Чуприна В.М., Башинський В.Г. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

МОДЕЛЮВАННЯ МІЦНОСТІ КАПСУЛИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО БРОНЬОВАНОГО АВТОМОБІЛЯ “НОВАТОР” ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ

Розглянута актуальна проблема оцінки показників міцності спеціального броньованого автомобіля “НОВАТОР”. При перекиданні (перевертанні) бронеавтомобіля його капсула повинна забезпечити необхідну міцність і збереження життєвого простору для екіпажу. Виконані розрахунки напружено-деформованого стану капсули бронеавтомобіля під дією різних видів навантажень виявили недостатню міцність капсули. Проведено аналіз конструкції та надані практичні рекомендації виробнику щодо підвищення міцності капсули.

Ключові слова: бронеавтомобіль, перекидання, перевертання, капсула, міцність, життєвий простір, моделювання.

Вступ. Важливим фактором забезпечення силових структур держави якісною спецтехнікою, зокрема, бронеавтомобілями є випробування військової техніки.

Випробування займають важливе місце в життєвому циклі сучасної техніки. Вони є невід’ємною складовою технологічного процесу виготовлення і модернізації технічних об’єктів, зокрема військової техніки і техніки спеціального призначення [1]. Випробування проводяться з метою визначення та оцінки бойових, технічних і експлуатаційних характеристик, представлених на випробування зразків техніки. Випробування об’єктів можуть проводитись експериментальним методом (шляхом натурних випробувань об’єкту в певних умовах функціонування з метою його вивчення) або методом моделюванням об’єкту (шляхом складання математичної моделі, як аналога об’єкта, та її вивчення при імітації різноманітних впливів).

Використання моделювання є сучасним методом, тому що дозволяє перенести реальні випробування у віртуальне середовище. При цьому можна значно розширювати кількість параметрів моделювання і задавати різноманітні моделі впливу на об’єкт. Це дозволяє суттєво скоротити терміни досліджень і зменшити загальні витрати на випробування.

Спеціалізовані бронеавтомобілі призначені для захищеного перевезення особового складу, зокрема в районах проведення бойових дій. Одним із важливих показників бронеавтомобіля є міцність його капсули, в якій може знаходитись екіпаж. Капсула повинна забезпечити як балістичний захист особового складу від стрілецької зброї і інших видів уражень, так і збереження життєвого простору для людей при перекиданні чи перевертанні автомобіля [2].

Розглянемо можливості застосування імітаційного моделювання (в програмі SolidWorks Simulation) для оцінки міцності корпусу бронеавтомобіля при випробуваннях [3-6].

Мета роботи – оцінка характеристик міцності корпусу (капсули) броньованого автомобіля при його перекиданні (перевертанні).

В якості прикладу застосування імітаційного моделювання при випробуваннях розглянемо моделювання міцності капсули спеціалізованого броньованого автомобіля (СБА) “НОВАТОР”, загальний вид якого зображений на рисунку 1.

а) б)
Рис.1. Загальний вигляд СБА “НОВАТОР” :
а) фотографічне зображення; б) тривимірна модель

Автомобіль “НОВАТОР” призначений для перевезення особового складу, а також цільового вантажу.

Основним завданням розрахунку і наступного імітаційного моделювання конструкції є перевірка міцності капсули, яка повинна гарантувати безпеку і збереження життєвого простору для екіпажу при перекиданні автомобіля [7, 8].

Кабіна-капсула СБА “НОВАТОР”, яка розміщена на шасі автомобіля, призначена для забезпечення броньового захисту екіпажу при його перевезенні, а також і в бойових умовах. Загальний вид капсули СБА “НОВАТОР” (без дверцят) зображений на рисунку 2-а.

Конструкція капсули (Рис.2-б) складається з таких основних елементів:

- сталевий каркас;
- зовнішня броньова обшивка;
- внутрішня декоративна обшивка (умовно не показана).

а) б)
Рис.2. Загальний вид капсули СБА “НОВАТОР”

Основну міць конструкції, яка сприймає силове навантаження при перекиданні (перевертанні) автомобіля, складає каркас і зовнішня обшивка. Тому, при розрахунках на міцність обмежимося лише 3D-моделлю силової частини капсули.

Розглянемо конструкцію каркасу капсули, яка показана на рисунку 3-а.

Рис.3. Конструкція каркасу капсули СБА “НОВАТОР”
а) загальний вид; б) розріз і креслення профілю каркасу

Каркас виконаний з елементів відкритого П-образного профілю розміром (40x70x6) мм, які зварені з окремих полос товщиною 6 мм (Рис.3-б). Матеріал каркасу – сталь 10ХСНД ГОСТ 4543-71, матеріал дроту для зварних швів – SW-307Si ISO 14343-A. Зовнішня обшивка капсули зварена з листів спеціальної броньованої легованої сталі Swebor Armoг 56В товщиною 6 мм. Внутрішня (декоративна) обшивка виконана з різних оббивних матеріалів, які не впливають на міцність капсули СБА “НОВАТОР”. Каркас виконує насамперед технологічну функцію при збиранні (зварюванні) капсули. Проте, основне навантаження від ваги СБА “НОВАТОР” при його перекиданні сприймає саме каркас.

Розрахункова модель каркасу зображена на рисунку 4-а (для випадку перекидання автомобіля на дах капсули).

Рис.4. Розрахункова модель каркасу (а) і результат розрахунку (б)

При моделюванні каркасу навантаження збільшувалось у діапазоні від 0 до 100000Н (~10т). Максимальне навантаження враховує вагу і динаміку автомобіля. При розрахунках напружено-деформованого стану (НДС) визначались максимальні напруження в матеріалі за Фон-Мізесом, які не повинні перевищувати відповідні допустимі значення для кожного з матеріалів. Приклад розрахунку каркасу капсули на міцність наведений на рисунку 4-б.

Отримані результати моделювання НДС каркасу за різних видів навантажень. На епюрах напружень критичні зони виділені червоним кольором.

Як показують результати розрахунку, при навантаженні 10000Н (~1т) напруження сягають межі міцності для сталі 10ХСНД (540МПа), з якої виготовлений каркас. Це свідчить

про недостатню міцність каркасу, яка повинна бути на порядок більшою, щоб витримувати навантаження від ваги автомобіля без руйнування конструкції.

Приклад повної розрахункової моделі капсули при навантаженні на дах корпусу капсули показаний на рисунку 5.

Закріплення капсули до шасі автомобіля виконано за допомогою 4 болтів. Тому, завдання граничних умов кріплення капсули виконується шляхом фіксації конструкції у 4-х базових точках, де розташовані болти. У розрахунковій моделі капсула закріплена жорсткими фіксуючими в'язями (до абсолютно жорсткої основи), як це показано на рисунку 5-а.

Рис.5. Розрахункова модель капсули:
а) закріплення капсули; б) прикладення навантажень (на дах)

При перекиданні автомобіля доцільно розрахувати наступні варіанти прикладення навантаження:

- варіант 1 – на бік (борт) корпусу капсули;
- варіант 2 – на ребро корпусу капсули;
- варіант 3 – на дах корпусу капсули.

Конструкція корпусу капсули містить різні за розмірами елементи, як дрібні (втулки, зварні шви, болти і інші), так і великі (листи полу і даху, борти і інші). Крім того, існує багато елементів з великою кількістю отворів різних розмірів.

Для побудови скінчено-елементної мережі (СЕМ) такої складної збиральної моделі доцільно використовувати комбіновану мережу з тетраїдальних скінчених елементів (СЕ) з розмірами, адаптованими до розмірів елементу. Це дозволяє більш точно описати властивості конструкцій з різномірними за розмірами елементами, до яких належить конструкція капсули СБА “НОВАТОР”.

На підготовчому етапі розрахунку автоматично формувалась гетерогенна СЕМ конструкції силової частини капсули (Рис.6-а), яка містила 479596 скінчених елементів і 946957 вузлів. Для перевірки мережі була побудована мережа якості, де виділені неякісні елементи (Рис.6-б), які в подальшому коригувались.

Рис.6. Скінчено-елементна мережа капсули (а) і її якість (б)

Після побудови СЕМ капсули проведено розрахунок конструкції, протокол якого поданий на рисунку 7.

Рис.7. Протокол розрахунку моделі капсули

Результати розрахунку капсули представлені у вигляді розподілених полів механічних напружень в матеріалі капсули і деформацій її конструкції. Як приклад, на рисунку 8 показано моделювання напружено-деформованого стану капсули при навантаженні на бік, на ребро і на дах силою 10000Н.

Аналіз результатів розрахунку капсули на міцність показав наступне.

При моделюванні зростання навантажень більше 10000Н обмежувалось значними пластичними деформаціями (>25%), що унеможливило подальший розрахунок. Тому, для здійснення усіх варіантів розрахунків НДС капсули в межах пружних деформацій приймалось навантаження силою не вище 10000Н.

Рис.8. Результати розрахунку капсули: поля напружень (а) і деформацій (б)

Необхідні для перевірки на міцність механічні властивості використаних матеріалів зведено в таблицю 1.

Таблиця 1

Механічні властивості основних матеріалів капсули

№ з.п.	Найменування	Допустимі напруження, МПа	
		σ_T	σ_B
1	Сталь 10ХСНД ГОСТ 4543-71	410	540
2	Броньова сталь Swebor Armor 560 HB	1420	1580
3	Дріт зварювальний SW-307Si ISO 14343-A	350	500

З таблиці видно, що найменшу міцність мають елементи конструкції із зварювального дроту (шви капсули) та зі сталі 10ХСНД (каркас капсули). При перевищенні допустимих напружень плинності матеріалів (350МПа, 410МПа) конструкція буде деформуватись з остаточними деформаціями. Для запобігання руйнуванню капсули максимальні напруження не повинні перевищувати допустимі напруження (500-540МПа).

В результаті аналізу виконаних розрахунків НДС капсули і її каркасу встановлено наступне:

- пластичні деформації конструкції капсули починаються вже з навантажень більше 10000Н (~1т);
- руйнування конструкції капсули відбувається з навантажень, що перевищують 20000Н (~2т).

Враховуючи те, що при перекиданні СБА “НОВАТОР” діюча сила (від ваги автомобіля та динаміки його руху) сягає 100000Н (~10т), необхідна міцність конструкції капсули не забезпечується.

Основний спротив різним видам навантажень несе каркас, тому для забезпечення необхідної міцності бронекапсули доцільно підвищити міцність її несучого каркасу за рахунок конструктивних і технологічних заходів.

Висновки і рекомендації

Описана в статті методика імітаційного моделювання для визначення та оцінки характеристик міцності капсули спеціальних бронеавтомобілів при їх перекиданні (перевертанні) враховує усі вимоги і норми Правил №66 ЄЕК ООН до транспортних засобів для перевезення людей щодо міцності їх силової структури. При цьому моделювання міцності бронекапсули автомобіля доцільно проводити за методом скінчених елементів в програмі SolidWorks Simulation, яка дозволяє розраховувати складальні конструкції машин з різними матеріалами деталей.

У результаті імітаційного моделювання капсули СБА “НОВАТОР” можна зробити висновок, що при статичних і динамічних навантаженнях, які реально діють під час його перекидання, конструкція капсули не забезпечує достатню міцність її корпусу. При цьому значні пластичні та руйнівні деформації корпусу капсули не забезпечують необхідний обсяг життєвого простору при перевезенні людей.

Для забезпечення необхідної міцності корпусу капсули бронеавтомобіля і збереження життєвого простору для людей при перекиданні (перевертанні) автомобіля пропонується прийняти наступні рекомендації:

- конструкцію каркасу капсули доцільно виконати замкнутою (з додатковими передніми стійками під дах);
- при наявності відповідного сортаменту металевих профілів необхідно відмовитись від зварених профілів, причому профіль елементів каркасу слід вибирати замкненим (наприклад, з прямокутних труб), а не відкритим (швелер);
- параметри перетину профілю (площа, момент спротиву) і його розташування слід визначати на основі попередніх (оціночних) розрахунків при максимальних навантаженнях;
- доцільно максимально зменшити кількість послаблюючих елементів (отворів, вибірок, різей, інших концентраторів напружень);
- матеріал для елементів каркасу капсули рекомендується застосовувати з більш міцної сталі ($\sigma_B = 700-900$ МПа).

Наведені рекомендації з підвищення міцності капсули надані виробнику для їх врахування та реалізації при виготовленні серійного зразка автомобіля.

Загальний коефіцієнт запасу міцності конструкції по розрахунках капсули повинен складати не менше 1,5-2,0 одиниць.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dmytriiev V.A. Modern Methods of Modelling in Testing and Sertification of Special Technique. / V.A. Dmytriiev, V.M. Chupryna, E.K. Chimbanga // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2018. Тези доповідей Тринадцятої міжнародної науково-практичної конференції (Чернігів, 25– 29 червня 2018 р.). М-во освіти і науки України, Нац. Акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – С.376-378.
2. Чуприна В.М. Моделювання капсули бронеавтомобіля для оцінки міцності при випробуваннях. / Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Чернігів: Брагинець О.В., 2019. – Вип. 2(2). – С. 158-165.
3. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
4. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 784 с.
5. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи. — СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.
6. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. — 464 с.
7. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження великогабаритних пасажирських дорожніх транспортних засобів стосовно міцності верхньої частини їхньої конструкції (Правила ЕЭК ООН № 66-00:1987, DT): ДСТУ UN/ECE R 66-00:2002 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1&z=87>. – (Державний стандарт України).
8. Сертифікація транспортних засобів, їхніх складових (запасних) частин та обладнання [Електронний ресурс] / Міністерство інфраструктури України. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/content/sertifikaciya-transportnih-zasobiv--ihnih-skladovih-zapasnih-chastin-ta-obladnannya.html>

Чуприна Володимир Михайлович

доктор технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4886-090X>
+38068-131-66-06

Volodymyr Chupryna

Doctor of Technical Sciences, Docent, Lead Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4886-090X>
+38068-131-66-06

Башинський Володимир Георгійович

лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1712-7772>
e-mail: dndivs@ukr.net

Volodymyr Bashynskiy

The Laureate of State Prize of Ukraine in sphere of science and technique, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1712-7772>
e-mail: dndivs@ukr.net

SIMULATION OF CAPSULE STRENGTH OF THE SPECIALIZED ARMORED VEHICLE "NOVATOR" DURING TESTS

V Chupryna and V Bashynskiy

The actual problem of the strength properties evaluation of a special armored vehicle "NOVATOR" designed for the transportation of personnel and special cargo is considered. When an armored vehicle roll-over, the strength of the capsule must ensure the preservation of living space for the crew.

To evaluate the strength of the capsule when vehicle rolls-over, in the program Solid Works a spatial model of the fabricated hull of the armored capsule, taking into account the materials of all parts, was developed. Calculations of the stress-strain condition of the capsule and its frame are performed. To analyze the stress-strain condition of the armored vehicle capsule due to static and dynamic loads the finite element method was used, which is implemented in the program SolidWorks Simulation. Simulation of the structural strength by different types of loads was performed in order to adequately evaluate the strength of the capsule.

The results of calculations and simulation of the capsule design showed its insufficient strength, which can lead to significant spatial deformations of the capsule hull and the threat to human life. It does not meet the requirements of UNECE Regulation №66 for motor vehicles to transport people in terms of the strength of their superstructure.

To ensure the required strength of the capsule the analysis of design flaws was performed. The main causes of strength loss and location of critical stresses and strains by sensing the model are identified.

Recommendations were given to the manufacturer to increase the strength of the capsule and provide the necessary safety margin of the structure.

Keywords: *armored vehicle, roll-over, capsule, strength, living space, simulation.*