

УДК 623.438

**І. Б. ЧЕПКОВ**, доктор технічних наук, професор,**М. І. ВАСЬКІВСЬКИЙ**, доктор технічних наук, професор,**С. П. БІСИК**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,**С. І. ШЕРЕМЕТОВ**

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ),

**В. Г. КОРБАЧ**, кандидат технічних наук, доцент

(ДП «Державне Київське конструкторське бюро «Луч», м. Київ)

## Дослідження підриву мін у каналі ствола 120-мм міномета

Надані результати числового моделювання підриву міни в каналі ствола міномета та їх експериментальна якісна перевірка. Метою статті є дослідження наслідків та характеру підриву мін в каналі ствола міномета для використання при проведенні експертизи з визначення причини розриву ствола міномета. Проведені дослідження виявили характерні особливості руйнування ствола міномета при підриві в ньому однієї або двох мін. Виявлений характер руйнування ствола міномета при числовому моделюванні та при натурному підриві дозволяє за зоною руйнування встановити кількість мін, які вибухнули в стволі, що може бути використано при проведенні експертизи з визначення причини розриву ствола міномета.

Представлены результаты численного моделирования подрыва мины в канале ствола миномета и их экспериментальная качественная проверка. Целью статьи является исследование последствий и характера подрыва мин в канале ствола миномета для использования при проведении экспертизы по определению причины разрыва ствола миномета. Проведенные исследования выявили характерные особенности разрушения ствола миномета при подрыве в нем одной или двух мин. Установленный характер разрушения ствола миномета при числовом моделировании и при натурном подрыве позволяет по зоне разрушения установить количество мин, которые взорвались в стволе, что может быть использовано при проведении экспертизы по определению причины разрыва ствола миномета.

Під час проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей та при підготовці особового складу трапляються випадки загибелі обслуги міномета внаслідок підриву міни в каналі ствола міномета. Супутнім негативним фактором цього є те, що вітчизняні засоби масової інформації роблять упереджені висновки щодо міцності ствола міномета і впливу дефектів конструкції на так звані «вибухи» міномета [1, 2]. Ці публікації засоби масової інформації Російської Федерації активно використовують як пропагандистські матеріали [3, 4]. У подібних публікаціях причиною загибелі особового складу, на думку їх авторів, є «вибух» міномета, що, безумовно, зовсім не відповідає дійсності. Конструктивні недоліки міномета не можуть спричинити руйнування ствола міномета при стрільбі. Єдиною причиною загибелі особового складу є підрив міни в каналі ствола, який має два варіанти: підрив однієї міни внаслідок нештатного спрацювання підривника та підрив двох мін внаслідок порушення заходів безпеки з подальшим подвійним зарядженням.

Підтвердженням цього є застосування математичних підходів до оцінки і прогнозування наслідків підриву міни в каналі ствола міномета з їх наступною перевіркою натурним експериментом.

**Метою** статті є дослідження наслідків та характеру підриву мін у каналі ствола міномета з використанням методів числового моделювання та їх експериментальна перевірка для використання при проведенні експертизи з визначення причини розриву ствола міномета.

Для проведення математичного моделювання підриву міни в стволі міномета використано спеціалізована програма для високо нелінійного динамічного аналізу на основі методу скінченних елементів. Метод має необхідну збіжність з результатами натурних випробувань та використовується для моделювання дії вибухових навантажень. Оцінка точності та збіжності задач подібного роду наведена в роботах [5–7]. Підхід до побудови скінченно-елементної моделі та методологія ідентифікації фізико-термомеханічних властивостей матеріалів ґрунтується на даних робіт [8, 9].

Для проведення моделювання застосовано вісесиметричну постановку з використанням оболонкових елементів Хьюса–Лю (Hughes–Liu). Розв'язання задачі проведено з використанням багатокomпонентного лагранже-ейлерівського підходу.

Дія вибухової речовини (ВР) задана рівнянням стану продуктів детонації ВР Джонса–Вілкінса–Лі (Jones–Wilkins–Lee (JWL))

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

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. У стані Жуґе

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

де  $\bar{E}_0$  – нормалізована величина, що включає енергію хімічних зв'язків і визначається з термохімічного

Таблиця

Параметри Чепмена-Жуге (Chapman-Jouget)					Коефіцієнти рівняння стану продуктів детонації у формі JWЛ					
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$P$ , ГПа	$D$ , м/с	$E_0$ , ГДж/м <sup>3</sup>	$\Gamma$	$A$ , ГПа	$B$ , ГПа	$C$ , м <sup>3</sup> /кг	$R_1$	$R_2$	$\omega$
1630	21,0	6930	7,00	2,727	371,20	3,231	1,045	4,15	0,95	0,30

експерименту або за даними термодинамічного розрахунку.

Характеристики вибухової речовини, що використовувались при проведенні математичного моделювання, наведенні в таблиці, де  $\rho$  – початкова густина ВР,  $P$  – тиск Чепмена-Жуге,  $E_0$  – внутрішня енергія,  $\Gamma$  – показник адиабати продуктів детонації в точці Чепмена-Жуге.

При проведенні математичного моделювання прийнята розрахункова схема, що наведена на рис. 1. У першому випадку розрахований підрив однієї міни в каналі ствола міномета. У другому випадку в розрахунковій схемі задано дві міни, що вибухають у каналі ствола міномета. У місцях розташування мін скінченно-елементна сітка виконання з меншими розмірами.

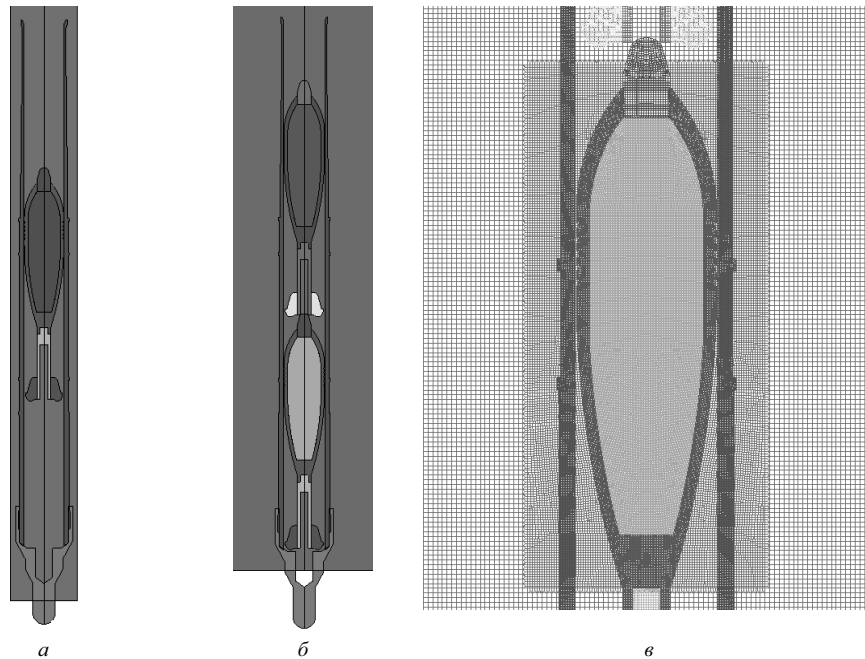


Рис. 1. Розрахункова схема процесу, що досліджувався:

*a* – підрив однієї міни в каналі ствола; *б* – підрив двох мін у каналі ствола, *в* – згущення скінченно-елементної сітки в районі розташування міни

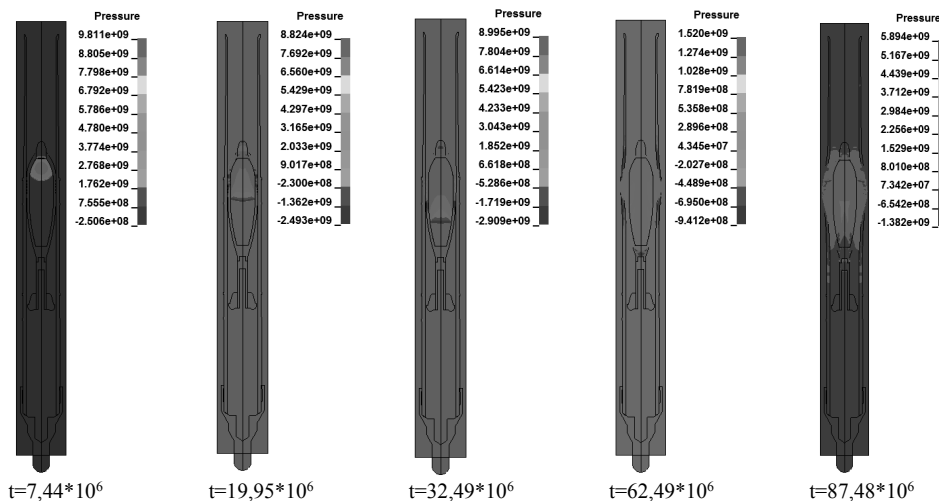


Рис. 2. Зони зміни тиску при підриві однієї міни в каналі ствола міномета

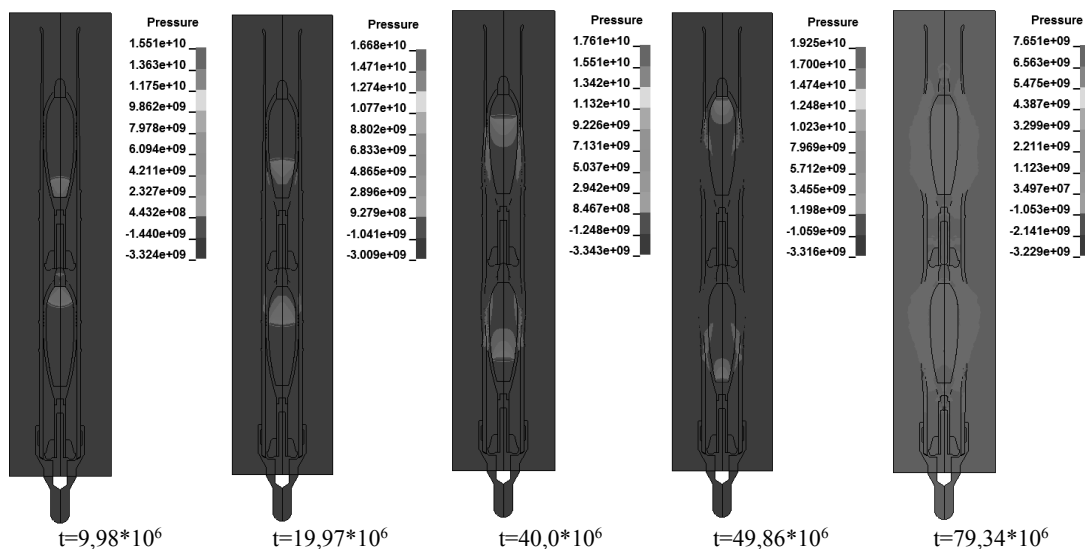


Рис. 3. Зони зміни тиску при підриві двох мін у каналі ствола міномета

При проведенні дослідження прийнято, що корпус міни виготовлений зі сталістого чугуна. Фізико-механічні властивості чугуна взяті з роботи [10].

При підриві двох мін в каналі ствола міномета прийнято точку детонації для міни, що знаходиться знизу, у районі підривника, для міни, що знаходиться зверху, – у нижній частині міни. При підриві однієї міни в каналі ствола точка детонації – у районі підривника.

Отримані при числовому моделюванні зони зміни тиску показані на рис. 2, 3: зони поширення продуктів детонації – на рис. 4, 5.

Виконані експериментальні дослідження підриву ствола міномета та проведено порівняння характеру руйнування ствола міномета після розриву з результатами числового моделювання. Отримані результати вказують на те, що руйнування ствола міномета має певні характерні ознаки та відбувається в області розташування міни, а за розмірами наближається до розміру корпусу міни. Основні розміри міни наведені на рис. 6.

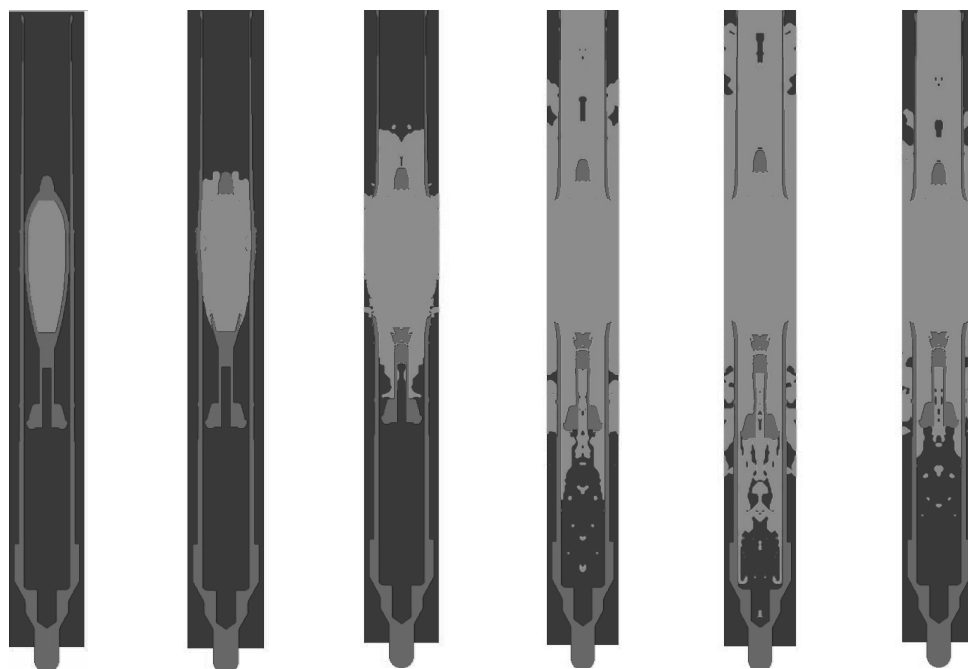


Рис. 4. Розширення продуктів детонації при підриві однієї міни в каналі ствола міномета

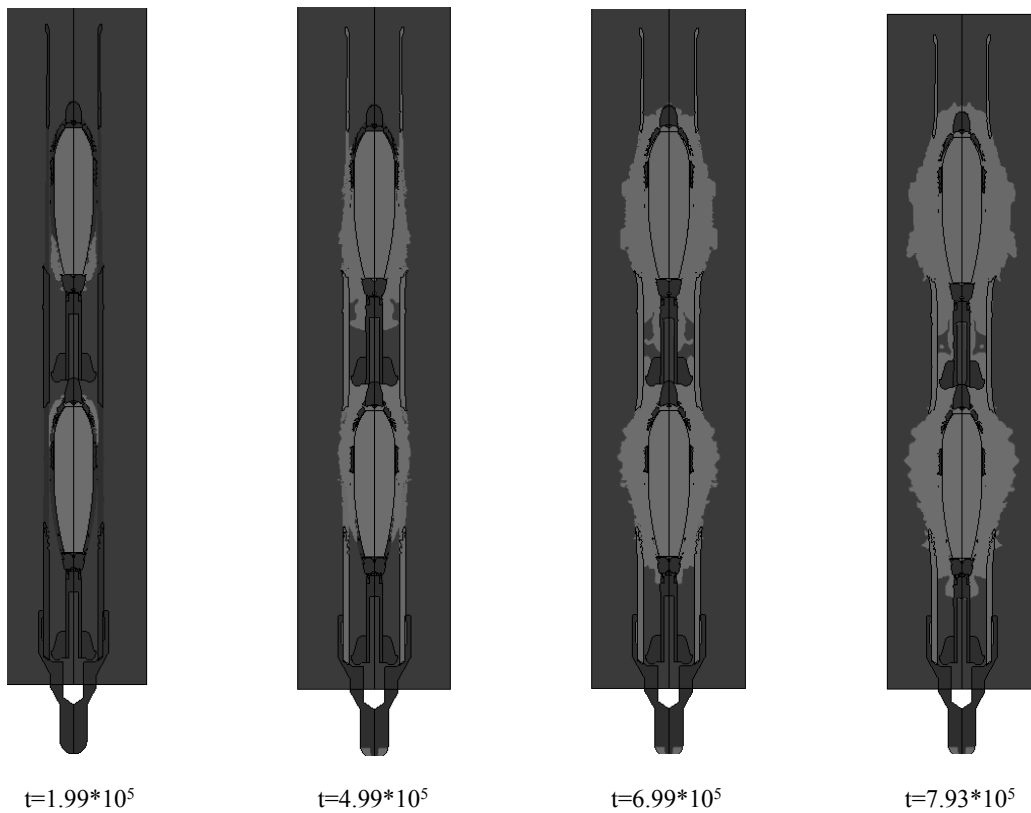


Рис. 5. Розширення продуктів детонації при піддриві двох мін у каналі ствола міномета

Таким чином, отримані зони руйнування каналу ствола міномета складають:

- при піддриві однієї міни в каналі ствола міномета (рис. 7):  
при числовому моделюванні – 400–420 мм,  
при натурному експерименті – до 530 мм;
- при піддриві двох мін у каналі ствола міномета (рис. 8):

залишки казенної частини при числовому моделюванні мають довжину близько 345 мм (при натурному піддриві – близько 380 мм);

незруйнована частина ствольної частини при числовому моделюванні – близько 300 мм (при натурному піддриві – приблизно 300 мм);

зруйнована центральна частина ствола у розрахунках становить близько 925 мм (при натурному піддриві – близько 800–850 мм).

При числовому моделюванні піддриву двох мін у каналі ствола міномета спостерігаються залишки частини ствола між двома мінами. Характер руйнування частини ствола між двома мінами при проведенні натурного піддриву показаний на рис. 9. Вціліла частина ствола, що залишилась при проведенні числового моделювання, спричинена особливостями двовимірної постановки числової моделі.

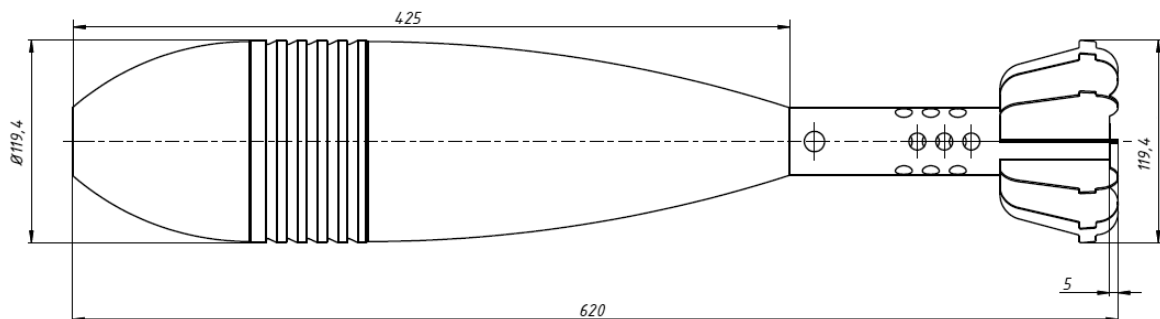


Рис. 6. Основні розміри міни

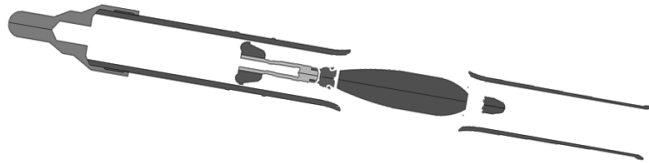


Рис. 7. Характер руйнування ствола міномета при натурному експерименті та при проведенні числового моделювання при підриві однієї міни в каналі ствола

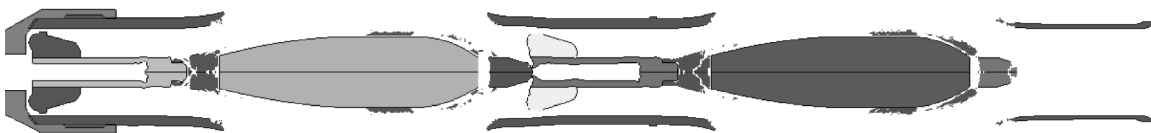
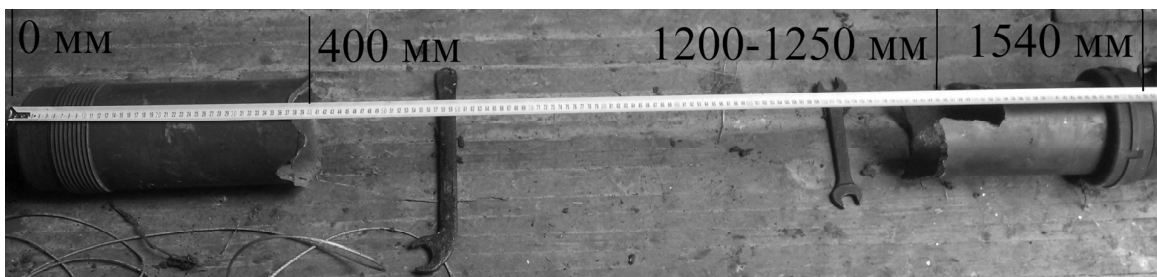


Рис. 8. Характер руйнування ствола міномета при натурному експерименті та при проведенні числового моделювання при підриві двох мін у каналі ствола



Рис. 9. Характер руйнування центральної частини ствола міномета при натурному підриві двох мін в каналі ствола

За результатами проведених досліджень можна зробити такі **висновки**:

розроблена числова модель підриву мін у каналі ствола міномета має досить високу якісну збіжність з результатами проведених натурних експериментів;

проведені дослідження руйнування ствола міномета при підриві однієї та двох мін у каналі ствола міномета показують характерні особливості його руйнування;

характер руйнування ствола міномета при числовому моделюванні та при натурному підриві дозволяє за зоною руйнування встановити кількість мін, які вибухнули в стволі. Встановлення кількості мін, що вибухнули в стволі, у свою чергу, дозволяє висунути найбільш імовірну причину підриву міни при польоті в каналі ствола. Так, при підриві однієї міни в каналі ствола найбільш імовірною причиною може бути нештатне спрацювання підривника. При підриві двох мін в каналі ствола найбільш імовірною причиною може бути порушення заходів безпеки обслугою внаслідок подвійного заряджання міномета;

зважаючи на близькі механічні властивості ствола вітчизняного міномета «Молот» та аналогічного радянського можна припустити, що характер та причини руйнування стволів мінометів будуть аналогічними.

Таким чином, основним напрямом запобігання підриву мін у каналі ствола міномета є підвищення заходів безпеки як за рахунок навченості особового складу, так і, можливо, за рахунок використання нових технічних рішень, наприклад систем акустичного контролю пострілу з наступним наданням дозволу на стрільбу.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Люди гинуть, бо «Молот» не доведений до кінця – начальник озброєння Сухопутних військ про новий український міномет. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/28461727.html>.
2. В Минобороны впервые признали гибель военных из-за проблем с минометами «Молот». URL: <https://www.obozrevatel.com/crime/73902-v-minoboronyi-vpervyie-priznali-gibel-voennyih-iz-za-problem-s-minometami-molot.htm>.

3. Миномет «Молот». URL: <https://topwar.ru>.
4. Минобороны Украины признало, что миномет «Молот» убивает бойцов ВСУ. URL: <https://regnum.ru/news/polit/2271007.html>.
5. Бісик С. П., Голуб В. А., Корбач В. Г. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини // Військово-технічний збірник / Академія Сухопутних військ. 2011. № 2 (5). С. 3–6.
6. 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.
7. Бісик С. П. Дослідження конструкції захисного протимінного екрана // Військово-технічний збірник / АСВ. 2015. № 12. С. 110–117.
8. Криворучко Д. В., Залога В. А. Моделирование процессов резания методом конечных элементов : методологические основы : моногр. / под общ. ред. В. А. Залоги. Сумы : Университетская книга, 2012. 496 с.
9. Криворучко Д. В., Залога В. А., Корбач В. Г. Основи 3D-моделювання процесів механічної обробки методом скінченних елементів. Суми : Вид-во СумДУ, 2010. 209 с.
10. Парфенов В. Д. Структура и механические свойства чугунов. URL: <http://library.miit.ru/methodics/04022015/03-%2040839.pdf>.

**Рецензент С. В. Лапицький**, д-р техн. наук, проф.  
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України)