

Є. Є. ДУДАР, О. Є. ШАТАЛОВ, А. Ю. ВАСИЛЬЄВ, С. В. КУЦЕНКО

КОМПЛЕКСНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНИХ ТАКТИЧНИХ ДІАГРАМ НА МІСЦЕВОСТІ ТА ЇЇ ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

В роботі наведено методику створення математичної моделі розрахунку інтегральних параметрів захищеності, яка пропонується до застосування для вирішення задач із побудови тактичних діаграм захищеності бойових машин легкої категорії ваги, більш наближених до реальних бойових дій. Під час створення математичних моделей інтегральних параметрів запропоновано крім базового параметру "загальної площі", з якої можливе ураження машини, ввести ряд похідних контрольованих параметрів. Одним з таких параметрів є "мінімальна гарантована" та "максимально можлива відстань", з якої можливо ураження елементів бронекорпусу. Крім того, вперше вводяться параметри: "загальна оцінка небезпеки" та "щільність зони ураження". Такі інтегральні характеристики стосуються конкретного конструктивного рішення для конкретного положення машини на конкретній місцевості. В ході виконання розрахунків використовуються дані про геометрію машин та місцевості. Розроблена комплексна математична модель оцінки захищеності бойових машин легкої категорії ваги від стрілецької зброї та її компоненти. Створено спеціалізований програмно-модельний комплекс "Бузок" орієнтований на проведення легкоброньованих досліджень з оцінки рівня бойових машин легкої категорії ваги від стрілецької зброї калібрів до 14.5-мм включно, з можливістю урахування реальної геометрії корпусу, геометрії місцевості і засобів додаткового бронювання. Виконано ряд розрахунків, метою яких є демонстрація працездатності розробленої методики та створеного на її основі спеціалізованого програмно-модельного комплексу "Бузок".

Ключові слова: геометрична модель, розрахункова модель, бойова машина легкої категорії ваги, тривимірна тактична діаграма, інтегральні параметри, спеціалізований програмно-модельний комплекс, захищеність, математична модель

Е. Е. ДУДАР, О. Е. ШАТАЛОВ, А. Ю. ВАСИЛЬЕВ, С. В. КУЦЕНКО

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ТАКТИЧЕСКИХ ДИАГРАММ НА МЕСТНОСТИ И ЕЕ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В работе приведена методика создания математической модели расчета интегральных параметров защищенности, которая предлагается к применению для решения задач по построению тактических диаграмм защищенности боевых машин легкой категории веса, более приближенных к реальным боевым действиям. При создании математических моделей интегральных параметров предложено кроме базового параметра "общей площади", с которой возможно поражение машины, ввести ряд производных контролируемых параметров. Одним из таких параметров является "минимальное гарантированное" и "максимально возможное расстояние", с которого возможно поражение элементов бронекорпуса. Кроме того, впервые вводятся параметры "общая оценка опасности" и "плотность зоны поражения". Такие интегральные характеристики касаются конкретного конструктивного решения для конкретного положения машины на конкретной местности. В ходе выполнения расчетов используются данные о геометрии машин и местности. Разработана комплексная математическая модель оценки защищенности боевых машин легкой категории веса от стрелкового оружия и его компоненты. Создан специализированный программно-модельный комплекс "Бузок" ориентирован на проведение исследований по оценке уровня боевых машин легкой категории веса от стрелкового оружия калибров до 14.5 мм включительно, с возможностью учета реальной геометрии корпуса, геометрии местности и средств дополнительного бронирования. Выполнен ряд расчетов, целью которых является демонстрация работоспособности разработанной методики и созданного на его основе специализированного программно-модельного комплекса "Бузок".

Ключевые слова: геометрическая модель, расчетная модель, боевая машина легкой категории веса, трехмерная тактическая диаграмма, интегральные параметры, специализированный программно-модельный комплекс, защищенность, математическая модель

Y. DUDAR, O. SHATALOV, A. VASIL'YEV, S. KUTSENKO

COMPLEX MATHEMATICAL MODEL AND SPECIALIZED SOFTWARE FOR THREE-DIMENSIONAL TACTICAL DIAGRAM CHARTING WITH TERRAIN TOPOGRAPHY ACCOUNTING

The method of creating a mathematical model for calculating integral safety parameters is presented. It is proposed to be used for solving tactical diagrams of safety of lightweight combat vehicles more close to real combat operations. When creating mathematical models of integral parameters, in addition to the basic parameter of the "total area" with which the machine can be damaged, it is proposed to introduce a number of derived controlled parameters. One such parameter is the "minimum guaranteed" and "maximum possible distance" with which the armored body elements can be damaged. In addition, for the first time, the parameters "general hazard assessment" and "damage zone density" are introduced. Such integral characteristics, relating to a specific design solution for a particular location of the machine in a specific locality. During the calculation, the data on the geometry of machines and terrain are used. A complex mathematical model for assessing the safety of lightweight combat vehicles from small arms and its components has been developed. The specialized software and model complex "Buzok" is designed to carry out lightly armored studies to assess the level of lightweight combat vehicles from small caliber weapons up to 14.5 mm including, with the possibility of taking into account the real geometry of the hull, the geometry of the terrain and the means of additional reservation. A number of calculations have been performed, the purpose of which is to demonstrate the working capacity of the developed methodology and the "Buzok" specialized software and model complex created on their basis.

Keywords: geometric model, computational model, lightweight war machine, three-dimensional tactical diagram, integral parameters, specialized software-model complex, safety, mathematical model

Вступ. Задача забезпечення достатнього рівня захищеності бойових машин легкої категорії ваги (БМ ЛКВ), що відповідає сучасним вимогам, тактичним прийомам та озброєнню (засобам ураження), є однією з найважливіших для країни, в якій йдуть бойові дії [1, 2]. Вибір раціональних схем основного та додаткового бронювання не є можливим без використання адекватного інструменту аналізу захищеності. Стрілецька зброя входить у список найбільше поширених засобів ураження БМ ЛКВ [3–5], проте класичні методи оцін-

ки захищеності [5–9] показали свою повну неспроможність та неадекватність [10–16]. За останній час в напрямку виправлення цього недоліку найбільші досягнення отримані Шаталовим О.Є. та викладені в його роботах [10–21]. Проте слід зазначити, що в методиці, яка була викладена в роботі Шаталова О.Є. [12] щодо тривимірних тактичних діаграм, інформація про захи-

© Є. Є. Дудар, О. Є. Шаталов,
А. Ю. Васильєв, С. В. Куценко, 2018

шеність представляється у вигляді поверхні, що розділяє простір навколо машини на дві зони – внутрішню, в якій можливе пробиття бронелісти машини при конкретному значенні товщини бронеліста і куті нахилу бронеліста (з урахуванням орієнтації машини в просторі), і зовнішню – з якої пробиття неможливо. Як вже зазначалося [14, 16, 19, 22], такий підхід має деякі недоліки. В першу чергу відсутність можливості врахування геометрії бронепанелі в методиці Шаталова О.Є. призводить до того, що беруться до уваги лише великі бронепанелі. З цієї ж причини в методиці Шаталова О.Є. абсолютно неможливо врахувати, в яку саме частину корпусу чи бронепанелі був здійснений постріл і чи присутнє в цій частині корпусу щось, що вимагає захисту (особовий склад, двигун, бензобак). Таким чином, при вирішенні задачі проектування корпусу БМ ЛКВ для забезпечення необхідного рівня захищеності проектувальник може тільки збільшувати товщину всієї бронепласти в цілому, в тому числі і тих пластин, і тих частин пластин, для яких в реальності в цьому не буде потреби. Як вже зазначалося, це призводить до неможливості розробити раціональні варіанти конструкції, і це призведе або до істотно більшої ваги, або істотно меншої захищеності, або до обох варіантів одразу. Аналогічним чином і рівно з тих же причин, оцінка місцевості за критерієм захищеності/небезпеки, отримана з використанням методики Шаталова О.Є. і за критеріями, запропонованими в цій методиці, є не зовсім коректними.

В рамках даної роботи більш раціонально використовувати інформацію про розрахункові параметри не у вигляді поверхневих об'єктів [11], а у вигляді набору векторів – одновимірних масивів даних, де кожному елементу місцевості, згідно із його номером присвоюється значення розрахункових параметрів або матриць – двовимірних масивів, на основі яких можна зробити растрове зображення [14].

Також необхідно зазначити, що для вирішення завдання проектування БМ ЛКВ та забезпечення необхідного рівня захищеності від стрілецької зброї недостатньо наявності комплексної математичної моделі, наведеної вище. Для автоматизації процесу проведення проектних досліджень необхідно створити спеціалізований програмно-модельний комплекс (СПМК), який реалізує розроблену математичну модель на основі системного підходу, запропонованого в роботах [12, 14, 23, 24], присвячених проектуванню та дослідженню бронетанкової техніки. Розроблений СПМК базується на об'єднанні переваг спеціалізованих та універсальних програмних модулів в єдиному продукті.

Постановка задачі. За аналогією з методикою, викладеною в роботах Шаталова О.Є. [11, 12], в поточній методиці буде використовуватися кілька різних систем координат. В якості глобальної системи координат виступає система координат, поєднана з системою координат, в якій описана геометрія місцевості [10]. Процедура розрахунку компонент бронепробиття складається з наступних етапів: обчислення координат і нормалей бронеелемента, обчислення позиції стрільця (координата + висота стрільця), обчислення дальності

та параметрів польоту кулі (швидкості прильоту та енергії), обчислення куту зустрічі з бронеелементом, обчислення параметрів бронепробиття основного бронювання з урахування куту зустрічі та товщини (швидкість, необхідна для пробиття), обчислення параметрів бронепробиття додаткового бронювання з урахуванням куту зустрічі та товщини (швидкість, що необхідна для пробиття), обчислення інтегральних параметрів бронепробиття (сума швидкостей), порівняння швидкості прильоту та сумарної швидкості, необхідної для пробиття.

Основним завданням розроблюваного програмно-модельного комплексу є побудова тактичних діаграм для оцінки рівня захищеності з урахуванням всіх важливих нюансів, що були описані раніше. Для цього СПМК повинен мати можливості щодо зберігання геометричних та дискретних моделей БМ ЛКВ, моделей місцевості та інформації про розрахунки і аналізи. У якості інформації про розрахунки виступає набір вхідних параметрів і результати розрахунку. В якості аналізів виступають порівняння і результати обробки отриманих раніше розрахунків. Вихідними даними є моделі місцевості і машин, положення машини на місцевості.

В ході розрахунків також вирішуються завдання:

- обчислення параметрів польоту кулі;
- визначення параметрів зустрічі кулі з елементами бронювання;
- обчислення швидкості, необхідної для пробиття бронювання;
- обчислення основних, допоміжних і інтегральних параметрів;
- збереження обчислених параметрів і результатів розрахунків.

Крім безпосередньо розрахунків, спеціалізований програмно-модельний комплекс повинен вирішувати такі завдання:

- створення геометричних моделей БМ ЛКВ;
- створення дискретних моделей БМ ЛКВ;
- створення дискретних моделей місцевості;
- візуалізація отриманих результатів розрахунків;
- зберігання моделей і результатів розрахунку.

Таким чином, розроблюваний програмно-модельний комплекс включатиме в себе низку інструментів для створення та побудови математичних комп'ютерних моделей місцевості та техніки, а також аналізу рівня захищеності, спираючись на вхідні дані. Підходи до математичного моделювання місцевості та геометрії машин більш детально наведені в роботах [14, 15]. Комплексна математична модель створена на об'єднанні перелічених раніше математичних моделей та математичної моделі розрахунку інтегральних параметрів захищеності, які будуть наведені далі.

Математична модель розрахунку інтегральних параметрів захищеності. Для обчислення основних параметрів захищеності використовується наступний алгоритм, що показаний на рис. 1. В ході виконання розрахунків використовуються дані про геометрію

машин та місцевості. Такі дані за допомогою підходів, описаних в [10–21], проходять первинну обробку, та на їх основі за допомогою методів щодо переносу та повороту координат та векторів, обчислюються параметри зустрічі кулі та броні (швидкість та кут зустрічі), параметри бронепробиття (швидкість, необхідна для пробиття, факт наявності пробою) тощо. Це дозволяє отримати результати у вигляді набору векторів – одно-вимірних масивів даних, де кожному елементу місцевості згідно із його номером присвоєне значення розрахункових параметрів (мінімальна та максимальна швидкість пробиття, факт наявності пробою, дальність, швидкість прильоту тощо). Для більш зручного представлення та візуального сприйняття в подальшому такі одновимірні вектори перетворюються на двовимірні матриці (двовимірні масиви), що в подальшому конвертуються у растрове зображення тієї ж роздільної здатності та розміру, що і первинне зображення рельєфу місцевості. Для більш наочного сприйняття та можливості комбінації таких зображень з тактичними картами, растрове зображення може бути змінено за розміром шляхом масштабування. В подальшому це дозволяє показати розраховані безпечні та небезпечні зони безпосередньо на тактичній карті (рис. 2).

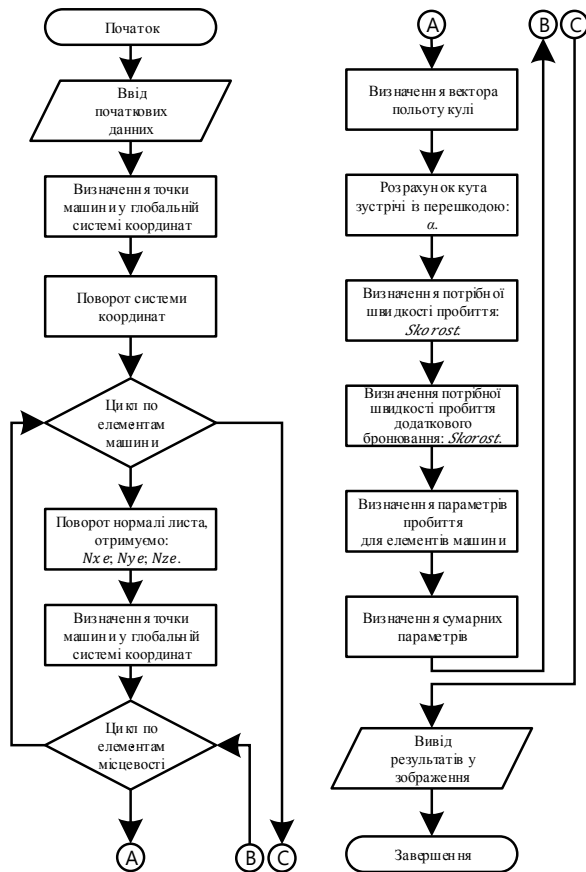


Рис. 1 – Алгоритм розрахунків

Проте слід зазначити, що суто візуальний аналіз тактичних діаграм підходить для вирішення тактичних задач, але не є прийнятним при вирішенні задач проектування. Для спрощення постановки задачі аналізу та

синтезу бойових машин легкої категорії ваги за критерієм захищеності пропонується ввести ряд *інтегральних характеристик*, що будуть обчислюватись на основі розрахунку тактичної діаграми всієї території. Слід зазначити, що такі інтегральні характеристики стосуються конкретного конструктивного рішення для конкретного положення машини на конкретній місцевості. Одним з таких може бути, наприклад, *загальна площа, з якої можливе ураження машини* (A_d – Defeat zone Area), рис. 2. Також в рамках поточної роботи крім базового параметру, що контролює пробиття/непробиття, пропонується ввести ряд *похідних контрольованих параметрів*, що відсутні в роботах попередніх авторів. Одним з таких параметрів є *мінімальна гарантована та максимальна можлива відстань*, з якої можливо ураження елементів бронекорпусу (в подальшому мінімальна та максимальна відстань – R_{min} , R_{max}), рис. 3.

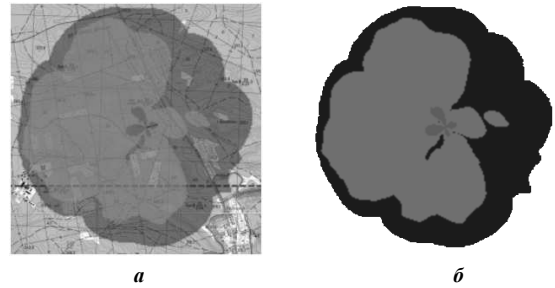


Рис. 2 – Розрахунок загальної зони, з якої можливе ураження БТР-80 на карті Яворів 5:
а – відображення розрахованих площин на карті;
б – без карти

Крім того, вперше вводяться параметри: *загальна оцінка небезпеки* ($H(r)$ – hazard) та *щільність зони ураження* ($D(r)$ – density). Обидва параметри є інтегральними. Перший – це сума площ усіх елементів, з яких можливо ураження на дальності, більшій за питому, рис. 4. Другий – це відношення площі ураження на дистанції з радіусом, меншим r , до площі кола з радіусом r (рис. 5):

$$R_{min} \leq r \leq R_{max}; A_d = \left(\sum_{i=1}^N D_i \right) \times A_S;$$

$$D_i = \begin{cases} 0 & \text{– відсутність пробиття;} \\ 1 & \text{– наявність пробиття,} \end{cases}$$

де D_i – значення функції ураження (defeat) для елементів з номерами, N – кількість елементів, а A_S – площа елемента;

$$R_{min} = \min L_i \text{ для усіх } D_i = 0;$$

де L_i – відстань від машини до i елемента місцевості;

d_{y_i} – ураження з i елемента місцевості;

$$D_i = \begin{cases} 0, & \text{якщо усі } d_{y_i} = 0; \\ 1, & \text{якщо є } d_{y_i} = 1; \end{cases}$$

$$R_{max} = L_i \text{ для усіх } D_i = 1;$$

$$H_r = \left(\sum_{i=1}^N D_i \right) \times A_S \text{ для усіх } L_i \geq r;$$

$$D_r = \frac{\left(\sum_{i=1}^N D_i \right) \times A_S}{2\pi r} \quad L_i \leq r;$$

$$D_r = (A_d - H_r) / \pi r^2 ,$$

Крім того, можна ввести два інтегральних параметри – ймовірність ураження на конкретній відстані ($P_d(r)$ – defeat probability), та похідні від цього параметру – максимальна ймовірність на відстані, більшій за питому ($P_m(r)$ – max defeat probability) та середньостатистичні ймовірності ураження для відстані, більшій за питому ($P_s(r)$ – defeat probability statistic).

На рис. 2–7 показані графічні пояснення до описаних вище інтегральних параметрів. Усі рисунки зроблені на основі одного розрахунку. В якості машини виступає класичний БТР-80 з товщинами, близькими до реальних; місцевість – Yavoriv5 [14]; діаграми пробиття на основі формули Жакоб де Марра; БМ ЛКВ розміщена у точці 86724 із координатами 50,0895 пн.ш. й 23,6176 сх.д. На рис. 2 показні загальні зони уражень для усіх калібрів.



Рис. 3 – Діаграми ураження БТР-80 для окремих калібрів:

a – калібр 7.62 мм; *b* – калібр 12.7 мм; *v* – калібр 14.5 мм

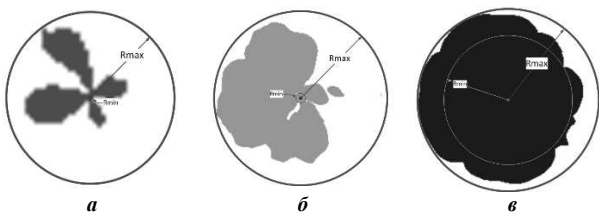


Рис. 4 – R_{\min} та R_{\max} БТР-80 для калібрів:

a – калібр 7.62 мм; *b* – калібр 12.7 мм; *v* – калібр 14.5 мм

На рис. 3 показані усі три зони окремо. Такі зони є графічним варіантом інтегрального параметру A_d . Усі зони показані в різних масштабах. Інтегральні параметри A_d досягають значень 99 701.5 м², 4 569 534.9 м², 7 956 894.4 м² відповідно для калібрів 7.62, 12.7 і 14.5 мм (для даного розрахункового випадку). Видно, що зі зростанням калібру значно зростає площа ураження. Площа ураження калібром 7.62 мм та більшими відрізняється на порядки, проте між 12.7 мм та 14.5 мм різниця досягає разів, але не порядків.

На рис. 4 показані інтегральні характеристики R_{\min} (максимальна гарантована відстань ураження, мінімальна безпечна відстань) та R_{\max} – максимальна відстань можливого ураження. Видно, що для калібру 7.62 мм

R_{\min} може досягати майже нуля. Це означає, що навіть при стрільбі практично впритул є точки навколо машини, з яких можна її не пробити. Для калібрів 12.7 мм та 14.5 мм таке можливо тільки в випадках дуже пересічної місцевості. Мінімальна безпечна відстань (R_{\min}) складає 17, 82 та 1306 м відповідно для калібрів 7.62 мм, 12.7 мм і 14.5 мм. Максимальна відстань можливого ураження (R_{\max}) складає 350, 1810 та 1851 м відповідно для калібрів 7.62 мм, 12.7 мм і 14.5 мм. Це справедливо лише для даного розрахункового випадку, проте порядок значень залежить в більшості від рівня захищеності машини та типу місцевості.

На рис. 5 показаний вид діаграми, що відображає ймовірність ураження бойових машин легкої категорії ваги на відстані r (для кожного калібру відстань вибрана різною з точки зору наочності діаграми). Пунктирним показані зони, які попадають в зону ураження, чорним – які попали в безпечну зону. Відношення сумарних довжин дуг, що попали до зон ураження по відношенню до довжини кола за радіусом r , складає ймовірність ураження на цій відстані. Ймовірність складає 100/360, 280/360, 300/360 відповідно для калібрів 7.62 мм, 12.7 мм і 14.5 мм. Це справедливо лише для даного розрахункового випадку. Така ймовірність дуже сильно залежить від усіх параметрів – геометрія корпусу, карта бронювання, положення та орієнтація БМ ЛКВ, ландшафт навколо машини.

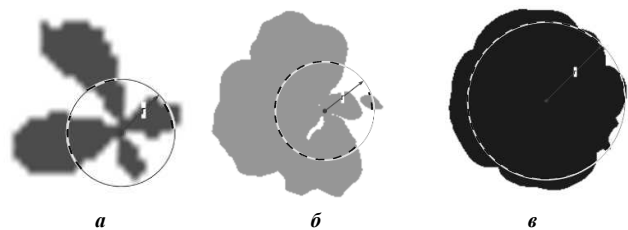


Рис. 5 – Ймовірність ураження БТР-80 на відстані, рівній радіусу r :

a – калібр 7.62 мм; *b* – калібр 12.7 мм; *v* – калібр 14.5 мм

На рис. 6 показаний графічний варіант інтегрального показника $H(r)$ (для тієї ж відстані r , що і на рис. 5 (попередній)), а на рис. 7 – графічний вигляд інтегрального параметру $D(r)$.

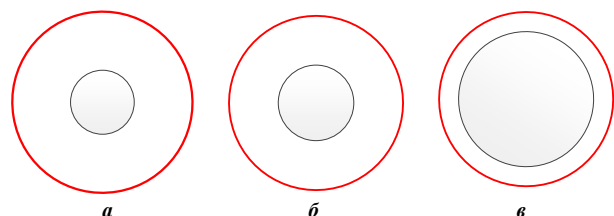


Рис. 6 – Розрахункова сума площ ймовірності ураження БТР-80 за межами радіусу r :

a – калібр 7.62 мм; *b* – калібр 12.7 мм; *v* – калібр 14.5 мм

Розроблена комплексна математична модель оцінки захищеності бойових машин легкої категорії ваги від стрілецької зброї та її компоненти використовувалися при створенні спеціалізованого програмно-модельного комплексу, функціонал якого буде описаний далі.

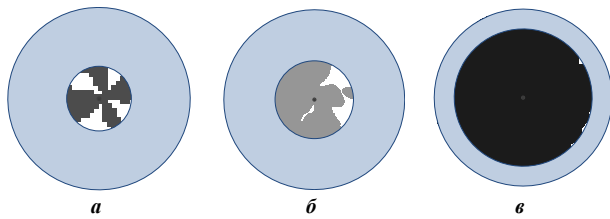


Рис. 7 – Розрахункова сума площ ймовірності ураження БТР-80 з відстаней, менших радіусу r :
 a – калібр 7.62 мм; b – калібр 12.7 мм; v – калібр 14.5 мм

Структура спеціалізованого програмно-модельного комплексу. Згідно до завдань, описаних в постановці задачі, раціональним є підхід, за яким буде створено три спеціалізовані програми: СПМК "Бузок", що орієнтований на розрахунок та візуалізацію тактичних діаграм; СПК "Модуль", що перетворює скінченно-елементні моделі БМ ЛКВ, створені в Femar, у вигляд, прийнятний для СПМК "Бузок"; СПК "Земля", що перетворює супутникові знімки висот місцевості до вигляду, прийнятного для СПМК "Бузок" (рис. 8). Че-

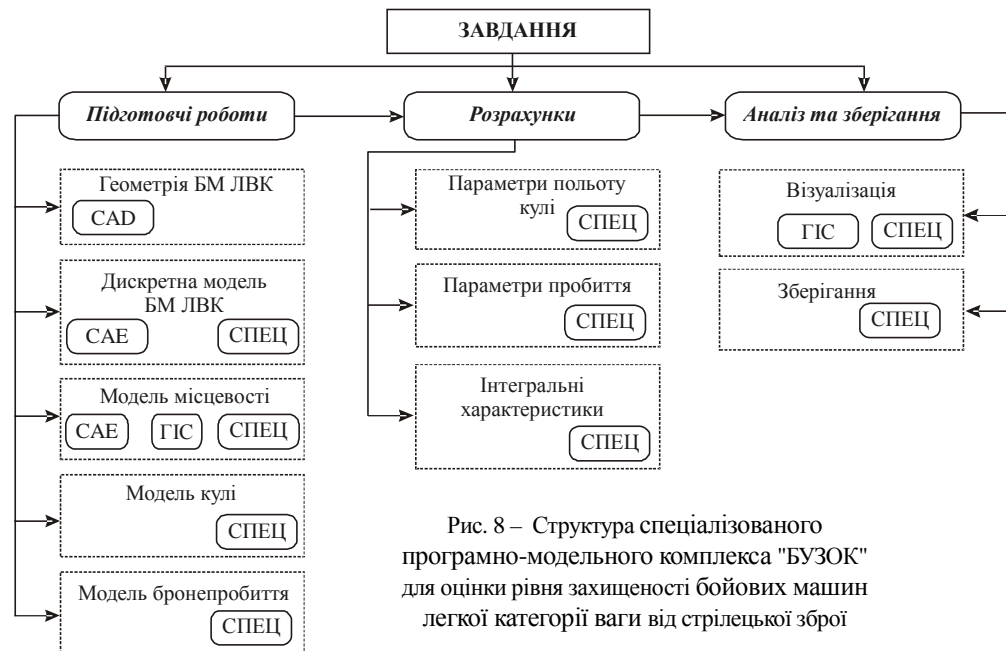


Рис. 8 – Структура спеціалізованого програмно-модельного комплексу "БУЗОК" для оцінки рівня захищеності бойових машин легкої категорії ваги від стрілецької зброї

Спеціалізований програмно-модельний комплекс "Бузок" v0.98 розроблений для демонстрації принципів роботи методики та розробленого комплексного математичного апарату побудови тривимірних тактичних діаграм (3D ТД, 3ДТД). СПМК орієнтований на вирішення задач проектування бойових машин легкої категорії ваги та планування тактики дій з оцінки кулестійкості від стрілецької зброї. З точки зору проектування, спеціалізований програмно-модельний комплекс дозволяє здійснити оцінку змін в рівні захищеності БМ ЛКВ в залежності від параметрів геометрії корпусу (геометрії бронепластин, кутів нахилу), карти товщин, типу броні. З точки зору тактики, СПМК дозволяє в залежності від рельєфу місцевості, типу та положення машини (з орієнтацією включ-

рез те, що СПК "Модуль" та "Земля" є лише допоміжними і створені лише для первинної обробки інформації про моделі, надалі мова буде йти в першу чергу про СПМК "Бузок", що є основним при створенні тривимірних тактичних діаграм.

В якості набору вхідних параметрів виступають:

- тип дискретної моделі БМ ЛКВ;
- параметри бронювання для дискретної моделі;
- матеріали основного типу бронювання;
- карта розподілу товщини і матеріалів основного бронювання;
- типи додаткового бронювання;
- карта розподілу параметрів додаткового бронювання;
- тип карти місцевості;
- положення машини;
- орієнтація машини.

но) визначити на даній геометрії місцевості небезпечні для машини зони від стрілецької зброї калібрів 7.62-мм, 12.7-мм та 14.5-мм. СПМК складається з програмної оболонки, яка реалізує алгоритм та математичну модель, що були закладені в методику тривимірних тактичних діаграм і моделей даних, що містять необхідну для роботи програми інформацію: моделі місцевості, моделі бойових машин легкої категорії ваги, моделі польоту кулі, моделі бронепробиття. Усі моделі складаються з наборів текстових файлів з даними і структурою, що надані в необхідному вигляді.

СПМК "Бузок" v.0.98 розроблений таким чином, що в його базу даних можна закласти будь-

які реальні і можливі моделі бронепробиття як основного так і додаткового бронювання. Для прикладу у СПМК закладена модель кулестійкості бронесталі від куль типу БЗ2, за допомогою коефіцієнтів поліномів на основі спрощених формул Жакоб де-Марра. Як було зазначено вище, дані про бронепробиття та кулестійкість бронесталей, що використовуються при виготовленні сучасних зразків бойових машин легкої категорії ваги, відсутні, через те що такі дослідження не проводились, через їх коштовність та складність. Тому можна лише використати масштабні коефіцієнти, що були отримані на основі проведених в ході досліджень експериментів.

Програмна оболонка спеціалізованого програмно-моделного комплексу. Модулі обчислення написані на мові Visual Basic.Net, для створення геометричних моделей пропонується використовувати універсальні CAD системи, а для створення дискретних моделей – універсальні CAE. В рамках даної роботи використовуються SolidWorks (CAD) і Siemens Femap (CAE).

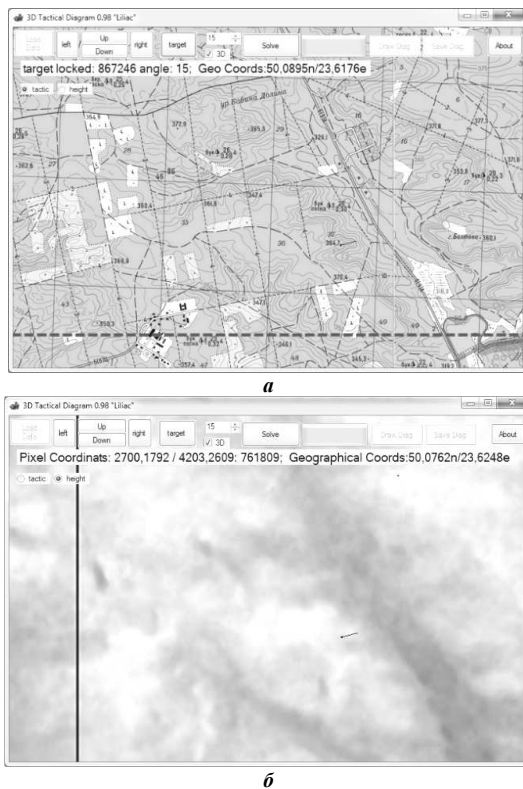


Рис 9 – Інтерфейс СПМК "Бузок" при захопленій цілі та відображенні:
а – тактичної карти; б – карти висот

Для запуску програмної оболонки СПМК "Бузок" необхідно запустити файл, що виконується: 3dtd.exe. Програма написана для операційного середовища Windows. Перевірка працездатності відбувалася на версіях Windows 7 і вище.

Загальний вигляд оболонки СПМК "Бузок" версії 0.98.5 (надалі "оболонки" чи СПМК) до завантаження даних показаний на рис. 9. На рис. 9 показана оболонка з завантаженими даними та вказаною ціллю при відобра-

жені тактичної карти (рис. 9, а) та карти висот (рис. 9, б). На рис. 10 показаний СПМК з відображеною тактичною діаграмою, що була отримана в ході розрахунку моделі БМ ЛКВ з індексом "btr-80-real-full" на місцевості "Yavoriv5". На рис. 10 показані одночасно ТТД для калібрів 7.62-мм (а), 12.7-мм (б) та 14.5-мм (в) відповідно. В якості системного роздільвача цілої та дробної частини виступає "," ("кома").

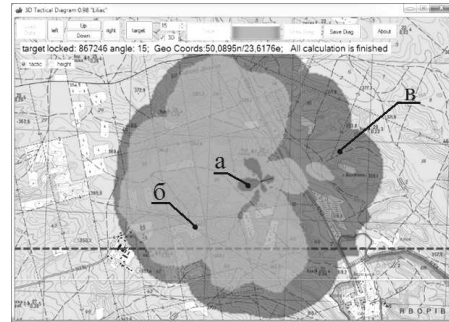


Рис 10 – Інтерфейс СПМК "Бузок" з відображеними результатами розрахунку ТТД

Розрахунки для номерів 1–7 виконані в точці 642593 (координати: 50.0612 п.ш., 23.5202 с.д.) з орієнтацією машини 90°.

Перевірка працездатності розробленої методики, комплексної математичної моделі та створеного на їх основі СПМК "Бузок" виконується на прикладі бойових машин легкої категорії ваги БТР-80. Для цього виконано серію розрахунків в яких поступово долучається врахування окремих факторів, що впливають на вигляд тактичних діаграм. За наявності результатів розрахунку тактичних діаграм отриманих на основі аналогічних (з точки зору врахування/неврахування факторів) спрощених методик – проводиться порівняння результатів. Наприкінці дається комплексний аналіз впливу зазначених факторів на результати. В табл. 1 перелічені проведені розрахунки та їх параметри.

Таблиця 1 – Зведена таблиця результатів

№ з/п	Розрахункова модель (індекс)	Товщини (індекс)	Модель бронепробиття (індекс)	Місцевість (індекс)	Додаткова висота, м
1	BTR-80 Classic	mono	jdm	2d	0
2	BTR-80 Classic	Real	jdm	2d	0
3	BTR-80 Classic	Real	jdm	2d	-150
4	BTR-80 Classic	Real	jdm	3d	0
5	BTR-80 Full	real	jdm	3d	0
6	BTR-80 Full	mono	jdm	2d	0
7	BTR-80 Full	real	jdm	2d	0

Із результатів розрахунків, виконаних за допомогою СПМК "Бузок" (рис. 11–16), можна впевнитись, що тактичні діаграми, які побудовані зі спрощеннями, співпадають якісно та кількісно з діаграмами, отриманими за допомогою відповідних методик, що були розроблені раніше. Наявність змін

у тактичних діаграмах та їх характер співпадають з тим, що ТТД, отримані в СПМК "Бузок" при врахуванні всіх факторів, що були закладені в комплексну математичну модель та у СПМК, краще відповідають реаліям сучасності.

Таким чином, розроблені методика, математична модель та спеціалізований програмно-модельний

комплекс є працездатними та більш достовірними у порівнянні з існуючими, і залишається лише задача опису використання розробленого інструментарію для вирішення задач проектування бойових машин легкої категорії ваги та тактичних задач, що і буде продемонстровано в подальших роботах.

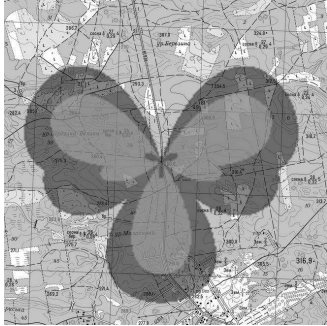


Рис. 11 – Розрахунок № 1

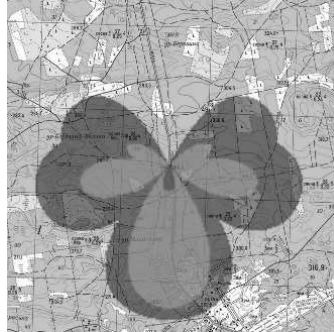


Рис. 12 – Розрахунок № 2

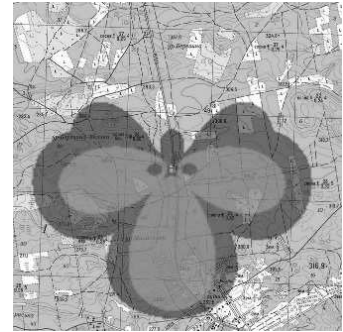


Рис. 13 – Розрахунок № 3

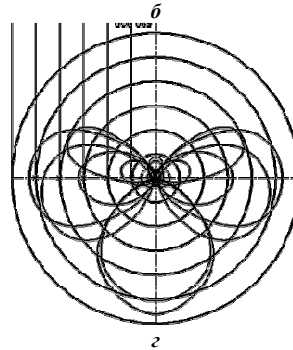
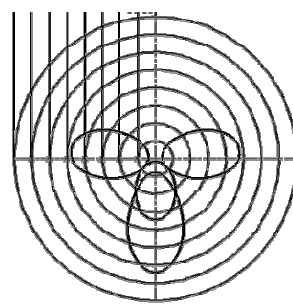
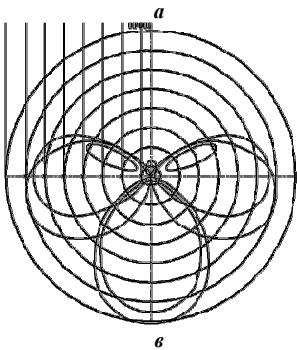
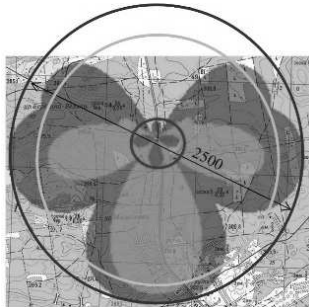


Рис. 14 – Порівняння результатів ЗДТД отриманих за допомогою:
 а – "Бузок" для калібрів 7.62 мм, 12.7 мм, 14.5мм та "Скорпіон",
 б – 7.62, в – 12.7, г – 14.5

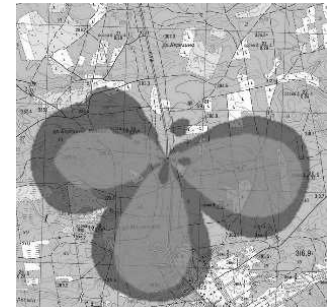


Рис. 15 – Розрахунок №4

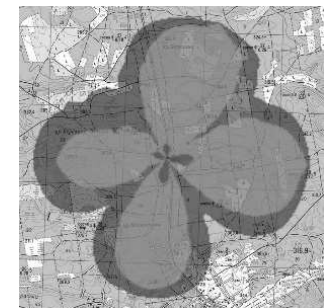


Рис. 16 – Розрахунок №5

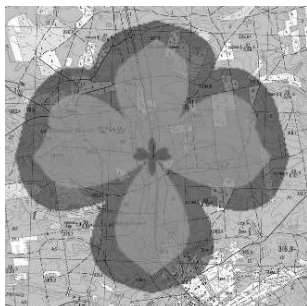


Рис. 17 – Розрахунок №6

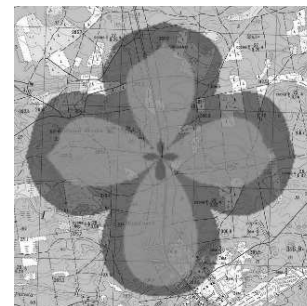


Рис. 18 – Розрахунок № 7

Висновки. Розроблений спеціалізований програмно-модельний комплекс "Бузок" орієнтований на проведення досліджень з оцінки рівня БМ ЛКВ від

стрілецької зброї калібрів до 14.5 мм включно, з можливістю урахування реальної геометрії корпусу, геометрії місцевості і засобів додаткового бронювання. Слід зазначити, що подібні можливості реалізовані вперше.

Комплекс може бути використаний для створення 3D моделей корпусів (геометричних і дискретних) і 3D карт місцевості. Вперше для задач оцінки рівня захищеності броні при створенні карт місцевості використовуються не застарілі топографічні карти, а дані супутникових знімків. Також вперше сама діаграма захищеності будується безпосередньо на місцевості з урахуванням всіх її особливостей та конкретного положення машини, а серед параметрів захищеності, що розраховуються в ході роботи СПМК, враховується сумарна площа пробиття, а також ряд інших інтегральних та похідних характеристик.

В ході оцінки працездатності створеного СПМК "Бузок" можна зробити наступні висновки:

1. Розроблений в рамках проведених досліджень спеціалізований програмно-модельний комплекс орієнтований на автоматизацію проектних робіт, спрямованих на вирішення завдання забезпечення необхідного рівня захищеності легкоброньованих машин як однієї з основних компонент тактико-технічних характеристик.

2. Розроблений спеціалізований програмно-модельний комплекс дозволяє вирішувати завдання вибору необхідних параметрів як для елементів основного захисту, так і для елементів додаткового захисту. Що може бути використано не тільки для проектування нових зразків військової техніки, а й для вибору раціональних схем розміщення додаткового бронювання на вже існуючих машинах, що дозволить вирішити задачу підвищення і забезпечення необхідного рівня захисту від стрілецького озброєння для машин, які вже знаходяться в експлуатації.

Список літератури

- <https://hromadskeradio.org/news/2017/07/14/ukrayinskyh-biyevy-bilya-maryinky-obstrilyuyut-kulyamy-nevstanovlenogo-kalibru-video> // Українських бійців біля Мар'їнки обстрілюють кулями невстановленого зразка
- <http://news.liga.net/news/politics/3554661-rf-v-donbasse-ispityvaet-puli-probivayushchie-vse-bronezhilet-y-vsui.htm> // РФ в Донбасі испытывает пули, пробивающие все бронежилеты – ВСУ
- Lester W. Grau *Уязвимость российской бронетанковой техники в городских боях: опыт Чечни*, пер. с англ. Юрий Голдаев (Red Thrust Star, January 1997. *Foreign Military Studies Office, Fort Leavenworth, KS*)
- Звіт Military Balance за 2014-2017 Військового аналітичного агентства. *International Institute for Strategic Studies* <http://www.iiss.org/>
- Гринкевич Д.А. *Боевое применение вооружения и военной техники в горно-пустынной местности афганистан*. М., Министерство обороны СССР, 1990. 232 с.
- Козлов А.Г., Таль О.А. *Конструкция и расчет танков*. М.: Воениздат, 1965. 602 с.
- Буров С.С. *Конструкция и расчет танков*. М.: Академия им. Машиностроения, 1973. 602 с.
- Чобиток В.А., Брижинев Ю.Н., Долганов А.А., Мирошник А.В. *Конструкция и расчет танков и БМП*. М.: Воениздат, 1984. 376 с.
- Балдин В.А. *Теория и конструкция танка*. М.: Воениздат, 1975. 442 с.
- Шаталов О.Е., Ларин А.Ю., Васильев А.Ю. [и др.] Математическое представление построения трехмерных тактических диаграмм с учетом движения и изменения ориентации корпуса бронированной машины в пространстве. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Тем. вып.: *Машиноведение и САПР*. 2005. №53. С.152–161.
- Шаталов О.Е. К вопросу построения и использования 3D мерных планов местности. *Механіка та машинобудування*. Харьков, 2005. №1. С.210–213.
- Шаталов О.Е., Ларин А.Ю., Васильев А.Ю. и др. Математическое представление построения трехмерных тактических диаграмм с учетом движения и изменения ориентации корпуса бронированной машины в пространстве. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Тем. вып.: *Машиноведение и САПР*. Харьков, 2005. №53. С.152–161.
- Шаталов О.Е., Матушко Б.П., Андрієнко А.М., Пашковський В.В. Підвищення живучості механізованого підрозділу за рахунок застосування тривимірних тактичних діаграм. *Військово-технічний збірник: випуск 1 (4)*. Львів, АСВ, 2011. С. 112–115.
- Дудар С.Є., Шаталов О.Є., Васильев А.Ю. Математичне моделювання геометрії місцевості – методика моделювання геометрії місцевості для вирішення задач із побудови тактичних діаграм захищеності БМ ЛКВ. *Науковий вісник "Біоресурси і природокористування"*, Т. 9, № 3-4 (2017). ISSN 2518-1963 (Online).
- Дудар С.Є., Шаталов О.Є., Васильев А.Ю. Методика врахування геометрії бойових машин легкої категорії ваги для побудови тактичних діаграм. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. №5.
- Шаталов О.Є., Андрієнко А.М., Дудар С.Є., Ларин О.Ю. Включення тактичних діаграм до системи прийняття рішення командиром підрозділу. *Військово-технічний збірник*. Львів, НАСВ, 2015. № 12. С. 73–79.
- Колесник В.А., Шаталов О.Е. Анализ путей повышения защищенности танков. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Тем. вып.: *Колесные и гусеничные машины специального назначения*. Харьков, 2003. №28. С.113–117.
- Ткачук А.Н., Шаталов О.Е., Ларин А.Ю. [и др.] Расчет траектории полета пуль и снарядов с учетом угла нутации, прецессии и собственного вращения. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. 2005. №3. С.38–42.
- Васильев А.Ю., Шаталов О.Е., Дудар С.Є. Обзор подходов дополнительного бронирования легкобронированных машин. *Вестник НТУ "ХПИ"*. Харьков, 2015. № 31 (1140). С. 38–45.
- Васильев А.Ю., Малакей А.Н., Пелешко Е.В., Шаталов О.Е. К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения. *Механіка та машинобудування*. Харьков, 2004. №1. С. 51–60.
- Васильев А.Ю., Мартыненко А.В., Шаталов О.Е. [и др.] Комплексный подход к модернизации корпусов легкобронированных машин с использованием современных программных комплексов. *Праці Таврійської держ. аграрної академії*. Мелитополь, 2005. Вип. 26. С.169–174.
- Дудар С.Є. Спеціалізований програмно-модельний комплекс з оцінки захищеності бойових машин легкої категорії ваги та його застосування для планування бойових дій. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2017. № 4. С. 75–80.
- Ткачук Н.А., Гриценко, Е.А. Орлов [и др.] Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания. *Механіка та машинобудування*. Харьков, 2006. № 1. С. 57–59.
- Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н. [и др.] Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения. *Механіка та машинобудування*. Харьков, 2005. №1. С.184–194.

References (transliterated)

- <https://hromadskeradio.org/news/2017/07/14/ukrayinskyh-biyevy-bilya-maryinky-obstrilyuyut-kulyamy-nevstanovlenogo-kalibru-video> // Ukrayinskykh biyetsiv bilya Maryinky obstrilyuyut kulyamy nevstanovlenoho zrazka
- <http://news.liga.net/news/politics/3554661-rf-v-donbasse-ispityvaet-puli-probivayushchie-vse-bronezhilet-y-vsui.htm>

- [vsu.htm](#) // RF v Donbasse ispytyvayet puli, probivayushchiye vse bronezhilyety – VSU
- 3 Lester Grau W. Uyzavimost' rossiyskoy bronetankovoy tekhniki v gorodskikh boyakh: opyt Chechni, per. s angl. Yuriy Goldayev. *Red Thrust Star, January 1997. Foreign Military Studies Office, Fort Leavenworth, KS.*
 - 4 Zvit Military Balance za 2014-2017. *Viyskovoho analitychnoho ahent-stva International Institute for Strategic Studies <http://www.iiss.org/>*
 - 5 Grinkevich D.A. *Boyevoye primeneniye vooruzheniya i voyennoy tekhniki v gomo-pustynnoy mestnosti afganistan.* M.: Ministerstvo oborony SSSR, 1990. 232 p.
 - 6 Kozlov A.G., Tal' O.A. *Konstruksiya i raschettankov.* M.: Voenizdat, 1965. 602 p.
 - 7 Burov S.S. *Konstruksiya i raschet tankov.* M.: Akademiya im. Malinovskogo, 1973. 602 p.
 - 8 Chobitok V.A., Brizhinev YU.N., Dolganov A.A., Miroshnik A.V. *Konstruksiya i raschet tankov i BMP.* M.: Voenizdat, 1984. 376 p.
 - 9 Baldin V.A. *Teoriya i konstruksiya tanka.* M.: Voenizdat, 1975. 442 p.
 - 10 Shatalov O.Ye., Larin A.Yu., Vasil'yev A.Yu. [et. al.] Matematicheskoye predstavleniye postroyeniya trekhmerykh takticheskikh diagramm s uchetom dvizheniya i izmeneniya oriyentatsii korpusa bronirovannoy mashiny v prostranstve. *Vestnik NTU "KHPI". Tem. vyp.: Mashinovedeniye i SAPR.* Kharkov, 2005. №53, pp. 152–161.
 - 11 Shatalov O.Ye. K voprosu postroyeniya i ispol'zovaniya 3D merykh planov mestnosti. *Mekhanika ta mashinobuduvannya.* Kharkov, 2005. №1, pp. 210–213.
 - 12 Shatalov O. Ye., Larin A. Yu., Vasil'yev A. Yu. [et. al.] Matematicheskoye predstavleniye postroyeniya trekhmerykh takticheskikh diagramm s uchetom dvizheniya i izmeneniya oriyentatsii korpusa bronirovannoy mashiny v prostranstve. *Vestnik NTU "KHPI". Tem. vyp.: Mashinovedeniye i SAPR.* Kharkov, 2005. №53, pp. 152–161.
 - 13 Shatalov O.Ye., Matuzko B.P., Andriyenko A.M., Pashkovskyy V.V. Pidvyshchennya zhyvuchosti mekhanizovanoho pidrozdilu za rakhunok zastosuvannya tryvymirnykh taktychnykh diahram. *Viyskovo-tekhnichnyy zbirnyk.* Lviv: ASV, 2011, vol. 1 (4). pp. 112–115.
 - 14 Dudar Ye.Ye., Shatalov O.Ye., Vasil'yev A. Yu. Matematychno modelyuvannya heometriyi mistsevosti – metodyka modelyuvannya heometriyi mistsevosti dlya vyrishennya zadach iz pobudovy taktychnykh diahram zakhyschenosti BM LKV. *Naukovyy visnyk "Bioresursy i pryrodokorystuvannya",* Kharkov, 2017. T. 9, vol. 3-4.
 - 15 Dudar Ye.Ye., Shatalov O.Ye., Vasil'yev A. Yu. Metodyka vrakhuvannya heometriyi boyovykh mashyn lehkoyi katehoriyi vahy dlya pobudovy taktychnykh diahram. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy.* 2017. №5.
 - 16 Shatalov O.Ye., Andriyenko A.M., Dudar Ye.Ye., Larin O.Yu. Vkluchennya taktychnykh diahram do systemy pryynyattya rishennya komandyrom pidrozdilu. *Viys'kovo-tekhnichnyy zbirnyk.* Lviv: NASV, 2015. no. 12T, pp. 73–79.
 - 17 Kolesnik V.A., Shatalov O.Ye. Analiz putey povysheniya zashchishchennosti tankov // *Vestnik NTU "KHPI". Tem. vyp.: Kolesnyye i gusenichnyye mashyny spetsial'nogo naznacheniya.* Kharkov, 2003. no. 28. pp. 113–117.
 - 18 Tkachuk A.N., Shatalov O.Ye., Larin A.YU. [et. al.] Raschet trayektorii poleta pul' i snaryadov s uchetom ugla nutatsii, pretsessii i sobstvennogo vrashcheniya. *Artileriyiskoye i strelkovoye vooruzheniye.* 2005. no. 3, pp. 38–42.
 - 19 Vasil'yev A. YU. Obzor podkhodov dopolnitel'nogo bronirovaniya legkobrairovannykh mashin / A. YU. Vasil'yev, O. Ye. Shatalov, Ye. Ye. Dudar // *Vestnik NTU "KHPI".* Kharkov, 2015. no. 31 (1140), pp. 38–45.
 - 20 Vasil'yev A. Yu., Malakey A. N., Peleshko Ye. V., Shatalov O. Ye. K voprosu integrirovannykh sistem analiza dinamicheskikh protsessov v korpusakh transportnykh sredstv spetsial'nogo naznacheniya. *Mekhanika ta mashinobuduvannya.* Kharkov, 2004. no. 1, pp.51-60.
 - 21 Vasil'yev A. Yu., Martynenko A.V., Shatalov O.Ye. [i dr.] Kompleksnyy podkhod k modernizatsii korpusov legkobrairovannykh mashin s ispol'zovaniyem sovremennykh programnykh kompleksov. *Pratsi Tavriys'koi derzh. agrotekhnichnoi ak-ti.* Melitopol, 2005, vol. 26, pp. 169–174.
 - 22 Dudar Ye.Ye. Spetsializovanyy programno-modelnyy kompleks z otsinky zakhyschenosti boyovykh mashyn lehkoyi katehoriyi vahy ta yoho zastosuvannya dlya planuvannya boyovykh diy. *Visnyk Vinnytkoho politekhnichnogo instytutu,* Vinniza, 2017. no. 4, pp. 75–80.
 - 23 Tkachuk N.A., Gritsenko G.D., Orlov Ye.A. [i dr.] Konechno-elementnyye modeli elementov slozhnykh mekhanicheskikh sistem: tekhnologiya avtomatizirovannoy generatsii i parametrizirovannogo opisaniya. *Mekhanika ta mashinobuduvannya.* Kharkov, 2006, no. 1, pp. 57–59.
 - 24 Tkachuk N.A., Brul' S.T., Malakey A.N., Gritsenko G.D., Orlov Ye.A. Struktura spetsializirovannykh integrirovannykh sistem avtomatizirovannogo analiza i sinteza elementov transportnykh sredstv spetsial'nogo naznacheniya. *Mekhanika ta mashinobuduvannya.* Kharkov, 2005, no. 1, pp.184–194.

Надійшло (received) 05.10.2017

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дудар Євген Євгенович (Дудар Евгений Евгеньевич, Dudar Yevhen) – старший викладач циклової комісії автомобільної техніки відділення підготовки Військового коледжу сержантського складу Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна; тел.: (067)3479883; e-mail: d_ee@ukr.net.

Шаталов Олег Євгенович (Шаталов Олег Евгеньевич, Shatalov Oleg) – кандидат технічних наук, доцент, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна; тел.: (093)8269557; e-mail: shatl-oleg-ua@ukr.net.

Васильєв Антон Юрійович (Васильев Антон Юрьевич, Vasiliev Anton) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", докторант кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8106-0950>. тел.: (067)5793843; e-mail: AVasiliev@tmm-sapr.org.

Куценко Сергій Володимирович (Куценко Сергей Владимирович, Kutsenko Serhii) – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", аспірант, молодший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; тел.: (098)3130058; e-mail: skutsenko@tmm-sapr.org