

Лурін І.А.¹, Гуменюк К. В.², Кушнар'єв О. П.³, Сіренко В. М.⁴, Фуркало С.О.⁵,

Дзюба А. П.⁶

*1 академік НАМН України, д-р мед. наук, проф., генерал-майор мед. служби
України, Київ, Україна,*

2 канд. мед. наук, доцент, полковник, головний хірург МО України, Київ, Україна,

3 заст. гол. конструктора ДП «КБ «Південне», Дніпро, Україна,

4 канд. техн. наук, нач. комплексу ДП «КБ «Південне», Дніпро, Україна,

5 нач. сектору ДП «КБ «Південне», Дніпро, Україна,

6 д. т. н., професор, ДНУ імені Олеса Гончара, Дніпро, Україна, e-mail:

dzb@ua.fm

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОНИКНЕННЯ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ В МАТЕРІАЛ, ІМІТУЮЧИЙ БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ, ТА ТОНКОСТІННІ ЗАХИСНІ ЕЛЕМЕНТИ

Анотація. У роботі подані результати числового моделювання напружено-деформованого стану балістичного матеріалу, який імітує властивості біологічних тканин, при проникненні в нього засобів ураження у вигляді кулі, та дослідження траєкторії її руху у матеріалі. Подані результати числового дослідження процесу наскрізного проникнення кулі через захисні сталеві елементи.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, засоби ураження, проникнення кулі, біологічні тканини, захисні елементи.

Вступ. Досліджуються можливості достовірного використання сучасних засобів скінченно-елементного аналізу для моделювання процесів високошвидкісного проникнення засобів ураження в матеріал, який імітує властивості біологічних тканин [4], а також пробивання відокремленими уламками сталевих поверхонь циліндричних оболонок, як захисних елементів. Результати числового аналізу порівнюються з даними експериментальних балістичних випробувань, проведених в Державному науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі МВС України.

Результати досліджень. Для дослідження застосовується програмний комплекс ANSYS Explicit Dynamics, який дозволяє моделювати значні деформації та руйнування матеріалів під дією короткодійчих навантажень та високих тисків [1].

Числове моделювання виконане для двох військових сталевих куль різного



калібру (масою 3,4 г та 9,6 г) і двох свинцевих мисливських спортивних куль (масою 10,9 г та 14,2 г) та швидкостей їх руху 918, 792, 759, 664 (м/сек), відповідно, для спеціального балістичного матеріалу (Ballistic Testing Backing Material) [3].

Загальний вигляд скінченно-елементної моделі балістичного матеріалу зі згущенням сітки та кулі подано на рис. 1, рис. 2, відповідно.

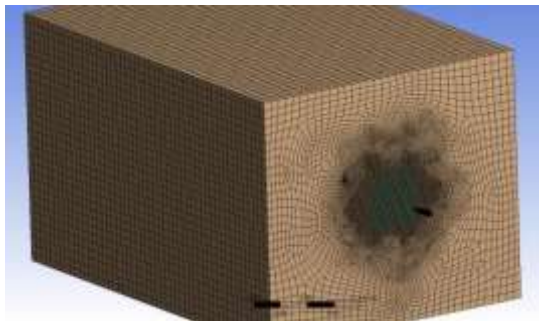


Рисунок 1 – Загальний вигляд елементна скінченно-елементної моделі.

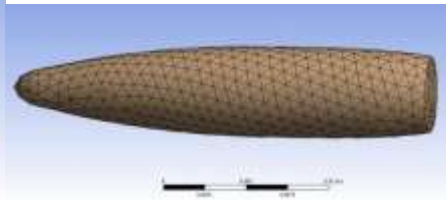


Рисунок 2 – скінченно- модель кулі

В процесі числового моделювання здійснювався контроль загальних переміщень

$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}$ де u_x, u_y, u_z – переміщення вузлів; еквівалентних деформацій

$\varepsilon_{\text{екв}} = \frac{1}{1+\mu} \sqrt{\frac{1}{2} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2]}$, де, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – головні осьові деформації, та еквівалентних напружень по Мізесу.

$\sigma_{\text{міз}} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$, де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні осьові напруження.

Загальний вигляд форми пошкодження в матеріалі в двох площинах для кулі 1 подано на рис. 3.

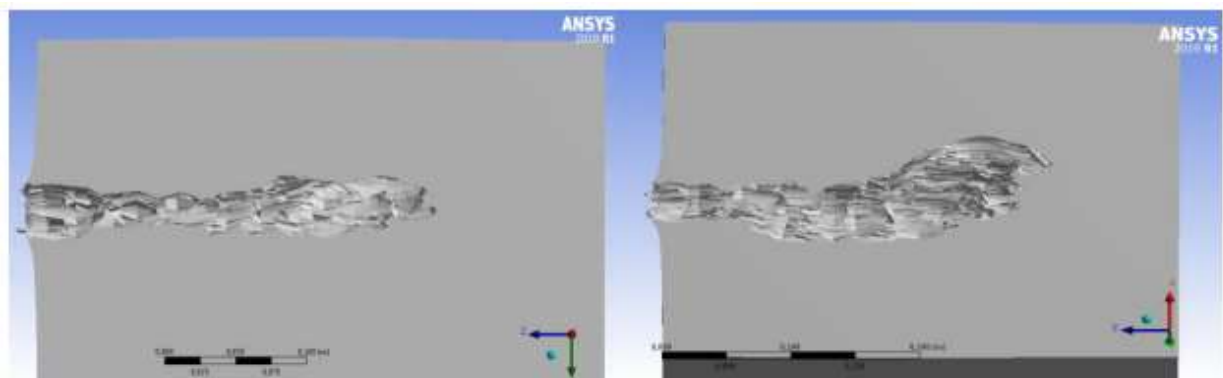


Рисунок 3 – Розрахункові пошкодження в балістичному матеріалі

На рис. 4 подана картина пошкодження, яка була отримана в експериментальній моделі для кулі 1. Проведення порівняльного аналізу розрахункових і експериментальних даних вказують на їх добру збіжність. Аналогічні результати комп'ютерного моделювання проникнення кулі в балістичний матеріал отримані також і для інших варіантів куль.



Рисунок 4 – Пошкодження матеріалу експериментальної моделі

Було проведено великий обсяг числового комп'ютерного моделювання процесу проникнення жорсткої кулі через поверхню сталевих циліндричних оболонок з різною швидкістю і під різними кутами до поверхні оболонки. Картини пошкоджених поверхонь, та картини руйнувань подані на рис. 5.

Отримані залежності зміни енергії при наскрізному проникненні кулі під різними кутами до поверхні оболонки. На рис.6 подані відповідні графіки для випадку початкової швидкості кулі 50 м/с (вертикальна складова вектора швидкості – 25м/с, горизонтальна – 43,3015 м/с) для випадку напрямку її дії під кутом до твірної оболонки.



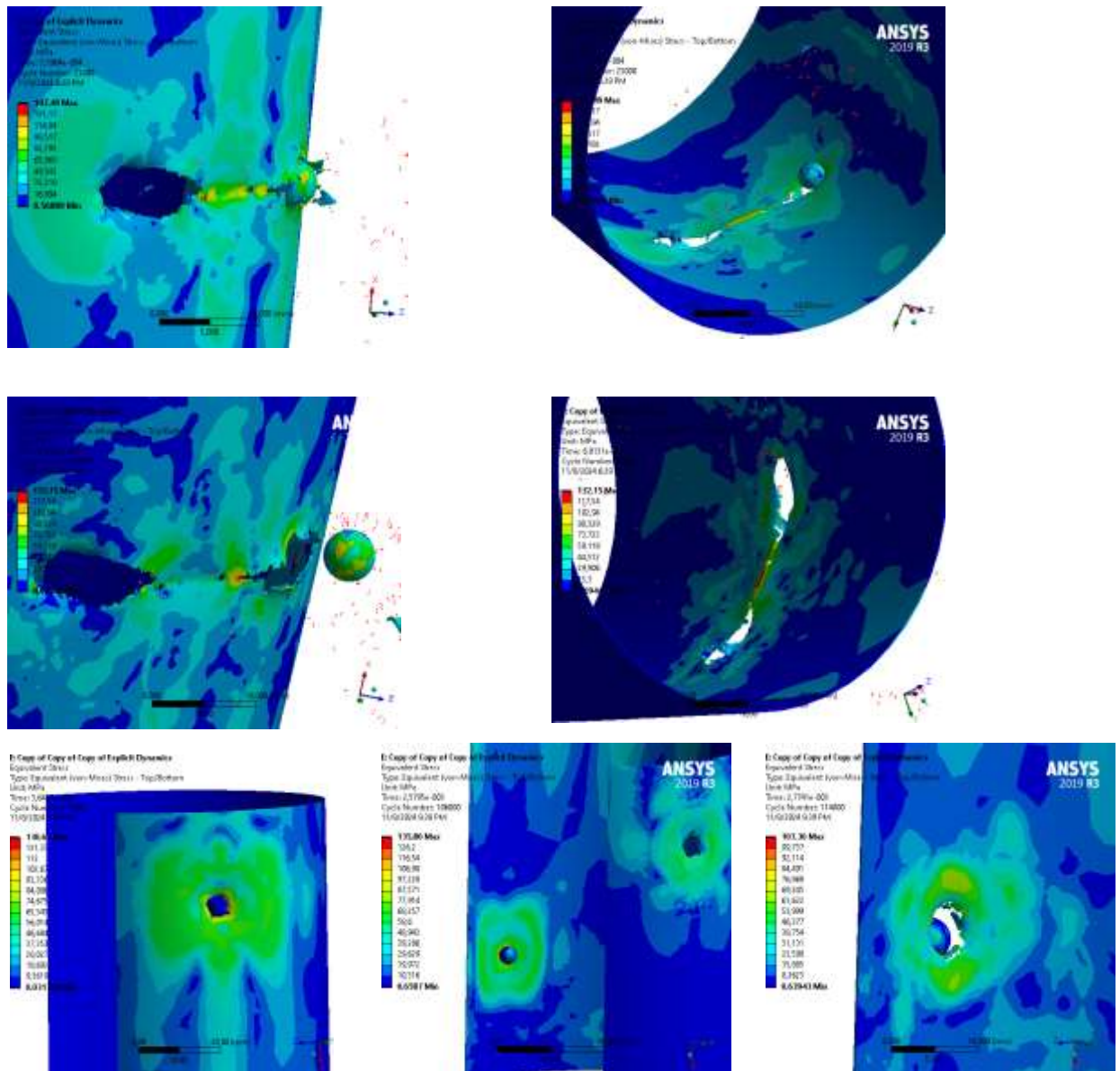


Рисунок 5 – Картини наскрізних руйнувань поверхні циліндричних оболонок

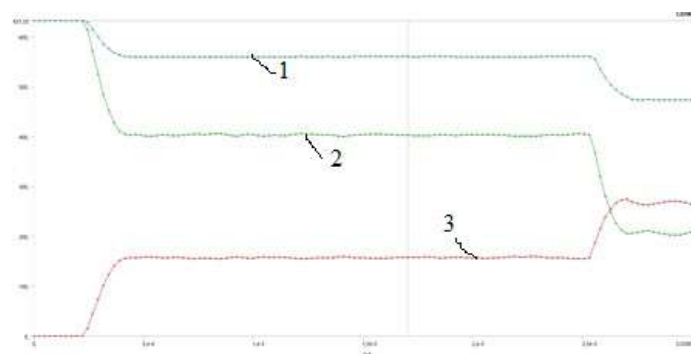


Рисунок 6 – Характер зміни загальної енергії (лінія 1), кінетичної енергії кулі (лінія 2), та внутрішньої енергії системи (потенціальної) (лінія 3)

З приведених графіків видно різку зміну складових енергії при проходженні кулі через перешкоду (поверхню оболонки).

Висновки. Отримані результати вказують на достатню достовірність застосування за- собів скінченно-елементного аналізу. Моделювання процесу проникнення і траєкторії руху кулі в балістичному матеріалі можуть бути використані в хірургії для прогнозування харак- теру реальних поранень, а моделювання наскрізного проникнення через жорстку перешкоду – для створення захисних елементів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бруяка В.А. Инженерный анализ в ANSYS WORKBENCH (2010) / Уч. пос. Из- во: Самарский гос. техн. ун-т, 271с. ISBN 978-5-7964-1392-0
2. Gad A.I. and Gao X.-L.. Mdeling of deformation of Roma Plastilina № 1 clay in column-drop tests by incorporating the coupler strain rate and temperature effects. (2020) Mechanics of Advanced Materials and Structures. № 13. P. 1154–1166. <https://doi.org/10.1080/15376494.2020.1712629>.
3. Hernandez C., Buchely M.F., Maranon A. Dynamic characterization of Roma Plastilina № 1 from Drop Test and inverse analysis. /International Journal of Mechanical Sciences 100 (2015) P. 158–168. <https://doi.org/10.1016/j-ijmecsci.2015.06009>.
4. Martin L Fackler, MD. Gunshot wound Review. Annals of Emergency Medicine, (august 1996). **28 (2)**. P. 194–203. [https://www.annemergmed.com/article/S0196-0644\(96\)70062-8/abstract](https://www.annemergmed.com/article/S0196-0644(96)70062-8/abstract) .

