



Є. Є. Дудар¹, О. Є. Шаталов¹, А. Ю. Васильєв²

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна
²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна

МЕТОДИКА ВРАХУВАННЯ ГЕОМЕТРІЇ БОЙОВИХ МАШИН ЛЕГКОЇ КАТЕГОРІЇ ВАГИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТАКТИЧНИХ ДІАГРАМ

Описано підхід до побудови геометричних поверхневих та розрахункових (дискретних) моделей бойових машин легкої категорії ваги для подальшого використання при побудові тривимірних тактичних діаграм, що є необхідним для вирішення задачі аналізу рівня захищеності цих бойових машин від стрілецької зброї. Перелічено основні рівняння для розрахунку основних контрольованих параметрів бронекорпусу бойових машин легкої вагової категорії, які є необхідними для подальшої роботи алгоритму. Наведено результати геометричного моделювання сучасних бойових машин легкої вагової категорії, що стоять на озброєнні Збройних Сил України. Проведено порівняльний аналіз геометрії бронекорпусів різних машин та бронекорпусу БТР-80, створеного за різними методиками. На основі створених геометричних моделей розроблено розрахункові моделі, наведено їх приклади, для цього запропоновано використовувати алгоритми та інструментарій методу скінченних елементів. Розроблена методика створення та опису моделей бронекорпусів бойових машин легкої категорії ваги, сукупно з методикою побудови геометрії місцевості, дає змогу перейти безпосередньо до побудови тривимірних тактичних діаграм, що є напрямом подальших досліджень.

Ключові слова: геометрична модель; розрахункова модель; метод скінченних елементів; бойова машина; тривимірна тактична діаграма.

Вступ. Як зазначено у попередніх роботах (Vasiliev, Shatalov, & Dudar, 2015; Shatalov et al., 2005; Vasiliev et al., 2004; Tomusyak & Trokhymenko, 1999; Liao et al., 2006; Yu, Du, & Wang, 2005; Zhang & HuJianli, 2001; Williams & Poon, 2000; Dudar, 2017; Dudar, Shatalov, & Vasyliiev, 2017), питання розвитку методики побудови тактичних діаграм є вкрай важливим і актуальним завданням як для розроблення нових і модернізованих зразків техніки, так і для вирішення конкретних практичних завдань, орієнтованих на підготовку особового складу, що володіє поглибленими знаннями про реальний рівень захищеності бойових машин легкої категорії ваги (БМ ЛКВ). Також адекватні тактичні діаграми можна використати для розроблення тактичних процесорів, що дадуть змогу оперативно вирішувати питання використання особливостей місцевості для підвищення рівня захищеності машин від стрілецької зброї. У роботах (Vasiliev, Shatalov, & Dudar, 2015; Shatalov et al., 2005; Vasiliev et al., 2004; Dudar, 2017; Dudar, Shatalov, & Vasyliiev, 2017) показано, що для цього потрібно врахувати низку факторів, зокрема: особливості місцевості, габарити машини та її геометрію, імовірнісні фактори, внутрішнє обладнання ЛБМ, розташування особового складу. У рамках цієї публікації розглянемо одне із запитань, а саме питання врахування геометрії машини.

Постановка задачі. Як зазначено в роботах (Vasiliev, Shatalov, & Dudar, 2015; Shatalov et al., 2005; Vasiliev et al., 2004; Dudar, 2017; Dudar, Shatalov, & Vasyliiev, 2017), усі наявні варіанти методик оцінки захищеності не враховують місцевість взагалі, а БМ ЛКВ розглядають як матеріальну точку з рядом характеристик, що відповідають за опис бронеплит машини. Характеристиками бронеплит є: матеріал бронеплити, товщина, орієнтація у просторі, щодо системи координат машини. З огляду на те, що геометрія бронелістів БМ ЛКВ є досить складною (рис. 1), виникає питання щодо принципу її опису.



Рис. 1. Загальний вигляд геометрії БТР-80

Інформація про авторів:

Дудар Євген Євгенович, ад'юнкт кафедри ТММіСАПР. Email: d_ee@ukr.net

Шаталов Олег Євгенович, канд. техн. наук, доцент кафедри бронетанкової техніки. Email: shatl-oleg-ua@ukr.net

Васильєв Антон Юрійович, канд. техн. наук, докторант кафедри ТММіСАПР. Email: avasiliev@tmm-sapr.org

Цитування за ДСТУ: Дудар Є. Є., Шаталов О. Є., Васильєв А. Ю. Методика врахування геометрії бойових машин легкої категорії ваги для побудови тактичних діаграм. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(5). С. 139–147.

Citation APA: Dudar, E. E., Shatalov, O. E., & Vasiliev, Yu. V. (2017). The method of taking into account the geometry of lightweight combat vehicles for the construction of tactical diagrams. Scientific Bulletin of UNFU, 27(5), 139–147.

<https://doi.org/10.15421/40270528>

Незважаючи на те, що властивості бронелиста можна вважати стабільними і незмінними, геометрія машини може мати істотний внесок у кінцевий вигляд тактичної діаграми через те, що характеристики пробиття є варіюваними по площі. Треба зазначити, що під час стрільби:

- з однієї точки простору по різних точкам БМ ЛКВ;
- з різних точок простору в одну й ту ж точку БМ ЛКВ;
- у кожній точці будуть відрізнятися значення кута зустрічі і швидкості прильоту, особливо в разі врахування орієнтації корпусу БМ ЛКВ у просторі, відмінної від горизонтальної та різниці висот між положенням точки простору та точок БМ ЛКВ.

У зв'язку із складною геометрією бронелиста і місцевості та великою кількістю контрольних змінних, завдання виведення аналітичної системи рівнянь для кожного листа є дуже складним. Раціональнішим є питання дискретного опису геометрії за допомогою елементарних об'єктів. Подібний підхід використовують при вирішенні задач обчислювальної механіки та газогідродинамики, і дає змогу вивчити вкрай складні фізичні процеси, що відбуваються в дуже складних з геометричної точки зору об'єктах (Vasiliev et al., 2004; Liao et al., 2006; Yu, Du, & Wang, 2005; Zhang & HuJianli, 2001; Williams & Poon, 2000). Такий підхід має істотні переваги. Найістотнішими можна назвати наявність відпрацьованих методик і програмних реалізацій, які можуть істотно спростити процес вирішення завдання, за рахунок наявності інструментів створення геометрії, розроблення дискретизованих моделей і візуалізації отриманих результатів. Однак, при цьому варто зазначити, що все інше – математичну модель, її програмну реалізацію – потрібно розробляти самостійно і стикувати з програмним забезпеченням через наявні у них програмні інтерфейси.

Матеріали та методика дослідження. Основний підхід до математичного моделювання геометрії машини. Для завдання опису геометрії бронелистів з перерахованих раніше типів найбільш підходять "пластинчасто-оболонкові" елементи. За формою вони бувають три- або чотирикутні (за термінологією МСЕ – три- або чотиривузлові). Додатково такі елементи містять інформацію про матеріал та товщину елемента. Це дасть змогу повністю описати геометрію корпусу будь-якої БМ ЛКВ з досить високою точністю. Єдиною проблемою (з точки зору точності) можуть бути об'єкти криволінійної форми (наприклад, гарматні башти (рис. 2)).

Проте такі об'єкти теж можна описати як набір елементів трикутної чи чотирикутної форми. Загалом, геометрія будь-якої БМ ЛКВ є досить складною, для прикладу на рис. 3 показано геометрію бортів БТР-80, що є наближеною до реальності.

З урахуванням того що, відстані, з яких може бути уражено БМ ЛКВ, що стоять на озброєнні ЗСУ, вимірюються у сотнях метрів та кілометрах, не доцільно будувати геометрію корпусу з такими дрібними деталями. Окрім цього, кількість елементів машини лінійно впливає на кількість циклів обчислення та час розрахунку, тож замість максимально точного опису геометрії корпусу доцільнішим є спрощення геометрії корпусу та моделювання його як набору усереднених елементів, що описують основні характерні межі машини, які не мають дрібних елементів. На рис. 4 зображено приклад розрахункової моделі, побудованої для БТР-80, та вже розбитої на 220 елементів.



Рис. 2. Геометрія башт: а) БТР-80; б) БМП-2

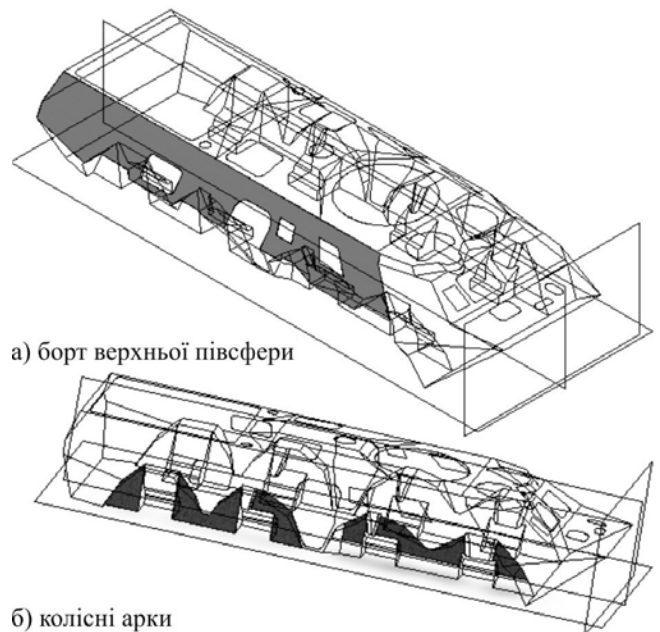


Рис. 3. Геометрія бортів БТР-80

Математична модель БМ ЛКВ складається із двох підмоделей – геометричної та дискретної (сіткової, ґратчастої). Геометрична модель корпусу складається з набору тривимірних плоских поверхонь, обмежених набором прямих лінійних і криволінійних кромки. У загальному випадку кромки можуть бути або вільними – у цьому разі вони описують геометрію отворів у броне пластині, або належати кільком поверхням одночасно (зазвичай двом), у цьому разі кромка найчастіше є зварним швом між різними "проекціями" (бронепластини). Краї повинні проходити через набір вершин.

У кінцевому результаті дискретна модель корпусу БМ ЛКВ виглядає як набір вузлів і елементів (кожен елемент складається з двох або чотирьох вузлів).

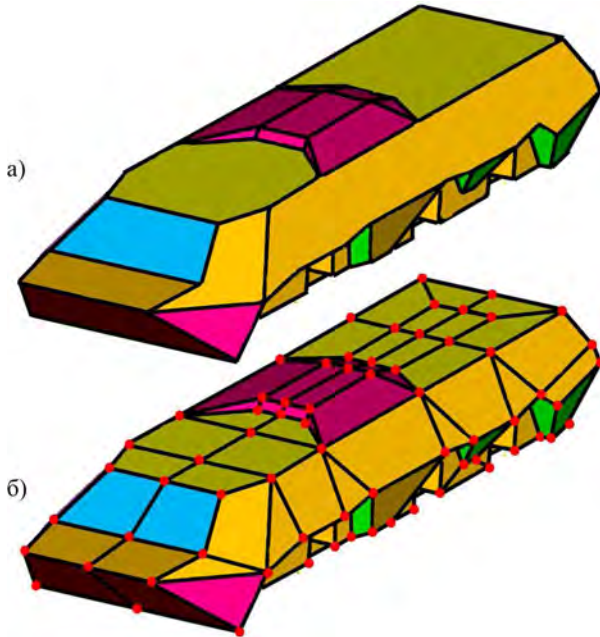


Рис. 4. Геометрія корпусу БТР-80: а) спрощена геометрія; б) розбита на елементи

Нумерація вузлів записується Отже, щоб нормаль елемента збігалася з нормаллю поверхні бронеплити і була спрямована назовні машини.

$$N_{v_i}(x_i, y_i, z_i), i = 1 \dots n, \quad (1)$$

де: N_{v_i} – нормаль i -го елемента у локальній системі координат машини; x_i, y_i, z_i – координати i -го елемента у локальній системі координат машини.

$$E_{v_j}(N_{1j}, N_{2j}, N_{3j}, N_{4j}), j = 1 \dots m, \quad (2)$$

де: E_{v_j} – нормаль i -го елемента у локальній системі координат машини; $N_{ij}, j = \overline{1, m}; i = \overline{1, 4}$ – координати j -го елемента у локальній системі координат машини.

Індекс v у позначенні вузлів і елементів позначає vehicle (машина) і слугує для того, щоб їх можна було відрізнити від вузлів та елементів карти місцевості.

Вузли лежать на кромках і поверхні геометричних елементів машини. Елементи, окрім інформації про належні їм вузли, містять також ряд допоміжної інформації. Усі дані, що пов'язані з елементами, позначені індексами j . Усі дані, що пов'язані з конструктивними властивостями, позначені індексом k , проте кожен з них може варіюватися в окремих межах. На поточний момент для роботи методики потрібна така додаткова інформація, яка позначається як КР (конструктивний параметр):

- KP_{1j} – номер бронеплити (проекції) – NAp_k (Number of Armor Panel) $k=1..K$ (кількість бронепанелей);
- KP_{2j} – матеріали бронепластин чи додаткового бронювання – MA_k – Material Armor $k=1..G$ (кількість бронематеріалів відповідно до загальної бази матеріалів). Зазвичай для корпусу використовують один матеріал для всіх проекцій, проте в деяких випадках це може бути кілька матеріалів. Наприклад, у БМП-1 та БМП-2 використовують бронестал та бронеалюміній, а в сучасних машинах КРЗ – бронесталь та конструкційну сталь. Матеріалами додаткового бронювання можуть бути: сталевий лист, броньова плита, сталева решітка, ящик з піском, ящик із гравієм та ін.;
- Tb_{ij} – початкова (вихідна) товщина кожного з матеріалів бронепластин чи додаткового бронювання – (base Thickness);

- T_{kj} – поточна товщина бронепластини кожного з матеріалів бронепластин чи додаткового бронювання (Thickness).

Отже, інформація для опису машини буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned} N_{v_i}(x_i, y_i, z_i), i = \overline{1, n}; \\ \{N_j\} = \{N_{1j}, N_{2j}, N_{3j}, N_{4j}\}, j = \overline{1, m}; \\ NAp_k, k = \overline{1, K}; MA_k, k = \overline{1, G}; \\ KP_{1j} = NAp_{kj}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, G}; \\ \{KP_{2j}\} = \{MA_{1j}, MA_{2j}, \dots, MA_{kj}\}, j = \overline{1, m}; \\ \{Tb_{kj}\} = \{Tb_{1j}, Tb_{2j}, \dots, Tb_{kj}\}, j = \overline{1, m}; \\ \{T_{kj}\} = \{T_{1j}, T_{2j}, \dots, T_{kj}\}, j = \overline{1, m}; \\ E_{v_j}(\{N_j\}, KP_{1j}, \{KP_{2j}\}, \{Tb_{kj}\}, \{T_{kj}\}), j = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (3)$$

Це дасть змогу описати конструкцію та геометрію бронекорпусу із задовільною точністю. Для того, щоб автоматизувати обчислення тактичних діаграм, потрібно зробити базу даних по машинах, яка буде зберігати всю потрібну інформацію. Через те, що в рамках роботи може виникнути потреба аналізувати вплив проектних чи експлуатаційних модифікацій, для кожної машини та її модифікації і потрібно буде створювати окремі записи в БД. Для спрощення задачі аналізу, окрім інформації щодо параметрів броне корпусу, потрібно включити додатково:

- шифр машини та її модифікації;
- метадані: назва машини; тип машини; ТГХ машини;
- шифр оригіналу (шифр, яким закодована оригінальна конструкція машини без модифікацій);
- належність бронеплит до відповідних проекцій та "півсфер" (верхня/нижня, передня/бокова/задня).

Структуру збереження інформації щодо БМ ЛКВ показано на рис. 14. Окрім базової інформації про геометрію, що наведена вище, для того, щоб в подальшому став можливим процес розміщення БМ ЛКВ на місцевості, потрібно розрахувати додаткову інформацію – координати центрів елементів, нормалі к елементам тощо. Саме це описано далі.

Визначимо центр як O_j , який повинен відповідати елементу E_j . Отже, для елемента E_j :

$$E_j(N_{1j}, N_{2j}, N_{3j}, N_{4j}), j = 1 \dots m,$$

радіус вектор \vec{O}_j з токи 0 (початок СК) до точки обчислюється так:

$$\vec{O}_j = \frac{1}{4}(\vec{N}_{1j} + \vec{N}_{2j} + \vec{N}_{3j} + \vec{N}_{4j}) \text{ або } \vec{O}_j = \frac{1}{3}(\vec{N}_{1j} + \vec{N}_{2j} + \vec{N}_{3j}),$$

для варіанта коли в елемента кількість вузлів дорівнює 4 та 3 відповідно.

Для обчислення вектора нормалі $t(k, l, m)$ площини, заданої трьома точками А, В і С з координатами (Tomusyak & Trokhumenko, 1999)

$$A(x_a, y_a, z_a), B(x_b, y_b, z_b), C(x_c, y_c, z_c),$$

використаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} kx_a + ly_a + mz_a + 1 = 0 \\ kx_b + ly_b + mz_b + 1 = 0 \\ kx_c + ly_c + mz_c + 1 = 0 \end{cases}$$

Беручи до уваги, що окрім трьох вузлових елементів, для опису геометрії машини та місцевості використовують чотирихвузлові елементи, які можуть бути за

формою дещо відмінні від площини, процедура обчислення вектора нормалі буде виглядати так:

Для трьохвузлового елемента E_j :

$$A_j = N_{1j}, B_j = N_{2j}, C_j = N_{2j},$$

- питомий вектор $t_j(k_j, l_j, m_j)$;

- система рівнянь:
$$\begin{cases} k_j x_a + l_j y_a + m_j z_a + 1 = 0 \\ k_j x_b + l_j y_b + m_j z_b + 1 = 0 \\ k_j x_c + l_j y_c + m_j z_c + 1 = 0 \end{cases}$$

Для чотирьохвузлового елемента E_j :

Знаходимо координати центру елемента O_j .

Знаходимо послідовно нормаль для чотирьох площ, що створені на наборах точок: $(O_j, N_{1j}N_{2j}), (O_j, N_{2j}N_{3j}), (O_j, N_{3j}N_{4j}), (O_j, N_{4j}N_{1j})$.

Приймаємо т. $A_{ji} = O_j, B_{ji} = N_{ij}, C_{ji} = N(i+1)j, i = 1 \dots 4$, для $i = 4i + 1$ приймаємо $= 1$.

Для набору точок A_{ji}, B_{ji}, C_{ji} приймаємо координати $A_{ji}(x_a, y_a, z_a), B_{ji}(x_b, y_b, z_b), C_{ji}(x_c, y_c, z_c)$ згідно з п. 3.

Координати нормалі обчислюємо за такою системою рівнянь:

- питомий вектор $t_{ji}(k_{ji}, l_{ji}, m_{ji})$

- система рівнянь
$$\begin{cases} k_{ji}x_a + l_{ji}y_a + m_{ji}z_a + 1 = 0 \\ k_{ji}x_b + l_{ji}y_b + m_{ji}z_b + 1 = 0 \\ k_{ji}x_c + l_{ji}y_c + m_{ji}z_c + 1 = 0 \end{cases}$$
,

де $t_j = \frac{1}{4} \sum_1^4 t_{ji}$.

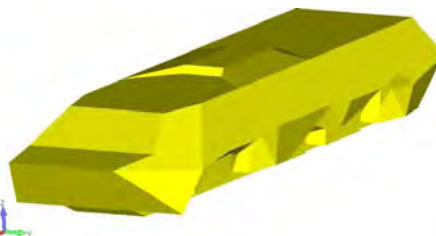
Результати роботи. Геометричні моделі БМ ЛКВ

Для виконання досліджень створено геометричні моделі для чотирьох БМ ЛКВ, що стоять на озброєнні ЗСУ: БТР-80, БТР-3Е, БТР-4, МТ-ЛБ. БМ ЛКВ та геометричні моделі, що побудовані на основі відомостей про геометрію бронекорпусів (рис. 5-8).

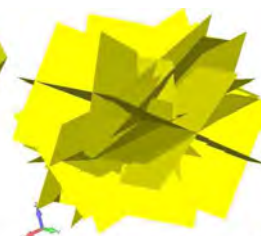
Треба зазначити, що при створенні геометричних моделей було виконано ряд спрощень – не моделювались: вікна, отвори, двері та люки, моделювались тільки основні поверхні бронекорпусу. На рис. 5, в зображено корпус БТР-80 у вигляді, що збігається із представленням за класичними методиками, та методикою, яку запропонував О. Є. Шаталов.



а) реальна машина



б) базова геометрична модель

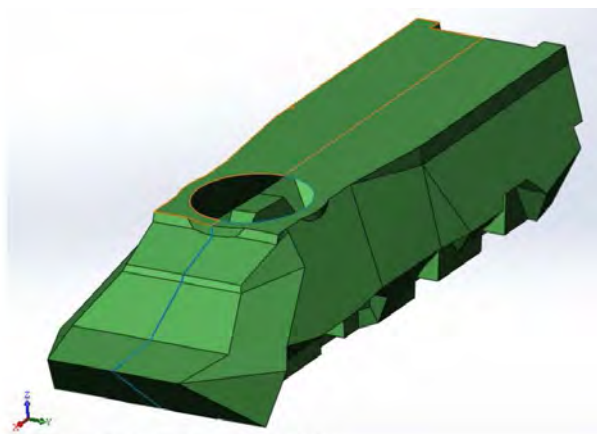


в) спрощена геометрична модель

Рис. 5. Геометрія бронекорпусу БТР-80



а) реальна машина

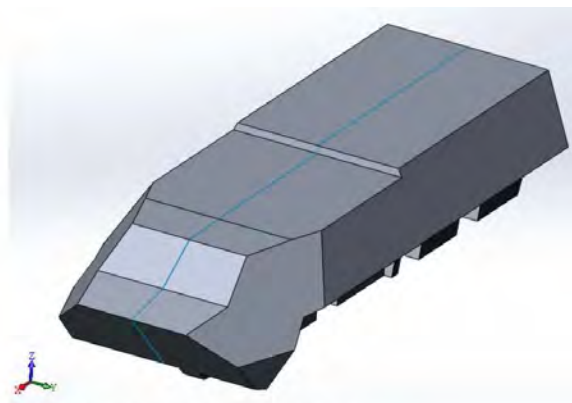


б) базова геометрична модель

Рис. 6. Геометрія бронекорпусу БТР-3



а) реальна машина



б) базова геометрична модель

Рис. 7. Геометрія бронекорпусу БТР-4



а) реальна машина

Рис. 8. Геометрія бронекорпусу МТ-ЛБ

Порівняння геометричних моделей корпусів показано на рис. 9-12. На рис. 9 показано геометричні представлення бронекорпусів БТР-80, що створені за класичною (показано жовтим з точками) та запропонованою методикою у співпадаючих системах координат.



Рис. 9. Порівняння геометрії корпусів БТР-80 за класичною методикою (показано жовтим) та за поточною (темно-сірим)

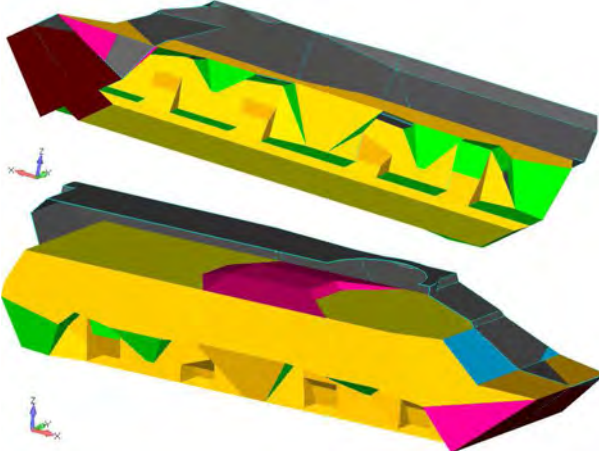
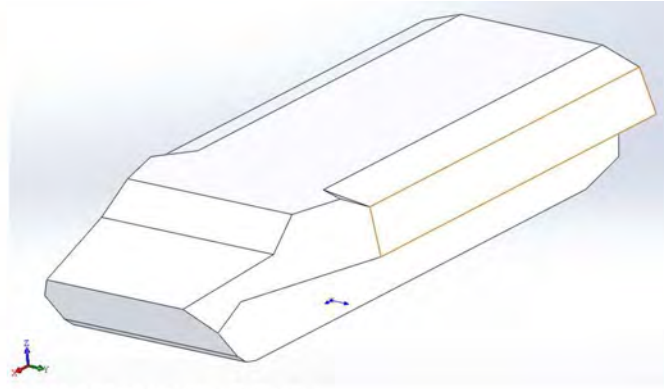


Рис. 10. Порівняння геометрії бронекорпусів БТР-80 та БТР-3Е (показано сірим)

Як видно з рисунків за класичною методикою та методикою, що розробив О. Є. Шаталов (Shatalov et al., 2005), центр бронеплит збігається з початком системи координат машини, геометрія пластин не має значення, важливим є тільки орієнтація пластин у просторі та їх товщина. У класичній методиці стрілець знаходиться в тій же горизонтальній площині, що і центр бронеплити. У методиці О. Є. Шаталова стрілець може знаходитись в будь-якій точці простору, в тому числі вище чи нижче за рівнем, проте машина представлена в якості матеріальної точки, що знаходиться в початковій точці СК машини, та лежить на поверхні землі.

Для того, щоб точніше описати положення машини, в цій роботі центр СК машини знаходиться в геометричному центрі між коліс (чи траків) на поверхні землі



б) базова геометрична модель

(рис. 13). Отже, корпус піднятий на 300-500 мм над землею. Напрямок осей СК машини такий: вісь Ox – вздовж машини, ззаду наперед; вісь Oy – з правого борта на лівий; вісь Oz – вертикально вгору. Це дає змогу точніше моделювати положення машини на місцевості, при суміщенні локальної СК машини, з локальною СК точки місцевості (Dudar, Shatalov, & Vasyliiev, 2017).

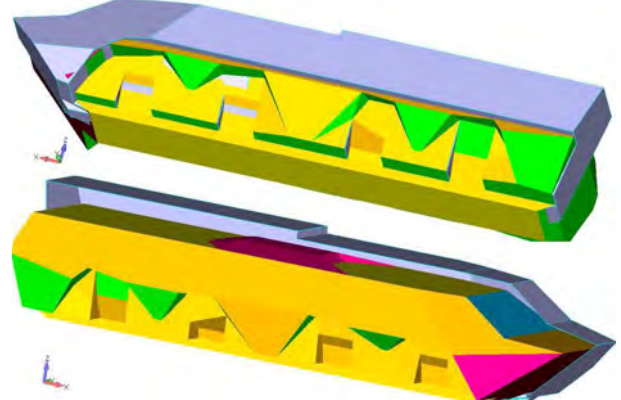


Рис. 11. Порівняння геометрії бронекорпусів БТР-80 та БТР-4 (показано світло-сірим)

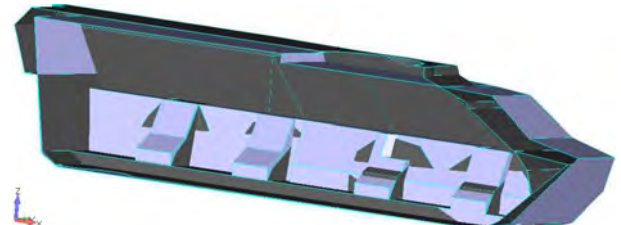


Рис. 12. Порівняння геометрії бронекорпусів БТР-3Е (показано сірим) та БТР-4 (показано світло-сірим)

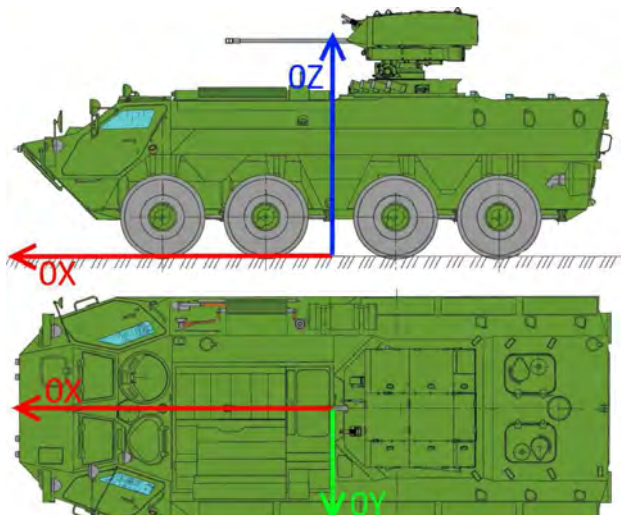


Рис. 13. Положення та орієнтація СК машини

Треба зазначити, що базові геометричні моделі розглянутих машин, що належать до класу БТР, є майже однаковими в нижній частині (нижня проекція). Щодо бокової проекції, то вона також має схожі кути нахилу та положення бронеплит. Проте є істотна різниця у вигляді даху, кормової та передньої проекцій (особливо у БТР-4 відносно БТР-3 та БТР-80).

Також корпус БТР-3 вищий за БТР-80 майже на 30 %, а БТР-4 вищий за БТР-80 на 15,4 %. Корпус БТР-80 вищий за МТ-ЛБ теж на 15 %. Різниця у висоті (без урахування бойових модулів) між найвищою машиною – БТР-3, та найнижчою – МТ-ЛБ, становить 40 %. Такий аналіз доводить, що відсутність точного моделювання геометрії машин може призвести до істотних помилок, що і буде перевірено в подальшому.

Результати роботи. Розрахункові моделі БМ-ЛКВ

Розрахункова модель БМ-ЛКВ (див. рис. 14) створюється на основі її геометричної моделі.

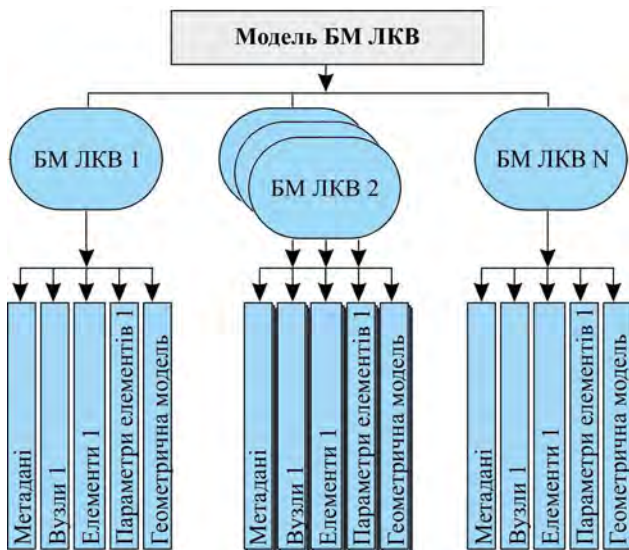


Рис. 14. Структура даних БМ ЛКВ

Методику описання розрахункових моделей наведено в розділі "методика". Окрім тих даних про елементи, що дійсні і для місцевості (центр та нормаль), модель БМ ЛКВ також має інформацію про:

- належність до конкретної бронепроєкції,
- товщину та матеріал основного бронювання,
- наявність, тип і товщину додаткового бронювання.

Табл. Файли, що складають інформаційну модель розрахункової моделі БМ ЛКВ

Назва файлу	Опис
btr-80.afv	Файл з описом моделі БМ ЛКВ (назва довільна)
AFVElemArea.txt	Дані про площину елементів БМ ЛКВ
AFVElemArmor.txt	Інформація про бронювання
AFVElemCenters.txt	Координати центрів елементів
AFVElemNodes.txt	Номери вузлів, з яких складається елемент БМ ЛКВ
AFVElemNorms.txt	Значення нормалей елементів БМ ЛКВ
AFVElemNums.txt	Номери елементів, що описують БМ ЛКВ
AFVElemProp.txt	Номери Бронеплит
AFVNodeNums.txt	Номери вузлів
AFVNodesCoord.txt	Координати вузлів

Файли, що складають інформаційну модель розрахункової моделі БМ ЛКВ, перелічено в таблиці. При розбитті геометричних моделей на дискретні виконувались два правила: найменша з необхідних кількість елементів для опису геометрії, розміри сторін елементів та сусідніх елементів повинні бути співмірними.

На рис. 15 та 16 різні товщини бронепанелей показано різним кольором. Одним кольором показано елементи однієї товщини.

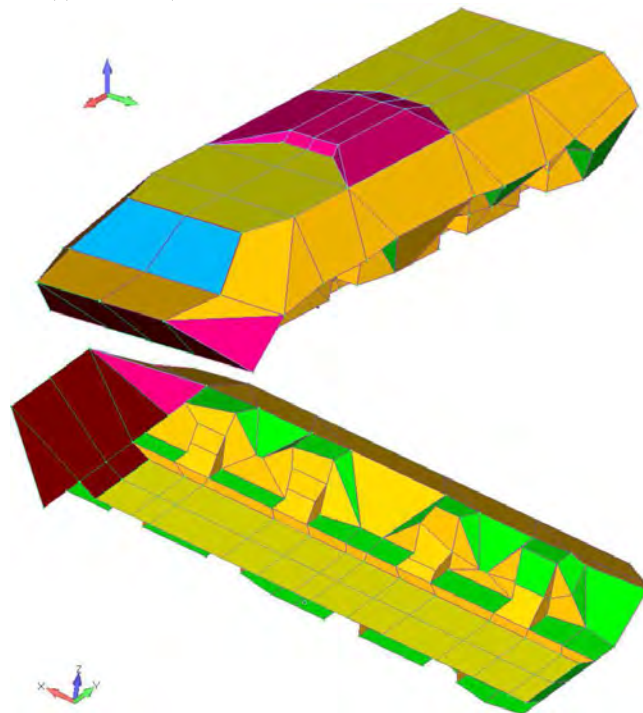


Рис. 15. Розрахункова модель БМ ЛКВ БТР-80

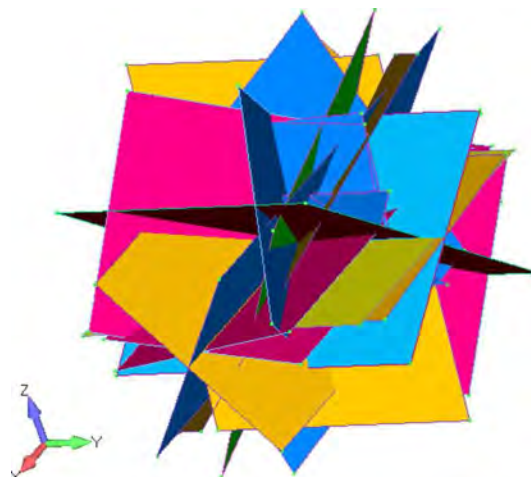


Рис. 16. Розрахункова модель БТР-80 за класичною методикою

Розрахункові моделі БМ ЛКВ БТР-3, БТР-4 та МТ-ЛБ показано на рис. 17-19. Незважаючи на те, що геометричні та розрахункові моделі є спрощеними порівняно з реальним бронекорпусом, у них відображено всі основні елементи бронекорпусу. Так, на рис. 20, на прикладі розрахункової моделі БТР-80, показано елементи бронекорпусу, що не брали до уваги ні в класичних методиках, ні в роботах О. Є. Шаталова та А. В. Літвиненко.

Окрім повних моделей бронекорпусів БМ-ЛКВ загалом, було створено ряд моделей, що дадуть змогу проводити оцінку бронепробиття кожної панелі бронекорпусу окремо (рис. 21-23), та їх комбінацій на основі деяких ознак. Такий підхід дасть змогу простіше вирішувати задачі оцінки рівня бронезахищеності окремих елементів та місць бронекорпусу, які стоять на етапі обґрунтування проектних рішень щодо розроблення нових чи модернізації наявних машин, що буде продемонстровано надалі. Усі такі додаткові моделі створено на основі базової розрахункової моделі БТР-80.

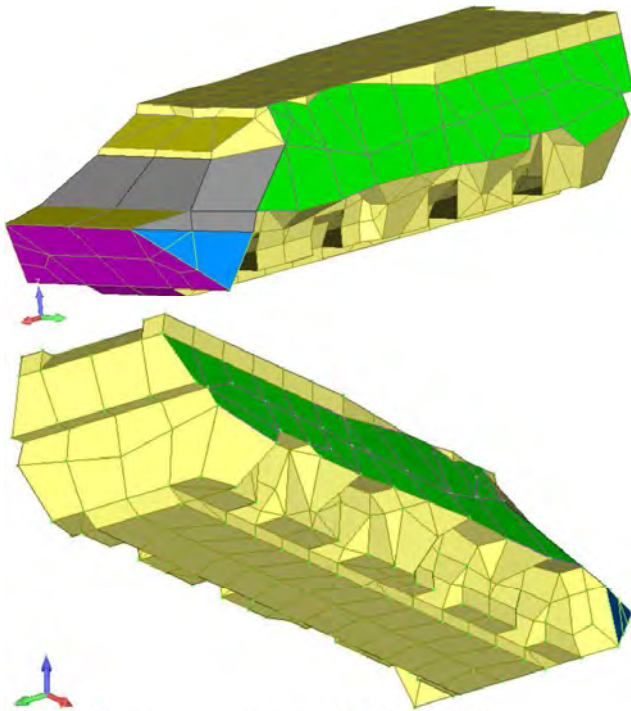


Рис. 17. Розрахункова модель БМ ЛКВ БТР-3

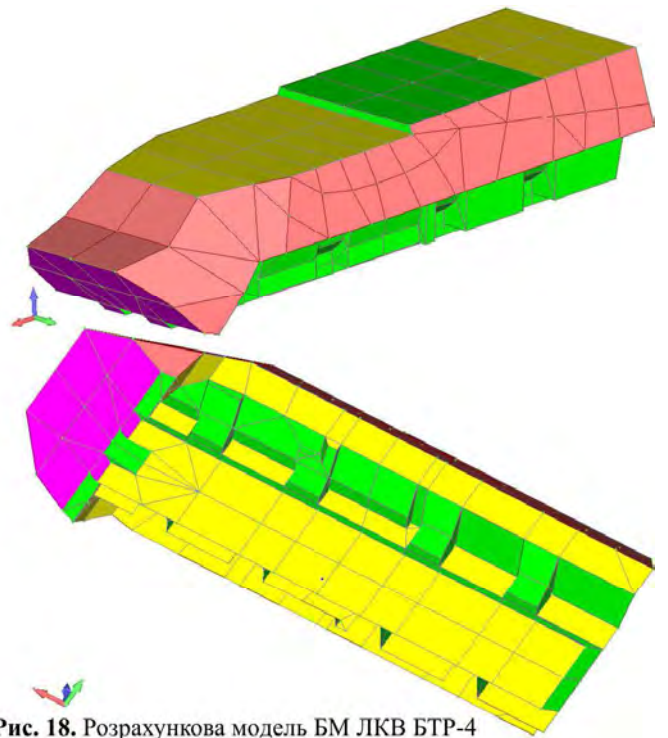


Рис. 18. Розрахункова модель БМ ЛКВ БТР-4

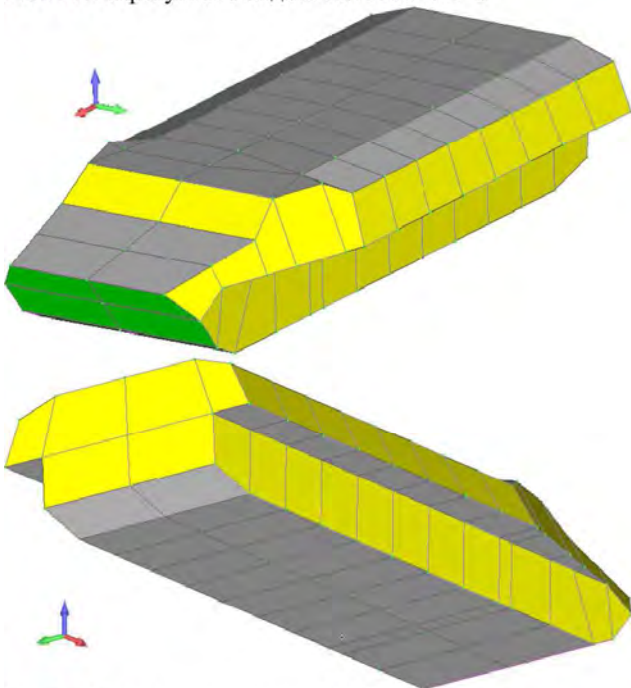


Рис. 19. Розрахункова модель БМ ЛКВ МТ-ЛБ

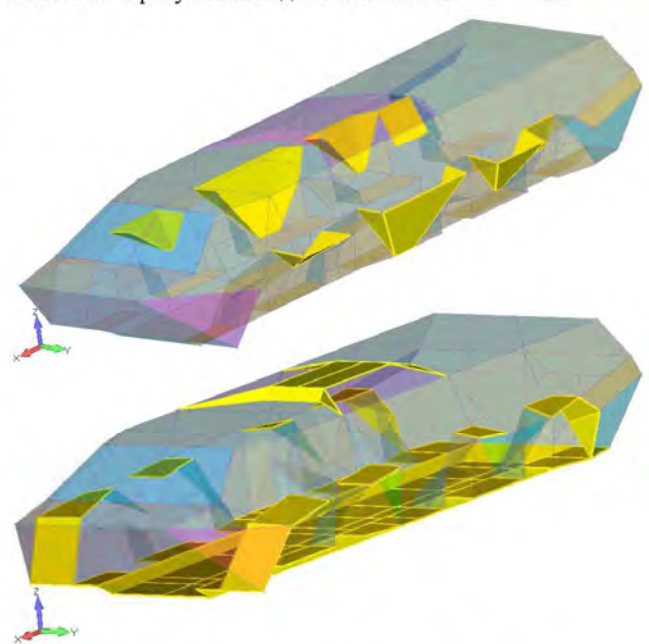


Рис. 20. Елементи бронекорпусу, що не враховано в роботах попередників

Детальніше моделі буде описано в подальших роботах. Усі бронепанелі, яким в роботах О. Є. Шаталова та А. В. Літвиненко було надано індекси, у цій роботі мають ті самі індекси. Наприклад, бронепластина В (рис. 21 (а), (б)), що є верхньою частиною бокової проекції, та представлена трьома моделями: обидва борти (див. рис. 21 (а)) та окремо для лівого (див. рис. 21 (б)) та правого борту чи бронепластина О (див. рис. 21 (в)), яка описує дах. На рис. 21 (г) наведено бронепластили з індексом С для обох бортів. Незважаючи на той же індекс, що і в роботі О. Є. Шаталова, цей бронеелемент включає, окрім вертикальних листів нижньої проекції, ще й колісні ніші, що є *новизною* порівняно з іншими.

Комбінації створено за "логічними" чинниками. На рис. 22 (а) показано повністю всю верхню проекцію або верхню півсферу (згідно із класичною термінологією)

машини БТР-80, на рис. 22 (б), (в) та (г) показано відповідно – нижню проекцію (нижню півсферу), передню проекцію та лівий борт. Через те, що за рахунок змінної орієнтації та відносних висот машини та стрільця до таких проекції потрібно додавати також бронееlementи, що раніше не брали до уваги, що також є *новизною*. Окремо варто зазначити, що відтепер можна проаналізувати не тільки окремі бронеплити чи їх повні збірки, але й окремі частини машини, що можуть бути важливими з погляду живучості машини. Так, на рис. 23 показано бронееlementи БТР-80 навколо механіка водія. Ураження обраних елементів може призвести до ураження механіка-водія і як наслідок – мобільності та рухливості. Що в подальшому може призвести до спрощення задачі знищення БМ ЛКВ вцілому та її особового складу.

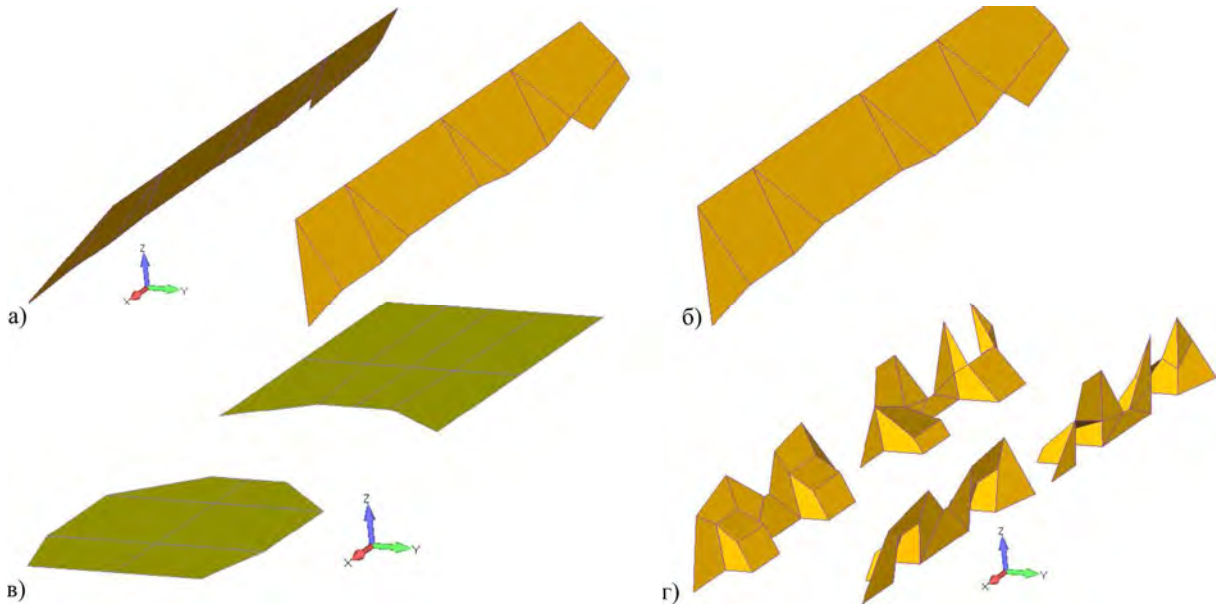


Рис. 21. Приклади моделей, що містять інформацію тільки про окремі бронееlementи: а) бортові бронепластили з індексом В; б) окрема бронепластина з індексом В-Л – бортова, ліва; в) бронепластина, що описує дах, індекс О; г) удосконалені бортові бронепластили з індексом С.

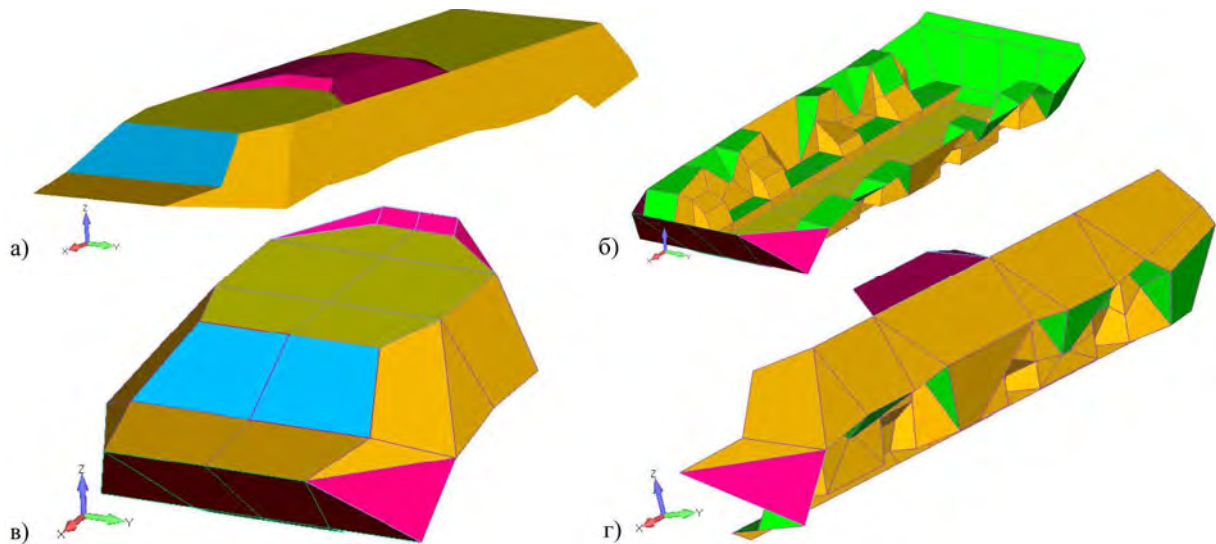


Рис. 22. Приклади комбінованих моделей, що створені на базі основних проєкцій: а) комбінована модель "верхня півсфера", індекс – Top; б) комбінована модель "нижня півсфера", індекс – Bottom; в) комбінована модель "передня проєкція", індекс – Front; г) комбінована модель "лівий бік" індекс – Left

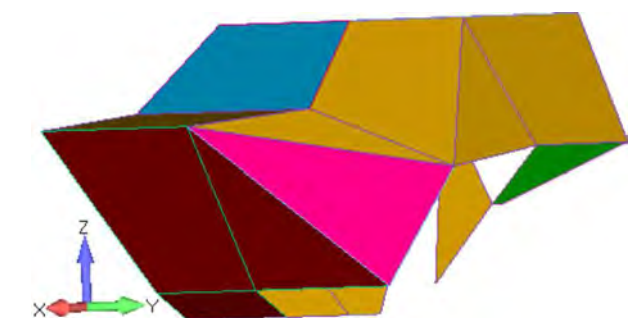


Рис. 23. Комбінована модель навколо місця механіка-водія, індекс – Mechanic

Висновки. У роботі викладено методикку створення та опису геометрії бойових машин легкої категорії ваги для можливості побудови тривимірних тактичних діаграм на місцевості й аналізу рівня їх броньованої захищеності від стрілецької зброї. Врахування геометрії дасть змогу точніше розраховувати кути зустрічі кулі з елементом бронекорпусу з положення стрільця і положення елемента бронекорпусу. Окрім цього, створено

геометричні та розрахункові моделі бронекорпусів БМ ЛКВ, що стоять на озброєнні ЗСУ. Отже, можна безпосередньо перейти до вирішення задачі аналізу захищеності, що і буде продемонстровано в подальших роботах.

Перелік використаних джерел

- Dudar, Ye. Ye. (2017). Metodyka pryiniattia rishennia komandyrom pidrozdilu iz zastosuvanniam suchasnykh metodiv zakhyshchenosti boiovykh mashyn lehkoї katehorii vahu – metod pobudovy tryvymirnykh taktychnykh diahram kulestiikosti dlia BM LKV vid strilets'koї zbroї. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*, 3, 15–20. [in Ukrainian].
- Dudar, Ye. Ye., Shatalov, O. Ye., & Vasyliiev, A. Yu. (2017). Matematyчне modeliuвання heometrii mistsevosti – metodyka modeliuвання heometrii mistsevosti dlia vyrishennia zadach iz pobudovy taktychnykh diahram zakhyshchenosti BM LKV. *Naukovyi visnyk "Bioresursy i pryrodokorystuvannia"*, 9(3-4). [in Ukrainian].
- LIAO, Ri-dong, WANG, Jian, ZUO, Zheng-xing, & FENG, Hui-hua (2006). Application of Finite Element Analysis of Heavy Vehicle Frames. *Vehicle & Power Technology*, 2, 34–39.

- Shatalov, O. E., Larin, A. Yu., Vasilev, A. Yu., Martynenko, A. V., Tkachuk, A. N., & Grabovskiy, A. V. (2005). Matematicheskoe predstavlenie postroeniya trehmernykh takticheskikh diagram s uchedom dvizheniya i izmeneniya orientatsii korpusa bronirovannoy mashyny v prostranstve [Mathematical representation of the construction of three-dimensional tactical diagrams taking into account the movement and changing the orientation in space of the armored vehicle shell]. *Bulletin of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Thematic issue "Computer Science and CAD"*, 53, 152–161. [in Russian].
- Tomusyak, A. A., & Trokhymenko, V. S. (1999). *Matematychnyy analiz* [Mathematical analysis]. Vinnytsya National Pedagogical University Press, 489 p.
- Vasiliev, A. Yu., Malakey, A. N., Peleshko, Ye. V., & Shatalov, O. Ye. (2004). K voprosu integrirovannykh sistem analiza dinamicheskikh protsessov v korpusah transportnykh sredstv spetsialnogo naznacheniya [The question of integrated systems for the analysis of dynamic processes in the hulls of special-purpose vehicles]. *Mechanics and mechanical engineering*, 1, 51–60. [in Russian].
- Vasiliev, A. Yu., Shatalov, O. Ye., & Dudar, Ye. Ye. (2015). Obzor podhodov dopolnitelnogo bronirovaniya legkobronirovannykh mashyn [Overview of the approaches of additional armoring of light armored vehicles]. *Bulletin of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 31(1140), 38–45. [in Russian].
- Williams, K., & Poon, K. A. (2000). *Numerical Analysis of the Effect of Surrogate Anti-Tank Mine Blasts on the M113*. Retrieved from: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA375585>
- YU, Ya-ting, DU, Ping-an, & WANG, Zhen-wei (2005). Research on the current application status of finite element method. *Journal of Machine Design*, 3, 34–39.
- Zhang, Tieshan, & HuJianli, TangYun (2001). Dynamic Finite Element Analysis of Light Vehicle Frame. *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 6, 42–48.

Е. Е. Дударь¹, О. Е. Шаталов¹, А. Ю. Васильев²

¹Национальная академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, г. Львов, Украина
²Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", г. Харьков, Украина

МЕТОДИКА УЧЕТА ГЕОМЕТРИИ БОЕВЫХ МАШИН ЛЕГКОЙ КАТЕГОРИИ ПО МАССЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ ДИАГРАММ

Описан подход к построению геометрических поверхностных и расчетных (дискретных) моделей боевых машин легкой категории веса для дальнейшего использования при построении трехмерных тактических диаграмм, что необходимо для решения задачи анализа уровня защищенности этих боевых машин от стрелкового оружия. Перечислены основные уравнения для расчета основных контролируемых параметров бронекорпуса боевых машин легкой весовой категории, необходимые для дальнейшей работы алгоритма. Приведены результаты геометрического моделирования современных боевых машин легкой весовой категории, стоящих на вооружении Вооруженных Сил Украины. Проведен сравнительный анализ геометрии бронекорпусов различных машин и бронекорпуса БТР-80, созданного по разным методикам. На основе созданных геометрических моделей разработаны расчетные модели, приведены их примеры, для этого предложено использовать алгоритмы и инструментарий метода конечных элементов. Разработанная методика создания и описания моделей бронекорпусов боевых машин легкой категории веса, в совокупности с методикой построения геометрии местности, дает возможность перейти непосредственно к построению трехмерных тактических диаграмм, является направлением дальнейших исследований.

Ключевые слова: геометрическая модель; расчетная модель; метод конечных элементов; боевая машина; трехмерная тактическая диаграмма.

E. E. Dudar¹, O. E. Shatalov¹, Yu. V. Vasiliev²

¹Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine
²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

THE METHOD OF TAKING INTO ACCOUNT THE GEOMETRY OF LIGHTWEIGHT COMBAT VEHICLES FOR THE CONSTRUCTION OF TACTICAL DIAGRAMS

The current work was carried out during the continuation of work on improving the three-dimensional tactical diagrams calculation methodology, and is aimed at describing of the methodology for creating of geometric and computational models of military vehicles armored corps. The paper presents requirements for geometric and computational models, a mathematical and information model for hull of combat vehicles that are in service with the Armed Forces of Ukraine describing, as well as the results of its creating. Also the results of a comparison of the bod hull of BTR-80, BTR-3, BTR-4 vehicles belonging to the same class are given. Comparison of the models of the hulls according to the classical and the proposed method is given. The use of the proposed methodology, mathematical model and developed design models will allow to obtain more accurate results in the construction of three-dimensional tactical diagrams, and, as a consequence, to conduct a more accurate and adequate analysis of the level of protection of lightly armored vehicles from the destruction of small arms. The proposed methodology, in contrast to existing ones, will allow further to take into account the availability of additional reservations and to analyze not only the machine as a whole, but its individual elements and parts, which makes it possible to solve the task of providing the required level of security in a more precise and flexible manner. In conjunction with previously published materials on modeling the geometry of the terrain, accounting for additional reservations, and the principles of determining tactical solutions, you can go directly to the description of the complex mathematical model, which will be published later.

Keywords: geometric model; Calculation model; Finite element method; War machine; Three-dimensional tactical diagram.