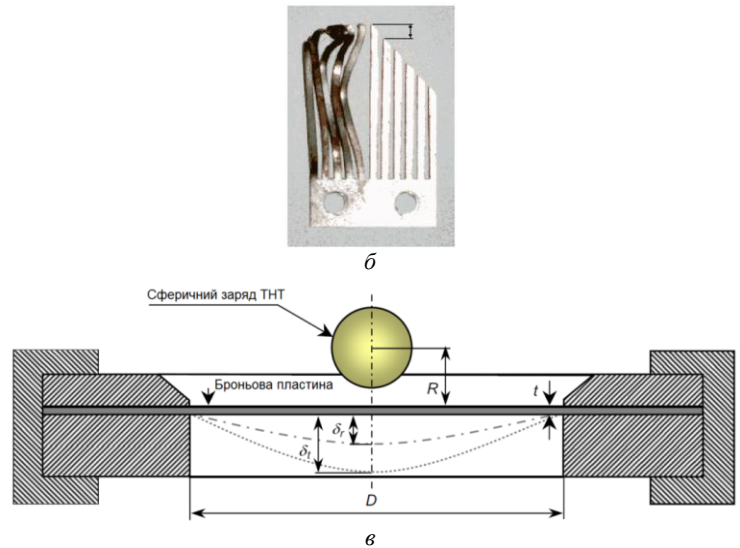
Характеристика	Значення
Модуль пружності, ГПа	210
Коефіцієнт Пуассона	0,28
Границя плинності, МПа	950
Границя міцності, МПа	1250
Відносне подовження, %	9
Густина, кг/м <sup>3</sup>	7838

Характеристики для рівняння стану продуктів детонації приведені в таблиці 4.

Розрахункові схеми для різних методів наведені на рис. 2. У всіх варіантах пластина на яку діє вибух задавалась з використанням тривимірних, чотирьох вузлових, оболонкових скінченних елементів (Shell) та тривимірних, восьми вузлових, об'ємних елементів



а



б

Рис. 1 - Загальний вигляд експериментальної установки (а) та схема проведення експерименту (б) [37,38]: б – металевий крешер для фіксації прогинів;  $R$  – відстань до заряду ВР,  $t$  – товщина броньової пластины;  $D$  – діаметр броньової пластины;  $\delta_d$  – максимальний динамічний прогин;  $\delta_r$  – залишковий прогин

Таблиця 4 – Характеристики рівняння стану продуктів детонації ТНТ [42]

Індекс ВР	Параметри Чепмена-Жуге (Chapman-Jouget), *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN					Коефіцієнти рівняння стану ПД у формі JWL (Jones-Wilkens-Lee), *EOS_JWL					
	$\rho_0$	$P$	$D$	$E_0$	$\Gamma$	$A$	$B$	$C$	$R_1$	$R_2$	$\omega$
	кг/м <sup>3</sup>	ГПа	м/с	ГДж/м <sup>3</sup>		ГПа	ГПа	м <sup>3</sup> /кг			
ТНТ	1630	21,0	6930	7,00	2,727	371,2	3,231	1,045	4,15	0,95	0,30

**Обговорення результатів досліджень та висновки.** Таким чином отриманні результати моделювання з використанням розглянутих розрахункових методів мають високу точність порівняно з експериментальними даними що обрані у якості перевірочних. Крім того, отриманні результати корелюють з даними робіт [39-41].

Використання в числовій моделі твердотілих або оболонкових елементів має приблизно однаковий клас точності вирішення задачі. Однак об'єм даних, необхідний для зберігання рішення однієї і тієї ж задачі для об'ємних елементів буде в середньому в три рази більший. Зрозуміло що й час рішення задачі з використанням об'ємних елементів буде значно вищий порівняно із використанням оболонкових елементів. Такі висновки не є новими і абсолютно логічно витікають з математичного змісту обох елементів. Для переважа-

(Solid). Відповідно у кожній розрахунковій схемі варіювались маса ВР та відстань до неї.

Розрахунки проводились на ПЕОМ процесор Intel (R) Xeon (R) CPU E5-2630L 0 @ 2.00 GHz, ОЗУ 24 ГБ. Результати представлено на рис. 3-4 та у табл. 5. ...

ючої більшості задач з оцінки дії вибуху на захисні конструкції цілком достатнє застосування оболонкових елементів за винятком випадків наявності значних пластичних деформацій та руйнування елементів конструкції. У такому випадку застосування об'ємних елементів буде доцільне після проведення моделювання з використанням оболонкових елементів у якості додаткового дослідження з оцінки характеру та процесу утворення руйнування.

Застосування методу LOAD\_BLAST та LOAD\_BLAST\_ENHANCED має значні переваги порівняно із іншими методами через зручність у їх використанні, відносну простоту підготовки скінченно-елементної моделі, найменші об'єми даних порівняно із іншими методами, найменші апаратні вимоги до електронно-обчислювальної техніки.

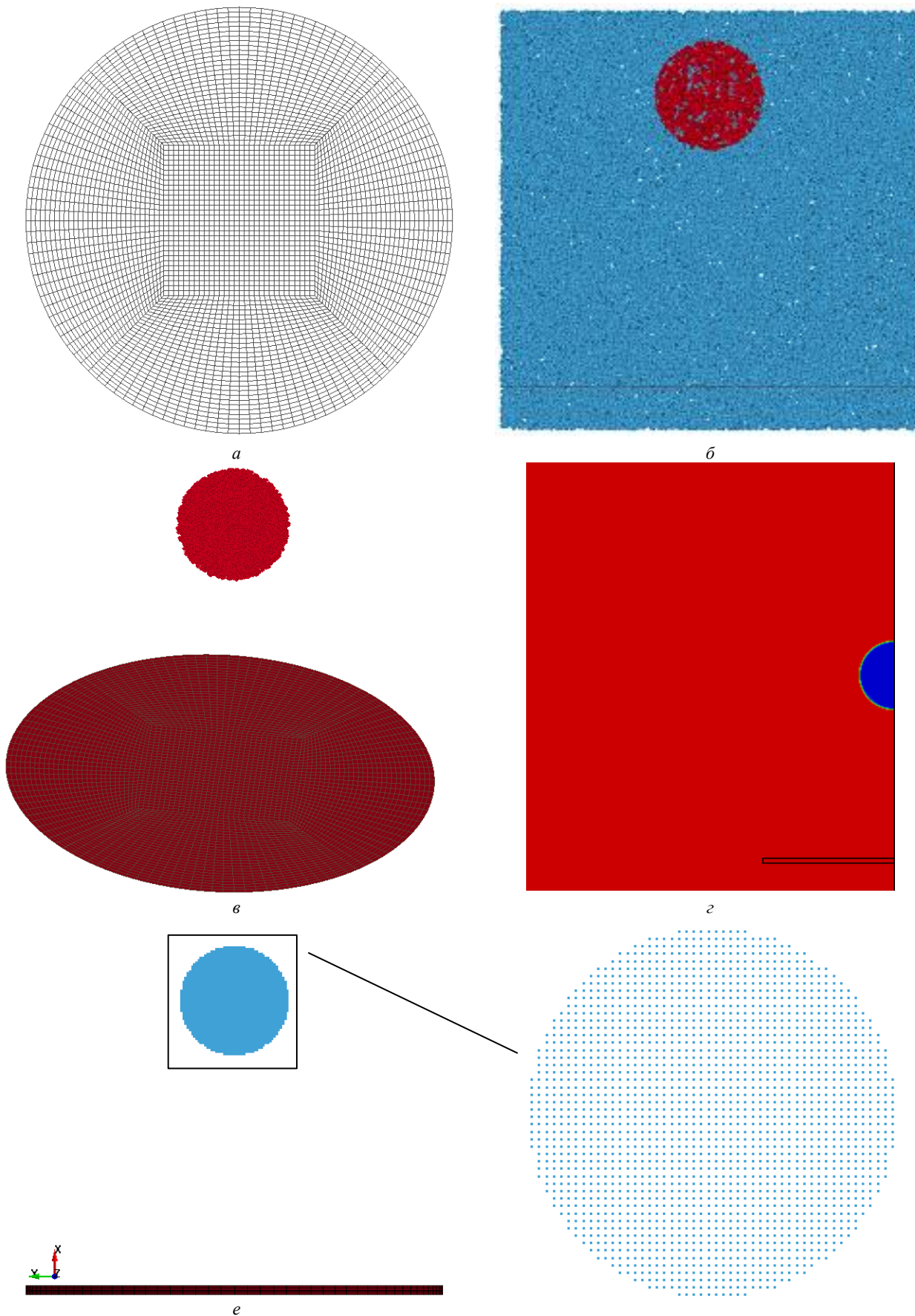


Рис. 2 - Скінченно-елементні моделі для різних методів моделювання вибуху:  
*a* - LOAD\_BLAST та LOAD\_BLAST\_ENHANCED; *б* - PBM (з повітрям); *в* - PBM (без повітря);  
*г* - ALE в двовірній віссиметричній постановці; *е* - SPH

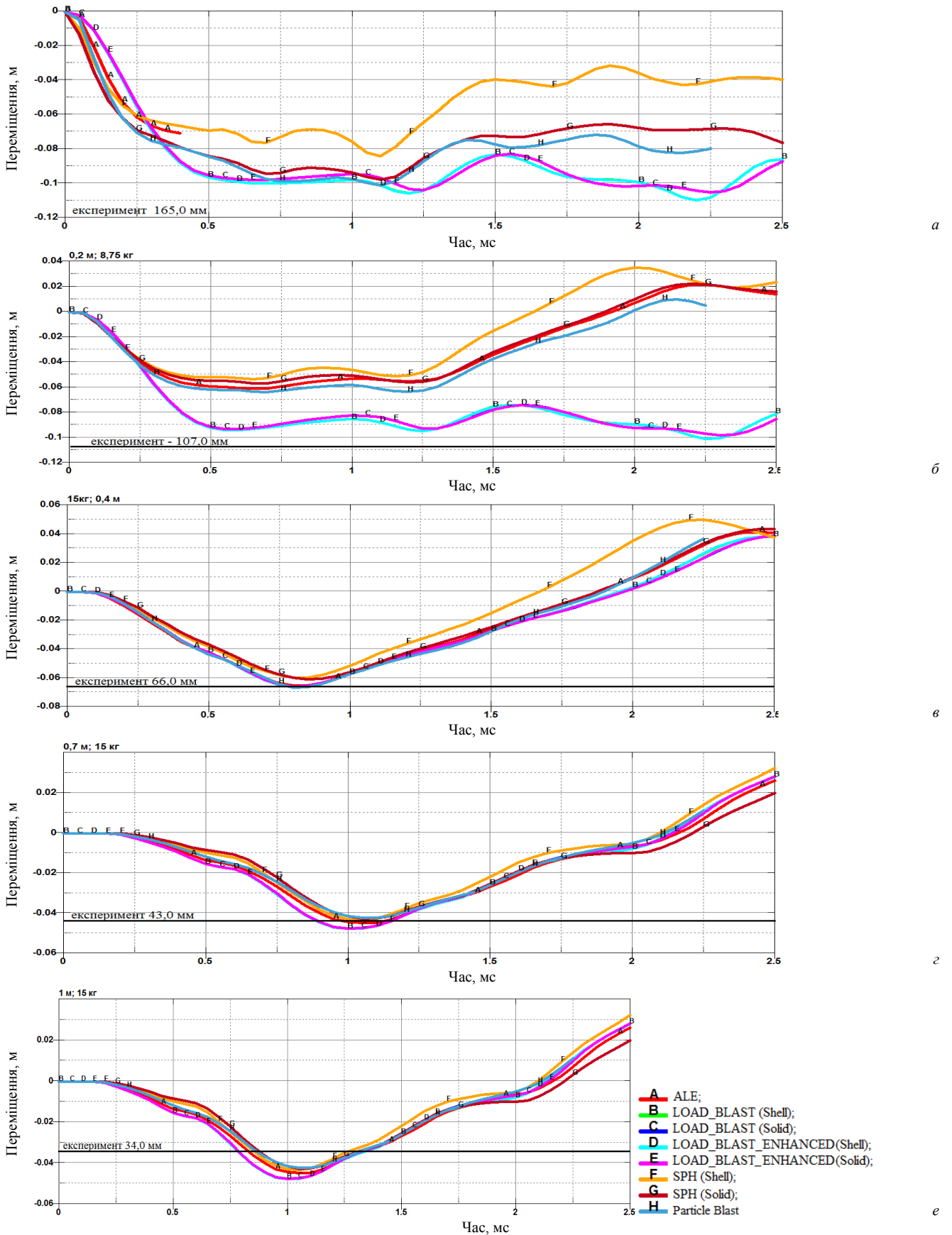


Рис. 3 - Графіки переміщення центрального вузла пластини при моделюванні вибуху заряду ВР із застосуванням різних розрахункових методів:

a –  $m_{BP}=8,75$  кг,  $R=0,13$  м; б –  $m_{BP}=8,75$  кг,  $R=0,2$  м; в –  $m_{BP}=15$  кг,  $R=0,4$  м; г –  $m_{BP}=15$  кг,  $R=0,7$  м; e –  $m_{BP}=15$  кг,  $R=1$  м.

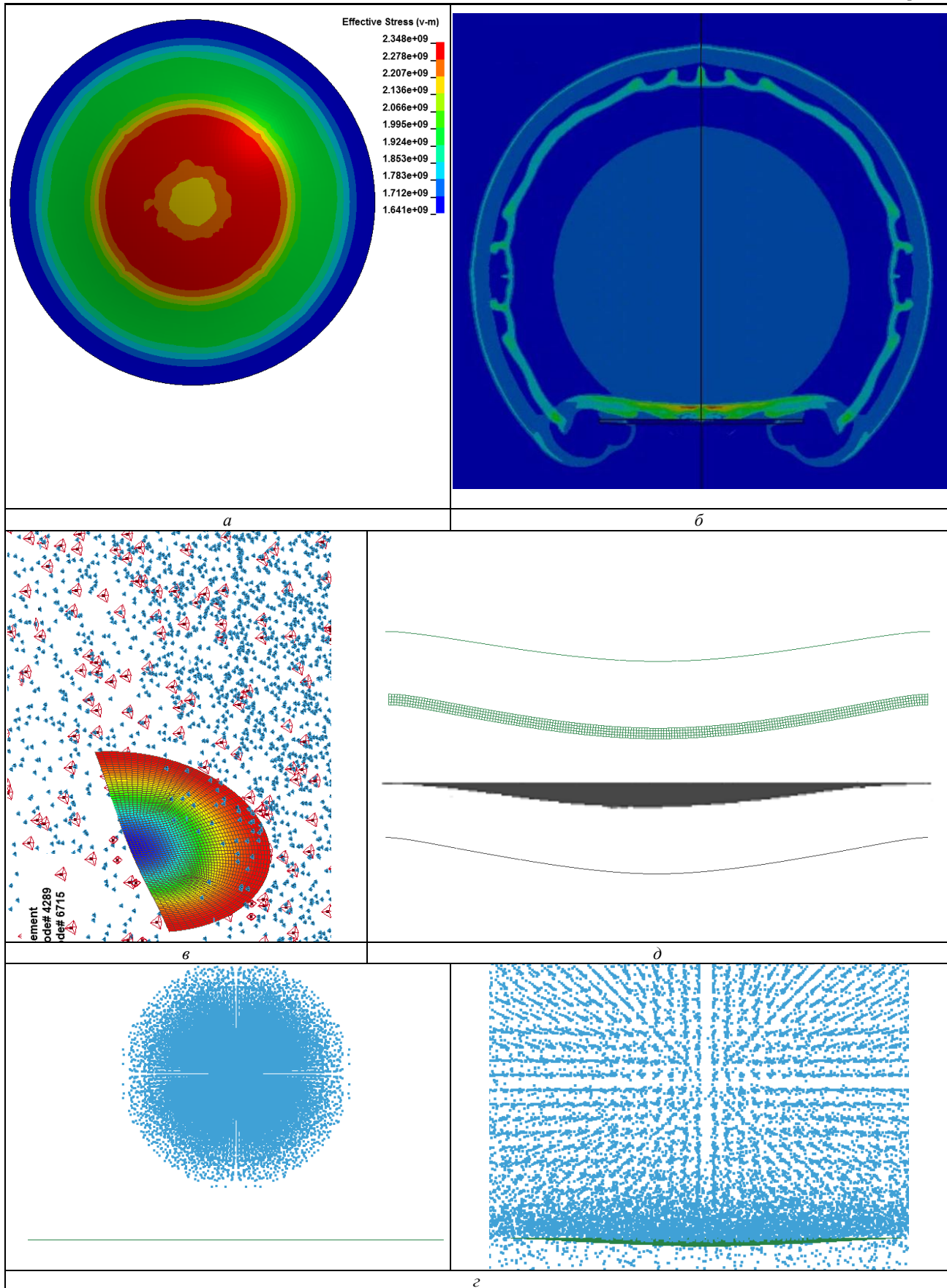


Рис. 4 - Кадри процесу вибухового навантаження пластини із застосуванням різних методів розрахунку вибухового навантаження  $m_{BP}=15$  кг,  $R=0,4$  м:  
 а –LOAD\_BLAST та LOAD\_BLAST\_ENHANCED; б – ALE 2D; в – PBM; г – SPH;  
 д – максимальні деформації пластини при застосування методів а–г відповідно

Таблиця 5 – Результати чисельного моделювання дії вибуху на пластину з використанням різних розрахункових методів

Розрахунковий метод	$m_{BP}$ , кг	$R$ , м	$\delta_r$ , мм експеримент	$\delta_r$ , мм розрахунок	$\Delta$ , %	Час обчислення, сек.	Об'єм даних, МБ	Розміри скінченного елемента, мм	Кількість скінчених елементів, од.	$Z$ , кг/м <sup>1/3</sup>
LOAD_BLAST (Shell)	8,75	0,13	165,0	109,7	33,5	81	41,8	12x12	4380	0,063
		0,2	107,0	100,9	5,7	78				0,097
	15	0,4	66,0	66,2	0,3	79				0,162
		0,7	43,0	47,7	10,9	80				0,284
		1	34	34,6	1,8	83				0,405
LOAD_BLAST (Solid)	8,75	0,13	165,0	105,2	36,2	377	128	14x14	18150	0,063
		0,2	107,0	98,1	8,3	374				0,097
	15	0,4	66,0	66	0,0	371				0,162
		0,7	43,0	47,6	10,7	367				0,284
		1	34	34,6	1,8	371				0,405
LOAD_BLAST (ENHANCED) (Shell)	8,75	0,13	165,0	109,8	33,5	98	55,8	12x12	4380	0,063
		0,2	107,0	100,9	5,7	96				0,097
	15	0,4	66,0	66,3	0,5	88				0,162
		0,7	43,0	47,7	10,9	86				0,284
		1	34	34,6	1,8	85				0,405
LOAD_BLAST (ENHANCED) (Solid)	8,75	0,13	165,0	105,2	36,2	376	151	14x14	18150	0,063
		0,2	107,0	98,1	8,3	374				0,097
	15	0,4	66,0	66	0,0	366				0,162
		0,7	43,0	47,6	10,7	361				0,284
		1	34	34,5	1,5	367				0,405
SPH (Shell)	8,75	0,13	165,0	84,1	49,0	608	498	12x12	65752 (SPH)	0,063
		0,2	107,0	54,5	49,1	596				0,097
	15	0,4	66,0	59,6	9,7	585			0,162	
		0,7	43,0	43,2	0,5	505			0,284	
		1	34	27,2	20,0	498			0,405	
SPH (Solid)	8,75	0,13	165,0	97,8	40,7	2630	583	14x14	65752 (SPH)	0,063
		0,2	107,0	56,5	47,2	2421				0,097
	15	0,4	66,0	60,8	7,9	2305			0,162	
		0,7	43,0	42,6	0,9	2032			0,284	
		1	34	25,9	23,8	1918			0,405	
ALE 2D (Solid)	8,75	0,13	165,0	70,8	57,1	37850	2100	5x5	196400	0,063
		0,2	107,0	61	43,0	37630				0,097
	15	0,4	66,0	65,1	1,4	21030				0,162
		0,7	43,0	44,8	4,2	8951				0,284
		1	34	32,1	5,6	9748				0,405
Particle Blast (з повітрям) (Shell)	8,75	0,13	165,0	100,9	38,8	136			4380 (Shell)	0,063
		0,2	107,0	63,8	40,4	133				0,097
	15	0,4	66,0	66,4	0,6	130			100 000 (PBM)	0,162
		0,7	43,0	42,2	1,9	122				0,284
		1	34	42,1	23,8	65				0,405

Недоліками таких розрахункових методів є неможливість врахування «затіювання» однією конструкцією іншої, відсутність врахування відбиття та накладання ударних хвиль, що призводить до зростання похибки при оцінці захисних властивостей складних просторових конструкцій. Крім того досить малий вибір форми заряду ВР. У цьому розрахунковому методі закладена дія сферичного заряду в повітрі або на поверхні ґрунту, що потребує перерахунку маси ВР з врахуванням ґрунту та коефіцієнтів що враховують форму заряду. LOAD\_BLAST\_ENHANCED додатково дозволяє оцінити тиск що діє на захисну конструкцію на її поверхні та дію негативної фази ударної хвилі (що не враховується в LOAD\_BLAST).

Застосування методу SPH дозволяє враховувати процеси відбиття та накладання ударних хвиль але потребує значних апаратних ресурсів. Крім того цей метод досить чутливий до густини сітки, кількості елементів SPH та правильного задавання контакту між елементами SPH та елементами Лагранжа.

Метод ALE потребує значних апаратних ресурсів, потребує найбільшої кількості часу на обчислення задачі та споживає найвищу кількість об'єму баз даних. За даними роботи [36] оцінка дії вибуху 1 кг ТНТ з достатньою точністю та адекватністю потребує створення домена розмірами не менше 2000x2000x2000 мм з розмірами скінченного елемента не більше 10 мм.

Метод Particle Blast, має переваги безсіткових методів, досить високу точність та потребує малу кількість часу на вирішення задачі й об'єму баз даних. Розвиток цього методу є досить перспективним на цей час.

Отриманні результати показують, що для умов підризу заряду ВР під днищем або ходовою частиною зразка ОБТ всі розглянуті в роботі методи моделювання дії вибуху мають високу адекватність і точність. Застосування кожного методу доцільне з врахуванням їх недоліків і переваг на розсуд дослідника. З врахуванням досвіду авторів, на початкових етапах дослідження захисної конструкції доцільно проводити з використанням методів LOAD\_BLAST та LOAD\_BLAST\_ENHANCED. Для отримання більш детальної інформації про захисну конструкцію необхідно застосування одного з методів: Arbitrary Lagrangian Eulerian, Corpuscular Particle Method, Smooth Particle Hydrodynamics, хоча на думку авторів, краще проводити паралельні обчислення з використанням кожного методу для можливості порівняння результатів.

#### Список літератури

1. Давидовський Л.С., Бісик С.П. Визначення напрямів підвищення захищеності бойових броньованих машин на основі аналізу бойових уражень / ЦНДІ ОБТ ЗСУ . ЦНДІ ОБТ ЗСУ України. Вип. 1 (68). Київ : ЦНДІ ОБТ ЗСУ України, 2018. С. 45–54.
2. Бойко Г.О., Бісик С.П. Деякі дані сучасного стану й тенденцій розвитку колісних бойових броньованих машин . *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн.* ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2014. №3 (3). С. 20–24.
3. NATO AEP-55. *Procedures for evaluating the protection level of logistic and light armoured vehicles*. Volume 2 for mine threat. North Atlantic Treaty Organization , Unclassified publication 2009. 54 c.
4. Showichen A. *Numerical analysis of vehicle bottom structures subjected to anti-tank mine explosions: PhD thesis*. Adisak Showichen. Cranfield university, 2008. 328 c.
5. *Numerical analysis of a lightarmoured vehicular personnel carrier loaded with a mine or ied explosion on a human transported in it*. URL: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/1209/1/darina%20fiserova.pdf>.

6. *Shape Optimization of Panels Subject to Blast Loading Modeled with LS-DYNA*. URL: <http://www.dynalook.com/international-conf-2010>.
7. *Development of a strategy for simulating blast-vehicle interactions*. URL: <http://dodreports.com/ada535049>.
8. Бісик С.П. Аналіз пріоритетних напрямів вдосконалення протимінного захисту бойових броньованих машин. *Зб. наук. праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. Вип. 19(41). Київ: ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2011. С. 77–81.
9. Бісик С.П., Чепков І.Б., Васьківський М.І., Давидовський Л.С., Корбач В.Г., Висоцький О.М., Захаревич Д.М. Теоретична оцінка протимінної стійкості багатоцільового тактичного автомобіля «Козак-2». *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. 2016. №1 (9). С. 26–31.
10. Бісик С.П., Давидовський Л.С. Дослідження протимінної стійкості бронетранспортера БТР-60. *Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: тези доп. на Міжнарод. наук.-практ. та наук.-метод. конф. ХНАДУ*. Харків, 2016. С.231–234.
11. *Analysis of IED sidebar explosion influence on hull of light fighting vehicle*: URL: <file:///C:/Users/HP/Downloads/fulltext.pdf>.
12. *Landmine protection of armoured personnel carrier M113*. URL: <http://www.dynalook.com/european-conf-2007/landmine-protection-of-armoured-ersonnel-carrier.pdf>.
13. F. Tarlochan, Samer. F. Design of thin wall structures for energy absorption applications: design for crash injuries mitigation using magnesium alloy. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Tenaga. : 2013. p. 24–36.
14. Бісик С. П., Голуб В.А., Ларін О.Ю., Чеченкова О.Л. Числове моделювання вибухового навантаження модульних сотових конструкцій бойових броньованих машин. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: *Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХПІ». 2013. № 23(996). С. 27–35.
15. Бісик С. П., Круковський-Сіневич К.Б., Чепков І.Б., Волгін Л.О., Голуб В.А., Ларін О.Ю. Дослідження навантаження вибухом макетів днищ бойових машин. *Механіка та машинобудування*. Науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХПІ», 2012. №2. С. 110–118.
16. Бісик С. П., Чепков І.Б., Голуб В.А., Корбач В.Г. Оцінка впливу способу кріплення протимінного екрана на протимінну стійкість бойових броньованих машин. *Системи озброєння і військова техніка*. Щоквартальний науковий журнал. Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013-№1(33). С. 8–12.
17. Чернозубенко О.В., Купріненко О.М., Бісик С.П. Дослідження впливу уражаючих факторів підризу мінно-вибухових пристроїв на організм людини. *Системи озброєння і військова техніка*. Щоквартальний науковий журнал. Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2014. №2(38). С. 39–44.
18. Бісик С.П., Давидовський Л.С., Схабицький В.Р. Критерії травмування організму людини при ударному та вибуховому навантаженні. *Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал*. Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. №1(41). С. 153–159.
19. Бісик С.П., Купріненко О.М., Корбач В.Г. Оцінка протимінної стійкості легкої бойової колісної машини. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: *Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХПІ». 2015-№ 31 (1140). С. 11–20.
20. Бісик С.П., Давидовський Л.С. Аналіз механогенезу травмування екіпажу бойових броньованих машин при підризу на мінно-вибухових пристроях. *Військово-технічний збірник*. №13/2015. Львів: НАСВ, 2015. С. 34–40.
21. Бісик С.П. Дослідження конструкції захисного протимінного екрана. *Військово-технічний збірник*. №12/2015. Львів: АСВ, 2015. С. 110–117.
22. Бісик С.П., Чепков І.Б., Голуб В.А., Корбач В.Г. Числове моделювання ударно-хвильового навантаження днища транспортного засобу. *Механіка та машинобудування*. Науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. №1. С. 149–154.
23. Сливінський О.А., Бісик С.П., Чернозубенко О.В. Структура та властивості зварних з'єднань броньових сталей закордонного виробництва. *Технологіческие системы*. 2016. №3(76). С. 103–112.
24. Бісик С.П., Давидовський Л.С., Корбач В.Г. Методика дослідження ефективності енергопоглинаючого елемента. *Технологические системы*. 2016. №4(77). С. 103–112.
25. Давидовський Л.С., Бісик С.П., Корбач В.Г. Дослідження енергопоглинаючого елемента протимінного сидіння бойової броньованої машини. *Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. 2017. №1 (13). С. 24–33.
26. Бісик С.П. Підхід до оцінки протимінної стійкості корпусів бойових броньованих машин з урахуванням зварних з'єднань. *Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України*. ХНУПС ім. Кожедуба. Вип. 3(28). Харків: ХНУПС ім. Кожедуба, 2017. С. 121–127. DOI: 10.30748/nitps.2017.28.15
27. Бісик С.П., Чепков І.Б., Голуб В.А., Ларін О.Ю. Дослідження вибухового навантаження V-подібної моделі днища бойової машини. *Зб. наук. праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ*. Вип. 1 (22). К.: ЦНДІ ОБТ, 2012. С. 232–240.
28. Бісик С.П., Голуб В.А., Корбач В.Г. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини. *Військово-технічний збірник*. Академія Сухопутних військ. №2(5). Львів: АСВ, 2011. С. 3–6.
29. Грабовський А. В., Васильєв А. Ю., Ткачук М. М., Танченко А. Ю., Мартиненко О. В., Киричук Д. В., Борисенко С. В., Касай О. І. Забезпечення тактико-технічних характеристик військових гусеничних і колісних машин на етапі проектних досліджень. *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПІ». 2016. № 18 (1190). С. 22–29. doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.
30. Набоков А. В., Ткачук Н.А., Малакей А.Н., Грабовський А.В., Васильєв А.Ю., Куценко С.В., Танченко А.Ю., Ананьїн Е.С. Математичне моделювання динамічних процесів в корпусі легкоброньованої машини при імпульсному впливі. *Вісник НТУ «Харківський Політехнічний Інститут»*. Серія: *Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. № 7 (1283). С. 76–85.
31. Хлань А.В., Малакей А. Н., Ткачук Н. А., Зарубина А. А., Грабовський А. В., Танченко А. Ю., Васильєв А. Ю., Литвиненко А.В., Посохов В. В., Кохановська О. В., Набоков А. В. Проектно-технологічно-производственное обеспечение тактико-технических характеристик боевых бронированных машин: подходы, модели и методы. *Механіка та машинобудування*. Науково-технічний журнал. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. №1. С. 156–182.
32. Бондаренко, М. О., Пелешко Є. В., Васильєв А. Ю., Грабовський А. В., Граборов Р. В., Веретельник Ю. В., Посохов В. В. Розрахунково-експериментальна верифікація динамічної моделі макета корпусу бронетранспортера. *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. Харків: НТУ «ХПІ». 2017. №32 (1254). С. 5-13. doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01.
33. Ткачук Н.А., Климов В.Ф., Хлань А. В., Шейко А.И., Малакей А. Н., Кохановский В.И., Грабовский А.В., Танченко А.Ю., Васильєв А.Ю., Бондаренко М.А., Зарубина А.А., Набоков А. В., Ткачук Н.А. Компьютерный программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов объектов бронетанковой техники. *Вісник НТУ «Харківський Політехнічний Інститут»*. Серія: *Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. №12 (1234). С. 96–109.
34. *Взрывные явления. Оценка и последствия*: В 2-х кн. Кн. 2. Пер. с англ. Бейкер У., Кокс П., Уэстгайн П. и др.; Под ред. Я.Б. Зельдовича, Б.Е. Гельфанда. М.: Мир, 1986. 319 с.
35. *LS-DYNA keyword user's manual Version 970*. Livermore: LSTC, 1998. 498 с.
36. Hilding D. Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA // *Nordic LS-DYNA Users' Conference*, Gothenburg, Sweden, 2016.
37. Neuberger A., Peles S., Rittel D. Scaling the response of circular plates subjected to large and close-range spherical explosions. Part I: Air-blast loading. *International Journal of Impact Engineering* 34, 2007, pp 859–873.
38. Neuberger A., Peles S., Rittel D. Springback of circular clamped armor steel plates subjected to spherical air-blast loading. *International Journal of Impact Engineering* 36, 2009, pp. 53–60.
39. Olovsson, L., Hanssen, A.G., Børvik, T., Langseth, M. A particle-based approach to close-range blast loading. *European Journal of Mechanics. A Solids* (2009), DOI: 10.1016/j.euromechsol.2009.06.003
40. Schwer L., Teng H., Souli M. LS-Dyna Air Blast Techniques: Comparios with Experiments for Close-in Charges // *10-th European LS-Dyna Conference*, Wurzburg, Germany, 2015.



41. Teng H., Wang J. Particle Blast Method (PBM) for the Simulation of the Simulation of Blast Loading // 13-th International LS-Dyna Users Conference, Dearborn, USA, 2014.
42. *Фізика взриву* / Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, испр. В 2 т. Т. 2. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 656 с.

## References (transliterated)

- Davydovskiy L.S., Bisyk S.P. *Vyznachennia napriamiv pidvyshchennia zakhyshtchenosti boiovykh bronovanykh mashyn na osnovi analizu boiovykh urazhen* [Definition of directions for increasing the protections of armored vehicles based on the analysis of combat lesions]. *TsNDI OVT ZS Ukrainy*. 2018, vol. 68. no. 1. pp. 45–54.
- Boiko H.O., Bisyk S.P. *Deiaki dani suchasnoho stanu y tendentsii rozvytku kolisnykh boiovykh bronovanykh mashyn* [Some data on the current state and development trends of wheeled armored combat vehicles]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika : shchokv. nauk.-tekh. zbirn.* 2014, vol. 3, no. 3. pp. 20–24.
- NATO AEP-55. Procedures for evaluating the protection level of logistic and light armoured vehicles*. Volume 2 for mine threat. North Atlantic Treaty Organization, Unclassified publication 2009. 54p.
- Showichen A. *Numerical analysis of vehicle bottom structures subjected to anti-tank mine explosions: PhD thesis*. Adisak Showichen. Cranfield university, 2008. 328 p.
- Numerical analysis of a lightarmoured vehicular personnel carrier loaded with a mine or ied explosion on a human transported in it*. URL: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/1209/1/darina%20fiserova.pdf>.
- Shape Optimization of Panels Subject to Blast Loading Modeled with LS-DYNA*. URL: <http://www.dynalook.com/international-conf-2010>.
- Development of a strategy for simulating blast-vehicle interactions*. URL: <http://dodreports.com/ada535049>.
- Bisyk S.P. *Analiz priorityetnykh napriamiv vdoskonalennia protymynnoho zakhystu boiovykh bronovanykh mashyn* [Analysis of priority directions of improvement of antimine protections of armored vehicles]. *Zh. nauk. prats TsNDI OVT ZSU*. 2011, vol. 41, no. 19. pp. 77–81.
- Bisyk S.P., Chepkov I.B., Vaskivskiy M.I., Davydovskiy L.S., Korbach V.H., Vysotskiy O.M., Zakharevych D.V. *Teoretychna otsinka protymynnoi stiiikosti bahatotsilovoho taktychnoho avtomobilia «Kozak-2»* [Theoretical evaluation of continuous stability of the multiple tactical car "Kozak-2"]. *Ozbroiennia i viiskova tekhnika*. 2016, vol. 9, no. 1. pp. 26–31.
- Bisyk S.P., Davydovskiy L.S. *Doslidzhennia protymynnoi stiiikosti bronetransportera BTR-60* [Research of the mine resistant of the armored personnel carrier BTR-60]. *Novini tekhnologii v avtomobilebuduvanni, transporti i pry pidhotovtsi fakhivtsiv: tezy dop. na Mizhnarod. nauk.-prakt. ta nauk.-metod. konf. / KhNADU*. Kharkiv, 2016. pp. 231–234.
- Analysis of IED sidebar explosion influence on hull of light fighting vehicle*: URL: <file:///C:/Users/HP/Downloads/fulltext.pdf>.
- Landmine protection of armoured personnel carrier M113*. URL: <http://www.dynalook.com/european-conf-2007/landmine-protection-of-armoured-ersonnel-carrier.pdf>.
- Tarlochan F., Samer. F. *Design of thin wall structures for energy absorption applications: design for crash injuries mitigation using magnesium alloy*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Tenaga. 2013. pp. 24–36.
- Bisyk S.P., Holub V.A., Larin O. Yu., Chechenkova O.L. *Chyslove modeliuвання vybukhovoho navantazhennia modulnykh sotovykh konstruksii boiovykh bronovanykh mashyn* [Numerical simulations of explosive loading of modular honey structures for military armored vehicles]. *Zbirnyk naukovykh prats. Serii: Mashynoznavstvo ta SAPR*. 2013, vol. 996, no. 23. pp. 27–35.
- Bisyk S.P., Krukovskiy-Sinevych K.B., Chepkov I.B., Volhin L.O., Holub V.A., Larin O. Yu. *Doslidzhennia navantazhennia vybukhom maketiv dnyshch boiovykh mashyn / [Research the explosion of the bottom dummy of combat vehicles]*. *Mekhanika ta mashynobuduvannia* 2012, no. 2. pp. 110–118.
- Bisyk S.P., Chepkov I.B., Holub V.A., Korbach V.H. *Otsinka vplyvu sposobu kriplennia protymynnoho ekrana na protymynnu stiiikist boiovykh bronovanykh mashyn* [Estimation of the influence of the method of fastening of the screen on the antimine resistance of armored vehicles]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. 2013, vol. 33, no. 1. pp. 8–12.
- Chernozubenko O. V., Kuprinenko O. M., Bisyk S. P. *Doslidzhennia vplyvu urazhaiuchykh faktoriv pidryvu minno-vybukhovykh prystroiv na orhanizm liudyny* [Research of the influx of the damaging factors of the blasting of explosive devices on the human body]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. 2014, vol. 38, no. 2. pp. 399–44.
- Bisyk S.P., Davydovskiy L.S., Skhabyt'skiy V.R. *Kryterii travmuvannia orhanizmu liudyny pry udarnomu ta vybukhovomu navantazhenniakh* [Criteria of injury human body percussion and explosive loading]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. 2015, vol. 41, no. 1. pp. 153–159.
- Bisyk S.P., Kuprinenko O.M., Korbach V.H. *Otsinka protymynnoi stiiikosti lehkoi boiovoi kolisnoi mashyny* [Research of the antimine protections of a lightweight military vehicle]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. *Zbirnyk naukovykh prats. Serii: Mashynoznavstvo ta SAPR*. 2015, vol. 1140, no. 31. pp. 11–20.
- Bisyk S.P., Davydovskiy L.S. *Analiz mekhanohenezu travmuvannia ekipazu boiovykh bronovanykh mashyn pry pidryvi na minno-vybukhovykh prystroiakh* [Analysis of the crew injury mechanismogenesis at armored combat vehicles blast on mine-explosive devices]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*. 2015, no. 13. pp. 34–40.
- Bisyk S.P. *Doslidzhennia konstruksii zakhysnoho protymynnoho ekrana* [Study construction protective mine screen]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*. 2015, no. 12. pp. 110–117.
- Bisyk S.P., Chepkov I.B., Holub V.A., Korbach V.H. *Chyslove modeliuвання udarno-khvylovoho navantazhennia dnyshcha transportnoho zasobu* [Numerical simulation of shock loading of vehicle bottom]. *Mekhanika ta mashynobuduvannia*. 2011, no. 1. pp. 149–154.
- Slyvynskiy O.A., Bisyk S.P., Chernozubenko O.V. *Struktura ta vlastyivosti zvarnykh ziednan bronovykh stali zakordonnoho vyrobnytstva* [Structure and properties of welded joints of armor steels foreign production]. *Tekhnologicheskie sistemy*. 2016, vol. 76, no. 3. pp. 103–112.
- Bisyk S.P., Davydovskiy L.S., Korbach V.H. *Metodyka doslidzhennia efektyvnosti enerhopohlynaiuchoho elementa* [Research methodology of effectiveness energy absorption element]. *Tekhnologicheskie sistemy*. 2016, vol. 77, no. 4. pp. 103–112.
- Davydovskiy L.S., Bisyk S.P., Korbach V.H. *Doslidzhennia enerhopohlynaiuchoho elementa protymynnoho sydinna boiovoi bronovanoi mashyny* [Investigation of energy-absorbing elements of crew antimine seat of combat armored vehicles]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*. 2017, vol. 13, no. 1. pp. 24–33.
- Bisyk S.P. *Pidkhid do otsinky protymynnoi stiiikosti korpusiv boiovykh bronovanykh mashyn z urakhuvanniam zvarnykh ziednan* [Approach to evaluation of mine resistant levels of armored vehicles taking into account welded joints]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl ZS Ukrainy*. 2017, vol. 28, no. 3. pp. 121–127. DOI: 10.30748/nitps.2017.28.15
- Bisyk S.P., Chepkov I.B., Holub V.A., Larin O.Yu. *Doslidzhennia vybukhovoho navantazhennia V-podibnoi modeli dnyshcha boiovoi mashyny* [Investigation of the explosive load of the V-shaped bottom of the combat vehicle]. *Zh. nauk. prats TsNDI OVT ZSU*. 2012, vol. 22, no. 1. pp. 232–240.
- Bisyk S.P., Holub V.A., Korbach V.H. *Chyslove vyrishennia zadachi udarno-khvylovoho navantazhennia plastyny* [Numerical simulation of shock loading of plate]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk*. 2011, vol. 5, no. 2. pp. 3–6.
- Hrabovskiy A. B., Vasyliiev A.Yu., Tkachuk M.M., Tanchenko A.Yu., Martynenko O.V., Kyrychuk D.V., Borysenko S.V., Kasai O.I. *Zabezpechennia taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk viiskovykh husenychnykh i kolisnykh mashyn na etapi proektnykh doslidzen* [Providing of tactical and technical characteristics of military caterpillar and wheeled vehicles on stage of design researches]. *Visnyk NTU «KhPI», Serii: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*. 2016, vol. 1190, no. 18. pp. 22–29. doi:10.20998/2413-4295.2016.18.04.
- Nabokov A.V., Tkachuk N.A., Malakei A.N., Hrabovskiy A.V., Vasylev A.Yu., Kutsenko S.V., Tanchenko A.Yu., Anany E.S. *Matematicheskoe modelirovanie dinamicheskikh protsessov v korpuse legkobronirovannoy mashyny pri impulsnom vozdeystvii* [Mathematical modeling of dynamic processes in the hull of lightly armored vehicle under impulsive action]. *Visnyk NTU «Kharkivskiy*

- Politekhichniy Instytut*: Seriya: Mashynoznavstvo ta SAPR. 2018. vol. 1283, no. 7. pp. 76–85.
31. Khlan A.V., Malakei A.N., Tkachuk N.A., Zarubyna A.A., Hrabovskiy A.V., Tanchenko A.Yu., Vasylev A.Yu., Lytvynenko A.V., Posokhov V.V., Kokhanovskaia O.V., Nabokov A.V. Proektno-tehnologicheski-proizvodstvennoe obespechenie taktiko-tehnicheskikh karakteristik boevykh bronirovannykh mashin: podhodyi, modeli i metodyi [Design, technological and production support of performance characteristics of armored combat vehicles: approaches, models and methods]. *Mekhanika ta mashynobuduvannia*. 2017. no. 1. pp. 156–182.
  32. Bondarenko M. O., Peleshko Ye. V., Vasyliiev A. Yu., Hrabovskiy A. V., Hraborov R. V., Veretelnik Yu. V., Posokhov V. V. Rozrahunkovo-eksperymentalna verifikatsiya dinamichnoyi modeli maketa korpusu bronetransporetera [Computational and experimental dynamic model verification of personnel armored carrier hull]. *Visnyk NTU «KhPI»*, Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiakh. 2017. vol. 1254, no. 32. pp. 5–13. doi:10.20998/2413-4295.2017.32.01.
  33. Tkachuk N.A., Klymov V.F., Khlan A.V., Sheiko A.Y., Malakei A.N., Kokhanovskiy V.Y., Hrabovskiy A.V., Tanchenko A.Yu., Vasylev A.Yu., Bondarenko M.A., Zarubyna A.A., Nabokov A.V. Kompyuterniy programno-apparatnyy kompleks dlya analiza i sinteza modeley elementov ob'ektov bronetankovoy tekhniki . [Computer software and hardware complex for analysis and synthesis of models of elements of objects of the armored vehicles]. *Visnyk NTU "Kharkivskiy Politekhichniy Instytut"*: Seriya: Mashynoznavstvo ta SAPR . 2017. vol. 1234, no. 12. pp. 96–109.
  34. Beiker U., Koks P., Uestain P. [et al]. *Vzryivnyie yavleniya. Otsenka i posledstviya* [Explosive phenomena. Assessment and implications]. Moscow, Myr, 1986. 319 p.
  35. *LS-DYNA keyword user's manual Version 970*. Livermore: LSTC, 1998. 498 p.
  36. Hilding D. Methods for modelling Air blast on structures in LS-DYNA // *Nordic LS-DYNA Users Conference*, Gothenburg, Sweden, 2016.
  37. Neuberger A., Peles S., Rittel D. Scaling the response of circular plates subjected to large and close-range spherical explosions. Part I: Air-blast loading, *International Journal of Impact Engineering* 34. 2007. pp. 859–873.
  38. Neuberger A., Peles S., Rittel D. Springback of circular clamped armor steel plates subjected to spherical air-blast loading, *International Journal of Impact Engineering* 36. 2009. pp. 53–60.
  39. Olovsson, L., Hanssen, A.G., Børvik, T., Langseth, M. A particle-based approach to close-range blast loading, *European Journal of Mechanics./ A Solids* (2009), DOI: 10.1016/j.euromechsol.2009.06.003
  40. Schwer L., Teng H., Souli M. LS-Dyna Air Blast Techniques: Comparios with Experiments for Close-in Charges // *10-th European LS-Dyna Conference*, Wurzburg, Germany, 2015.
  41. Teng H., Wang J. Particle Blast Method (PBM) for the Simulation of the Simulation of Blast Loading // *13-th International LS-Dyna Users Conference*, Dearborn, USA. 2014.
  42. Orlenko L.P. *Fizika vzryiva* [Physics of the explosion]. Moscow, FYZMATLYT. 2004. 656 p.

Надійшло (received): 12.09.2018

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

**Бісик Сергій Петрович (Бисык Сергей Петрович, Bisyk Serhyu Petrovich)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), снс, начальник науково-дослідної лабораторії Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ; тел.: (044) 271-08-74; e-mail: sergey-new@ukr.net

**Чепков Ігор Борисович (Чепков Игорь Борисович, Cherkov Ihor Borisovich)** – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ; тел.: (044) 271-08-74; e-mail: cndi\_mil.gov.ua

**Васьківський Михайло Іванович (Васьковский Михаил Иванович, Vaskivskyy Muxailo Ivanovich)** – доктор технічних наук (Dr. habil. of Eng. S.), професор, заступник начальника Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ; тел.: (044) 271-08-74; e-mail: cndi\_mil.gov.ua

**Корбач Віктор Григорович (Корбач Виктор Григорьевич, Korbach Viktor Grigorovich)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, провідний інженер ДП «Державне Київське конструкторське бюро «ЛУЧ», м. Київ; тел.: +380688110922; e-mail: korb@ukr.net

**Сливінський Олексій Анатолійович (Сливинский Алексей Анатоліевич, Slyvinskyy Oleksiy Anatolevich)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), доцент, доцент кафедри зварювального виробництва Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: +38(067)1450024; e-mail: o.slyvinsky@gmail.com

**Давидовський Леонід Сергійович (Давидовский Леонид Сергеевич, Davidovskiy Leonid Sergiyovich)** – кандидат технічних наук (PhD in Eng. S.), науковий співробітник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ; тел.: (044) 271-08-74; e-mail: davidovskiy14@ukr.net

**Арістархов Олег Михайлович (Аристархов Олег Михайлович, Aristarkhov Oleg Mixaylovich)** – ад'юнкт кафедри технічного забезпечення інституту оперативного забезпечення та логістики Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ; тел.: +38(093) 717-57-33; e-mail: aristarkhovolex@gmail.com