

# Загальні питання

УДК 623.438

С.П. Бісик

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ

## ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ПРОТИМІННОЇ СТІЙКОСТІ КОРПУСІВ БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИНИ З УРАХУВАННЯМ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ

У статті запропоновано підхід до оцінки протимінної стійкості корпусів бойових броньованих машин з урахуванням зварних з'єднань. Через неоднорідність та гетерогенність структури металу зварного з'єднання воно може стати осередком локального руйнування корпусу бойової броньованої машини від вибухового навантаження та спричинити загибель членів екіпажу. З використанням методу скінченних елементів проведені дослідження стійкості пластини до вибухового навантаження без зварного з'єднання, з одним та двома зварними з'єднаннями. Отримано значення прогинів пластини зі зварними з'єднаннями та без в залежності від маси вибухової речовини. На основі цих результатів проведені дослідження стійкості макету корпусу бойової броньованої машини зі зварними з'єднаннями та без. Розраховані значення прогинів в контрольних точках макету корпусу бойової броньованої машини з різною товщиною при підриві вибухової речовини різної маси. Сформовані рекомендації по підходу до оцінки протимінної стійкості корпусу бойової броньованої машини з урахуванням різних параметрів вибухового навантаження, що можуть використовуватись при побудові їх скінченно-елементних моделей для проведення параметричних досліджень та розрахункової оцінки рівня стійкості зразка до підриву на вибухових пристроях.

**Ключові слова:** бойові броньовані машини, протимінний захист, вибухове навантаження, зварні з'єднання.

### Вступ

**Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження протимінної стійкості (ПМС) корпусів бойових броньованих машин (БМ) та пошук шляхів її покращення є актуальною науковою і практичною проблемою [1], що набуває особливої значимості в умовах сьогодення.

Корпус БМ являє собою зварну конструкцію, основні елементи якої з'єднані за допомогою електродугового зварювання. Зважаючи на те, що корпус БМ виготовляється з броньових сталей високої твердості, а зварні з'єднання виконуються із застосуванням зварювальних матеріалів аустенітного класу, забезпечення рівномірності металу зварного з'єднання є неможливим, а необхідний рівень міцності корпусу БМ досягається його конструктивним виконанням [2]. В роботах, що присвячені дослідженню протимінної стійкості БМ [3–11], не враховується наявність зварних з'єднань. Однак, через неоднорідність та гетерогенність структури металу зварного з'єднання саме він може стати осередком локального руйнування корпусу від вибухового навантаження та спричинити загибель членів екіпажу. В роботах [12–15] наведені результати експериментальних досліджень стійкості зварних з'єднань до дії вибухового навантаження у конструкціях БМ та у будівельних конструкціях [16–17]. Однак підхід до вивчення стійкості конструкцій з наявними зварними з'єднаннями з використанням числових методів в цих роботах відсутній.

Таким чином, дослідження впливу зварного з'єднання в конструкції БМ на її протимінну стійкість та формування підходу до проведення дослідження протимінної стійкості зразка з урахуванням зварних з'єднань є актуальним завданням, що і є метою статті.

### Основна частина

Для оцінки впливу зварного з'єднання на протимінну стійкість конструкції зразка дослідження розділено на два етапи. На першому етапі проведена оцінка наслідків підриву заряду вибухової речовини (ВР) різної маси над зварною пластиною з одним та двома швами. На другому етапі проведена оцінка протимінної стійкості корпусу БМ зі зварними з'єднаннями та без них при підриві ВР різної маси. Оцінка впливу зварного з'єднання на протимінну стійкість проведена по значенням максимальних прогинів в контрольних точках конструкції. Підхід до задавання вибухового навантаження, формування скінченно-елементної моделі, вибору моделі поведінки матеріалів, оцінка точності, збіжності і адекватності числової моделі проведена в роботі [18].

На першому етапі проведено дослідження прогинів пластини без зварних швів та з ними. Розрахункова схема представлена на рис. 1. Зварні пластини містять один або два стикові шви з наскрізним проплавленням (рис. 2). Вплив зварного з'єднання, в рамках проведених досліджень, умовно задається через наявність в матеріалі двох зон: основного ме-

талу та зварного шва з відповідними фізико-механічними властивостями (табл. 1). Для початку проведено дослідження впливу типу елемента зварного шва на прогини пластини. В першому випадку зварний шов заданий з використанням елементів типу Shell в другому – Solid (рис. 3). Типові значення прогинів у точці Д при підриві ВР масою 2 та 3 кг представлено на рис. 4. Зведений графік розрахункових значень максимальних прогинів пластини в точці Д в залежності від маси ВР представлений на рис. 5.

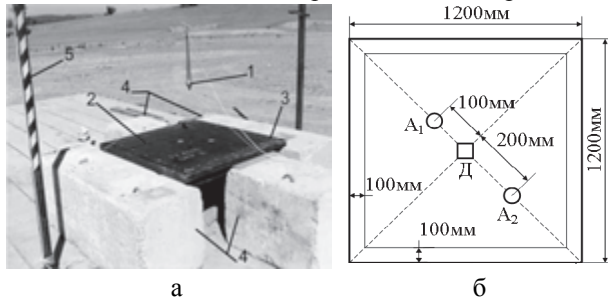


Рис. 1. Експериментальна установка (а) та схема розташування точок реєстрації (б) вибухового навантаження пластини: 1 – вибухова речовина, 2 – пластина, 3 – елементи кріплення пластини, 4 – бетонні блоки, 5 – кронштейн для кріплення вибухової речовини, Д – точка реєстрації динамічного переміщення, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub> – точки реєстрації прискорення

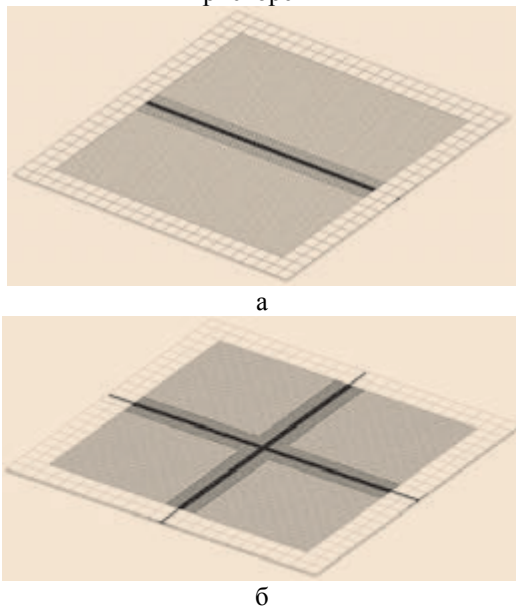
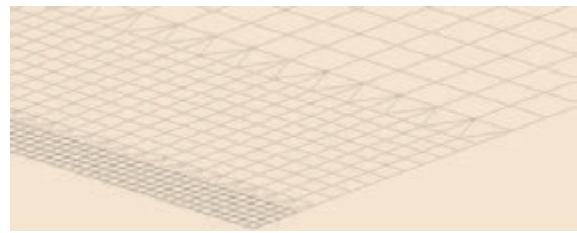


Рис. 2. Скінченно-елементна модель пластини з одним (а) та двома (б) стиковими зварними з'єднаннями

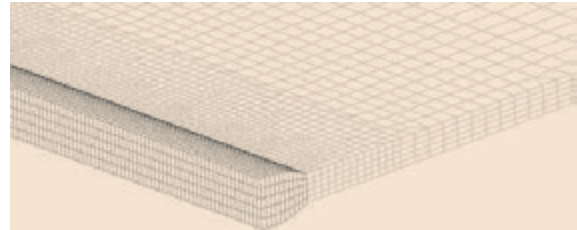
Таблиця 1

Характеристики матеріалу пластини та зварного шва

Характеристика	Основний метал	Зварний шов
Модуль пружності, ГПа	210	203
Коефіцієнт Пуассона	0,3	0,3
Границя плинності, МПа	1220	425
Густина, кг/м <sup>3</sup>	7850	7850
Відносне подовження на розрив, %	10	41

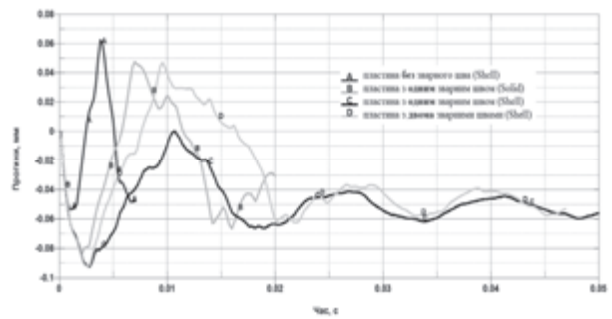


а

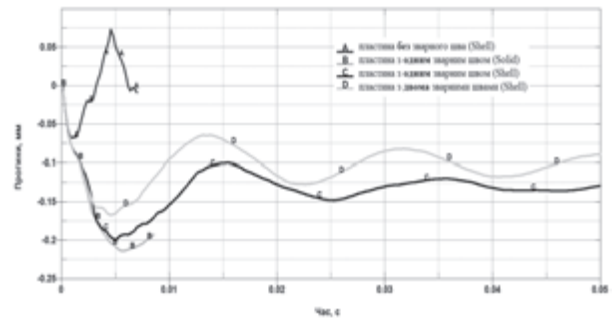


б

Рис. 3. Скінченно-елементна модель пластини зі зварним з'єднанням заданим елементами типу Shell (а) та типу Solid (б)



а



б

Рис. 4. Прогини пластин при підриві ВР масою 2 кг (а) та 3 кг (б)

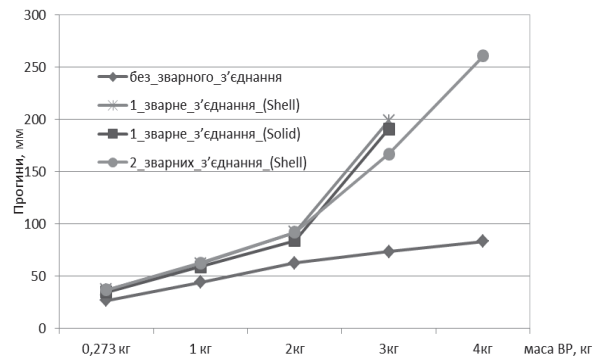


Рис. 5. Розрахункові максимальні прогини пластини в залежності від зміни маси ВР

За проведеними дослідженнями реакції пластини на дію вибуху та отриманими результатами можна зробити такі висновки:

1. Відносна різниця прогинів в центрі пластини із зварним з'єднанням при вибуховому навантаженні з використанням елементів Solid та Shell знаходиться в межах 4–8,6 % (рис. 5). Таким чином, моделювання зварного шва з використанням елементів Shell є більш прийнятним порівняно з елементами Solid, так як час рішення з використанням останнього типу елементів значно (майже на порядок) перевищує час при використанні елементів Shell.

2. Аналіз отриманих результатів (рис. 5) показує, що наявність зварного шва значно збільшує прогини в точці Д (при масі ВР до 2 кг їх значення збільшується на 27–32 %). Тому дослідження протимінної стійкості корпусів ББМ має здійснюватись з урахуванням зварних швів у їх конструкції.

3. При наявності одного зварного з'єднання на пластині значення прогинів в центрі пластини зростають пропорційно до збільшення маси ВР. Відносне збільшення прогину в центрі пластини з одним швом та двома швами по відношенню до прогинів в центрі пластини, що не має зварного шва, наведено на рис. 6.

4. Значення відносних прогинів пластини з одним і двома зварними швами показує, що різниця між ними при масі ВР до 2 кг незначна (1,3 %) при зростанні маси ВР до 3 кг, різниця в значеннях прогинів складає 19,2 %. Таке різке зростання спричинене руйнуванням зварного шва.

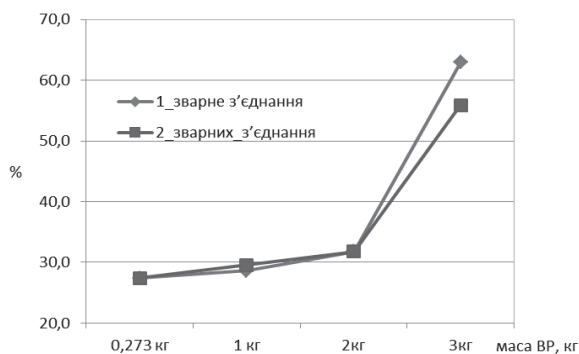


Рис. 6. Відносний прогин пластини з одним та двома зварними швами по відношенню до пластини без зварного шва в залежності від маси ВР

На другому етапі проведена оцінка протимінної стійкості макету корпусу ББМ зі зварними з'єднаннями та без них при підриві напівсферичного заряду тринітротолуолу (ТНТ) з різною масою. Макет корпусу ББМ ідеалізується як пластинчата конструкція без прикріпленого внутрішнього обладнання. Скінченно-елементна модель макету корпусу ББМ представлена на рис. 7. Відстань від центра заряду ВР до нижньої точки днища складає 500 мм. При дослідженнях варіювались товщини днища та

маса вибухової речовини. Зварний шов та корпус ББМ задані з використанням елементів Shell. Оцінка значення прогинів корпусу проведена в центральній точці днища.

Отриманні при числовому моделюванні типові руйнування в зоні зварного шва представлені на рис. 8.

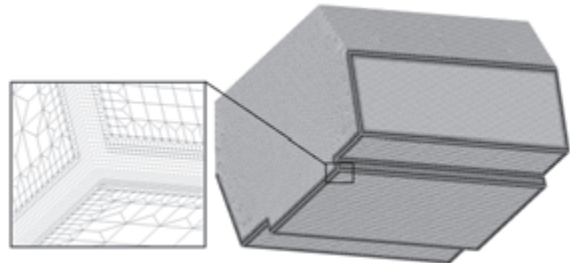
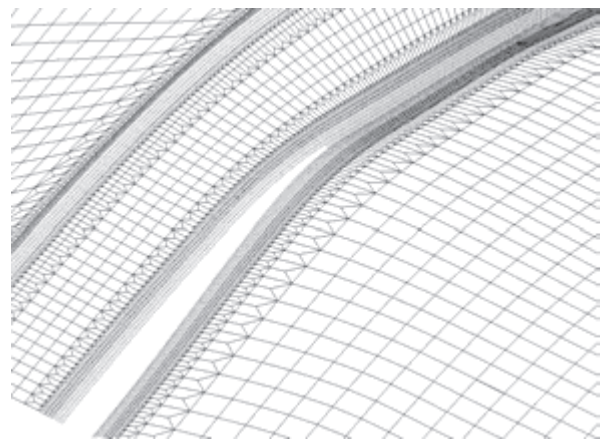
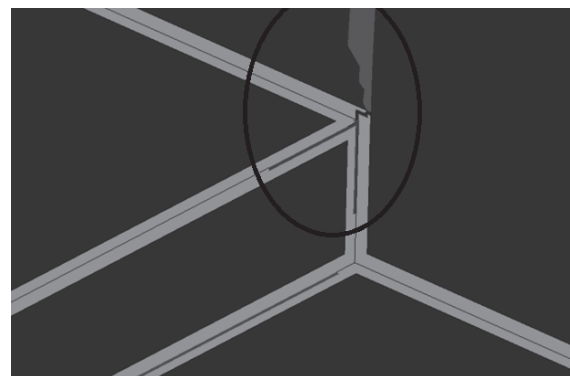


Рис. 7. Скінченно-елементна модель макету корпусу ББМ зі зварними з'єднаннями



а

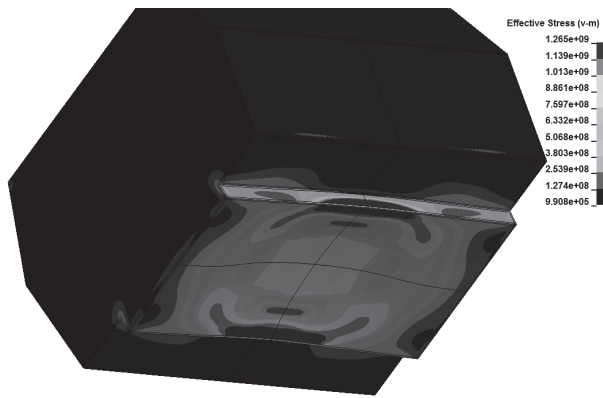


б

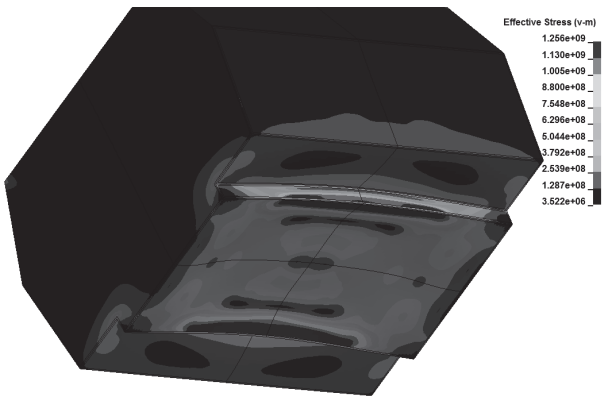
Рис. 8. Типове руйнування зварного з'єднання:  
а – маса ВР 4 кг, товщина днища 6 мм;  
б – маса ВР 8 кг, товщина днища 8 мм

Характерна зміна полів напружень при підриві макету корпусу ББМ представлена на рис. 9.

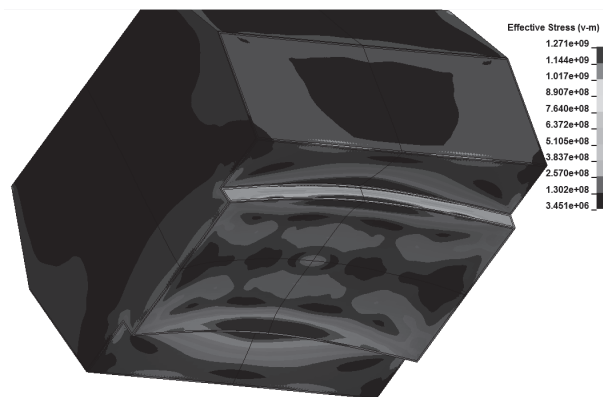
Отриманні значення прогинів в центрі днища наведені на рис. 10–14.



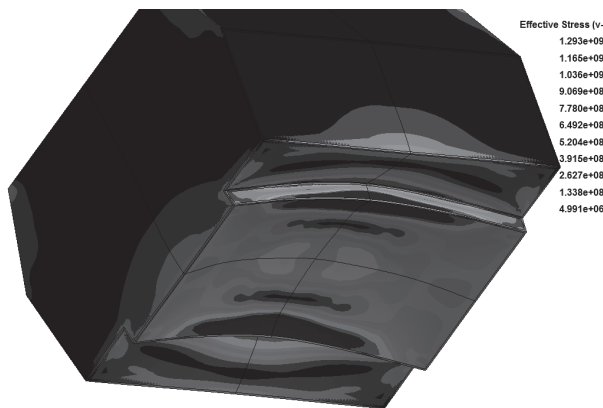
0,0014 с



0,002 с



0,0032 с



0.00419992

Рис. 9. Характерна зміна полів напружень по Мізесу (маса ВР 6 кг, товщина деталей корпусу 12 мм)

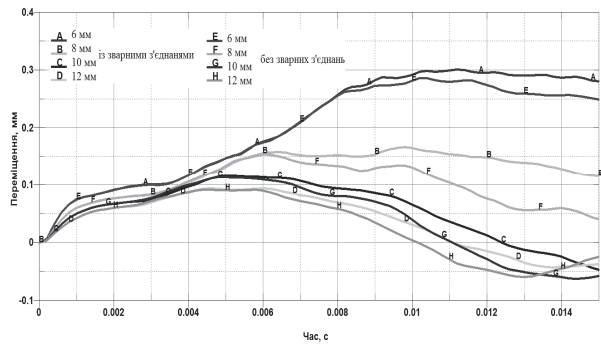


Рис. 10. Зміна прогинів в контрольній точці корпусів різної товщини (6 мм, 8 мм, 10 мм, 12 мм) без зварного з'єднання та зі зварним з'єднанням при підриві ВР масою 2 кг

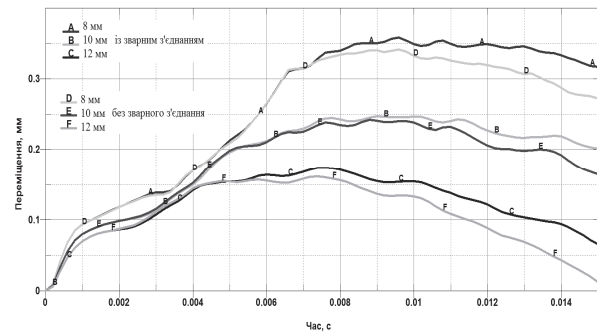


Рис. 11. Зміна прогинів в контрольній точці корпусів різної товщини (8 мм, 10 мм, 12 мм) без зварного з'єднання та зі зварним з'єднанням при підриві ВР масою 4 кг

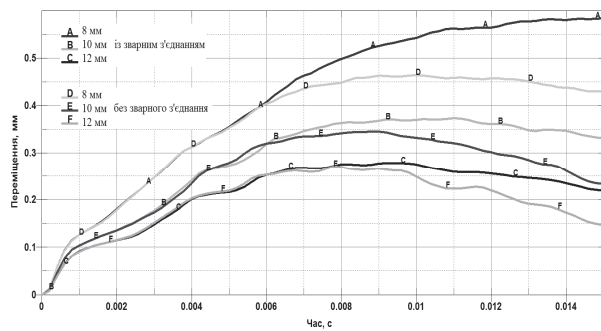


Рис. 12. Зміна прогинів в контрольній точці корпусів різної товщини (8 мм, 10 мм, 12 мм) без зварного з'єднання та зі зварним з'єднанням при підриві ВР масою 6 кг

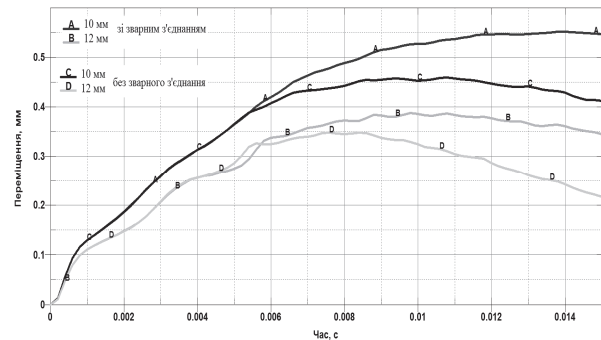


Рис. 13. Зміна прогинів в контрольній точці корпусів різної товщини (10 мм, 12 мм) без зварного з'єднання та зі зварним з'єднанням при підриві ВР масою 8 кг

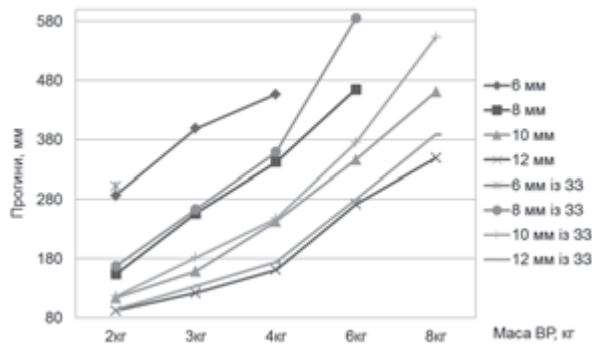


Рис. 14. Значення максимальних прогинів днища макету корпусу БМ різної товщини в залежності від маси ВР (ЗЗ – зварне з'єднання)

## Висновки

Отриманні значення максимальних прогинів в центрі днища, при зміні його товщини наведені на рис. 14.

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

проведені розрахунки динамічних прогинів в центрі днища корпусу БМ зі зварним з'єднанням та без нього **показують**, що значення прогинів для корпусу без зварного з'єднання та із зварним з'єднанням відрізняються до 10 %. Така різниця характерна для режимів роботи конструкції в пружній зоні. При режимах навантаження, що викликають пластичні деформації (маса вибухової речовини 6–8 кг) різниця в прогинах на корпусі, що не враховує зварні з'єднання, та на корпусі, що враховує зварні з'єднання, складає для товщини днища 10 мм 8% та 20% відповідно, для товщини 12 мм 3% та 11%.

Таким чином, з цього можна зробити висновок, що при навантаженні конструкції БМ, врахування в її конструкції зварних з'єднань доцільне при визначенні гранично допустимого навантаження, що може витримати конструкція без втрати цілісності. В той час як при значеннях, що не є граничними (відсутні значні пластичні деформації), розрахунок таких конструкцій може бути проведений без врахування зварного з'єднання, що підтверджується й результатами моделювання дії вибуху на пластину зі зварним з'єднанням та без нього. При режимах навантаження, що викликають значні пластичні деформації, значення прогинів пластини зі зварним з'єднанням різко зростають по відношенню до пластини без зварного з'єднання.

Хоча, врахування в конструкції зварного з'єднання значно підвищує достовірність результатів щодо протимінної стійкості корпусу БМ, але й значно підвищує трудомісткість створення скінченно-елементних моделей, а необхідність згущення кроку сітки в зонах зварних з'єднань призведе до значного зростання кількості елементів самої моделі. Виходом з цього може бути проведення досліджень окремих деталей (елементів корпусу БМ) на стійкість до дії вибухових навантажень з урахуванням зварних з'єднань і дослідження протимінної стійкості корпусів БМ без врахування зварних з'єднань на початкових етапах.

Напрямом наступних досліджень є розроблення способу задавання зварного з'єднання в складних конструкціях корпусів БМ з мінімізацією кількості елементів скінченно-елементної моделі та трудомісткості її створення.

## Список літератури

1. Global Armoured Vehicles Market Report 2016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: [https://cdn.oemoffhighway.com/files/base/acbm/ooh/document/2015/11/Global\\_Armoured\\_Vehicles\\_Market\\_Report\\_2016.pdf](https://cdn.oemoffhighway.com/files/base/acbm/ooh/document/2015/11/Global_Armoured_Vehicles_Market_Report_2016.pdf).
2. Сливінський О.А. Структура та властивості зварних з'єднань броньових сталей закордонного виробництва / О.А. Сливінський, С.П. Бісик, О.В. Чернозубенко // Технологические системы. – 2016. – №3(76). – С. 103-112.
3. Williams K. A numerical analysis of the effect of surrogate anti-tank mine blasts on the M113 [Електронний ресурс] / K. Williams, K. Poon. – Режим доступу до ресурсу: <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA375585>.
4. Wei R. Application of dimension reduction based multi-parameter optimization for the design of blast-resistant vehicle / R. Wei, X. Wang, M. Zhang, Y. Zhou, L. Wang // Structural and Multidisciplinary Optimization. – 2016. – DOI 10.1007/s00158-017-1696-2.
5. Mikulic D. Design of Demining Machines / D. Mikulic [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.springer.com/us/book/9781447145035>. – DOI 10.1007/978-1-4471-4504-2.
6. Showichen A. Numerical analysis of vehicle bottom structures subjected to anti-tank mine explosions: PhD thesis / A. Showichen // Cranfield University 2008 / 328 С. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <http://hdl.handle.net/1826/2914>.
7. Zhang X. Modelling and analysis of the vehicle underbody and the occupants subjected to a shallow-buried-mine blast impulse / X. Zhang, Y. Zhou, X. Wang, Z. Wang // Journal of Automobile Engineering. – 2016. – (231) – P. 214-224. – DOI: 10.1177/0954407016651353.
8. Erdik A. Numerical simulation of armored vehicles subjected to undercarriage landmine blasts / A. Erdik, S. Kilic, N. Kilic, S. Bedir // Shock Waves. – 2016. – (26). – P. 449-464. – DOI: 10.1007/s00193-015-0576-1.
9. Бісик С.П. Оцінка протимінної стійкості легкої бойової колісної машини / С.П. Бісик, О.М. Купріненко, В.Г. Корбач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Машинознавство та САПР. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 31(1140). – С. 11-20.

10. Бісик С.П. Дослідження конструкції захисного протимінного екрана / С.П. Бісик // Військово-технічний збірник. – №12/2015. – Львів: АСВ, 2015. – С. 110-117.
11. Бісик С.П. Теоретична оцінка протимінної стійкості багатоцільового тактичного автомобіля «Козак-2» / С.П. Бісик, І.Б. Чепков, М.І. Васківський, Л.С. Давидовський, В.Г. Кorbач, О.М. Висоцький, Д.М. Захаревич // Озброєння та військова техніка: щоквартальний науково-технічний журнал. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2016. – №1 (9). – С. 26-31.
12. Frain E. The Effect of Weld Penetration on Blast Performance of Welded Panels / E. Frain, L. Davidson. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA616386>.
13. Falkenreck Th.E. Blast resistance of high-strength structural steel welds / Th.E. Falkenreck, Th. Boellinghaus // *Weld World*. – 2016. – №60(3). – P. 475-483. – DOI: 10.1007/s40194-016-0307-y.
14. Yue X. Effect of Welding Parameters on the Heat-Affected Zone hydrogen-Induced Cracking Tendency of a Blast-Resistant Steel / X. Yue, X.-L. Feng, J.C. Lippold // *Welding research*. – 2014. – № 93. – P. 98-105.
15. Geffroy A.G. Fracture analysis and constitutive modelling of ship structure steel behavior regarding explosion / A.G. Geffroy, P. Longire, B. Leble // *Engineering Failure Analysis*. – 2011. – №18. – С. 670-681.
16. Krauthammer T. Blast-resistant structural steel connections / T. Krauthammer, G.J. Oh // *Transactions on the Built Environment*. – 1998. – №32. – С.63-72.
17. Gordon P. Warn. Blast Resistance of Steel Plat Shear Walls Designed for Seismic Loading / Gordon P. Warn, M. Bruneau // *Journal of structural engineering*. – 2009. – P. 1222-1230. – DOI: 10.1061/\_ASCE\_ST.1943-541X.0000055.
18. Бісик С.П. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини / С.П. Бісик, В.Г.Кorbач // Військово-технічний збірник. – Львів: АСВ, 2011. – №2(5). – С. 3-6.

## References

1. Global Armoured Vehicles Market Report 2016. [https://cdn.oemoffhighway.com/files/base/acbm/ooh/document/2015/11/Global\\_Armoured\\_Vehicles\\_Market\\_Report\\_2016.pdf](https://cdn.oemoffhighway.com/files/base/acbm/ooh/document/2015/11/Global_Armoured_Vehicles_Market_Report_2016.pdf).
2. Slyvinskyj, O.A., Bisyk, S.P. and Chernozubenko, O.V. (2016), “Struktura ta vlasty vosti zvarnyx zyednan bronovyx stalej zakordonnogo vyrobnyczstva” [Structure and properties of welded joints of armor steels foreign production], *Technological systems*, No. 3(76), pp. 103-112.
3. Williams, K. and Poon, K. (2000), *A numerical analysis of the effect of surrogate anti-tank mine blasts on the M113* <http://oai.dtic.mil/oai/oai?verb=getRecord&metadataPrefix=html&identifier=ADA375585>.
4. Wei, R., Wang, X., Zhang, M., Zhou, Y. and Wang, L. (2016), Application of dimension reduction based multi-parameter optimization for the design of blast-resistant vehicle, *Structural and Multidisciplinary Optimization*. DOI 10.1007/s00158-017-1696-2
5. Mikulic, D. (2013), *Design of Demining Machines*, <http://www.springer.com/us/book/9781447145035>, DOI 10.1007/978-1-4471-4504-2.
6. Showichen, A. (2008), *Numerical analysis of vehicle bottom structures subjected to anti-tank mine explosions: PhD thesis*, Cranfield University, 328 p., <http://hdl.handle.net/1826/2914>.
7. Zhang, X., Zhou, Y., Wang, X. and Wang, Z. (2016), Modelling and analysis of the vehicle underbody and the occupants subjected to a shallow-buried-mine blast impulse, *Journal of Automobile Engineering*, No. 231, p. 214-224, DOI: 10.1177/0954407016651353.
8. Erdik, A., Kilic, S., Kilic, N. and Bedir, S. (2016), Numerical simulation of armored vehicles subjected to undercarriage landmine blasts, *Shock Waves*, No. 26, pp. 449-464, DOI: 10.1007/s00193-015-0576-1.
9. Bisyk, S.P., Kuprinenko, O.M. and Korbach, V.G. (2015), “Ocinka protymynnoyi stijkosti legkoyi bojovoyi kolisnoyi mashyny” [Evaluation of anti mine protections of the light military multiple vehicles], *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Machine-building and CAD*, No. 31(1140), pp. 11-20.
10. Bisyk, S.P. (2015), “Doslidzhennya konstrukciyi zaxysnogo protyminnogo ekrana” [Study construction protective mine screen], *Military Technical Collection*, No. 12, pp. 110-117.
11. Bisyk, S.P., Chepkov, I.B., Vaskivskyj, M.I., Davydovskyj, L.S., Korbach, V.G., Vysoczkyj, O.M. and Zaxarevych, D.M. (2016), “Teoretychna ocinka protymynnoyi stijkosti bagatocilovogo taktychnogo avtomobilya «Kozak-2»” [Theoretical evaluation of the mine protection level of the multi-purpose tactical car "Kozak-2"], *Arms and military equipment*, No. 1(9), pp.26-31.
12. Frain, E. and Davidson, L.(2014), *The Effect of Weld Penetration on Blast Performance of Welded Panels*, <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA616386>.
13. Falkenreck, Th.E. and Boellinghaus, Th. (2016), Blast resistance of high-strength structural steel welds, *Weld World*, No. 60(3), pp. 475-483, DOI: 10.1007/s40194-016-0307-y.
14. Yue, X., Feng, X.-L. and Lippold, J.C. (2014), Effect of Welding Parameters on the Heat-Affected Zone hydrogen-Induced Cracking Tendency of a Blast-Resistant Steel, *Welding research*, No. 93, pp. 98-105.
15. Geffroy, A.G., Longire, P. and Leble, B. (2011), Fracture analysis and constitutive modelling of ship structure steel behaviour regarding explosion, *Engineering Failure Analysis*, No.18, pp. 670-681.
16. Krauthammer, T. and Oh, G.J. (1998), Blast-resistant structural steel connections, *Transactions on the Built Environment*, No. 32, pp. 63-72.
17. Gordon, P. Warn and Bruneau, M. (2009), Blast Resistance of Steel Plat Shear Walls Designed for Seismic Loading, *Journal of structural engineering*, pp. 1222-1230, DOI: 10.1061/\_ASCE\_ST.1943-541X.0000055.

18. Bisyk, S.P. and Korbach, V.G. (2011), "Chyslove vyrishennya zadachi udarno-xvylovogo navantazhennya plastyny" [Numerical simulation of shock loading of plate], *Military Technical Collection*, No. 2(5), pp. 3-6.

Надійшла до редколегії 01.06.2017  
Схвалена до друку 17.08.2017

**Відомості про автора:**

**Бісик Сергій Петрович**

кандидат технічних наук старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідної лабораторії Центрального  
науково-дослідного інституту озброєння та військової  
техніки Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
orcid.org/0000-0002-5009-2113  
e-mail: sergey-new@ukr.net

**Information about the author:**

**Bisyk Sergey**

Candidate of Sciences Senior Research,  
Head of Research Laboratory of Central Research  
Institute of Arms and Military Equipment of the Armed  
Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
orcid.org/0000-0002-5009-2113  
e-mail: sergey-new@ukr.net

**ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОТИВОМИННОЙ СТОЙКОСТИ КОРПУСОВ БОЕВЫХ БРОНИРОВАННЫХ МАШИН  
С УЧЕТОМ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

С.П. Бисык

*В статье предложен подход к оценке противоминной стойкости корпусов боевых бронированных машин с учетом сварных соединений. Из-за структурной и механической неоднородности металла сварного соединения оно может стать центром локального разрушения корпуса боевой бронированной машины от взрывной нагрузки и вызвать травмы или гибель членов экипажа и десанта. С использованием метода конечных элементов проведены исследования устойчивости пластины к взрывной нагрузке без сварного соединения, с одним и двумя сварными соединениями. Получено значение прогибов пластины с сварными соединениями и без них в зависимости от массы взрывчатого вещества. На основе этих результатов проведены исследования устойчивости макета корпуса боевой бронированной машины со сварными соединениями и без них. Рассчитаны значения прогибов в контрольных точках макета корпуса боевой бронированной машины. При проведенных исследованиях варьировалась толщина модели корпуса и масса взрывчатого вещества. Установлено, что зависимости прогибов модели корпуса без сварных соединений и со сварными соединениями имеют незначительную разницу при взрывной нагрузке и деформации металла конструкции в упругой зоне. Однако при деформации металла конструкции в пластической зоне значение прогибов может сильно отличаться для модели корпуса со сварным соединением и без него. Сформированные в статье рекомендации по подходу к оценке противоминной стойкости корпуса боевой бронированной машины с учетом различных параметров взрывной нагрузки могут быть использованы при построении их конечно-элементных моделей для проведения параметрических исследований и расчетной оценки уровня устойчивости боевой бронированной машины к подрыву на противотанковых минах.*

**Ключевые слова:** боевые бронированные машины, противоминная защита, взрывная нагрузка, сварные соединения.

**APPROACH TO EVALUATION OF MINE RESISTANT LEVELS OF ARMORED VEHICLES TAKING INTO  
ACCOUNT WELDED JOINTS**

S. Bisyk

*The article proposes an approach to the evaluation of mine resistant levels of the armored vehicles taking into account welded joints. Due to the structural and mechanical heterogeneity of the metal, it can become the local point of the destruction of the armored vehicle hull in the presence of explosive load and cause injuries or death of crew members and landing personnel. Using the finite elements method, study of the resistant of the plate against explosive load without welded joints, with one and two welded joints was conducted. The values of the plate deflections with and without welded joints depending on the mass of the explosive was obtained. On the basis of these results, the study of the mine resistant of armored vehicles hull model with and without welded joints. Values of the deflections in the control points of the armored vehicles hull model were calculated. In the course of research, the thickness of the model hull and the mass of the explosive varied. It was determined that the dependence of the deflections of the model hull without and with welded joints has a slight difference in the presence of explosive loading and deformation of the metal structure in the elastic zone. However, under deformation of the metal structure in the plastic zone, the value of the deflections can deeply vary for the hull model with welded joints and without them. Presented in the article recommendations on the approach to the estimation of the resistance of an armored vehicle hull, taking into account various parameters of the explosive load, can be used for construction of their finite-element models for parametric studies and evaluation of the resistance level of armored vehicles against mine threat.*

**Keywords:** armored vehicles, mine protection, explosive loading, welded joints.