

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.14.1.92-98>
УДК 623.592.

М.В. Пестерев

<https://orcid.org/0000-0002-0834-4188>

Військова академія (м. Одеса), Україна

МОДЕЛЬ ТРЕНАЖЕРА БОЙОВОЇ ГУСЕНИЧНОЇ МАШИНИ, ЯК ЕЛЕМЕНТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТРЕНАЖЕРНОЇ СИСТЕМИ

У дослідженні автором проведено аналіз ергатичної системи «людина-машина-середовище» з метою побудови моделі тренажера бойової гусеничної машини, як елемента системи «екіпаж – БГМ – бойова обстановка – середовище». Здійснено опис імітованої бойової гусеничної машини як об'єкта управління, оператора тренажера бойової гусеничної машини, як суб'єкта управління. Визначено напрямки подальших досліджень, які дозволять забезпечити максимальну відповідність імітованої бойової гусеничної машини реальній.

Ключові слова: бойова гусенична машина, оператор, ергатична система, інтелектуальна тренажерна система, системний аналіз, об'єкт управління, суб'єкт управління.

Постановка проблеми

Сучасні вимоги до тренажерів та тренажерних комплексів передбачають не лише високий ступінь відповідності імітованої машини реальній, а також можливість формування навичок керування бойовою гусеничною машиною, які у більшій мірі залежить від можливостей тренажерів, тренажерних комплексів або систем у забезпеченні послідовної реалізації умов необхідних для формування таких навичок та можливостей забезпечення поступового ускладнення завдань, які повинен виконувати той, якого навчають, рівня врахування структури та закономірностей формування навичок під час навчання. Відповідно існує потреба у дослідженні імітованої бойової гусеничної машини, як об'єкта управління виділеного із зовнішнього середовища, яке імітується інтелектуальною системою та його взаємозв'язків із цим середовищем і оператором тренажера.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

Загальними питаннями теорії подібності займалися П.М. Алабужев, В.Б. Геронимус, В.Ф. Васильченков, В.А. Веников, М.В. Кирпичев, М.А. Мамонтов, Л.М. Минкевич та інші. Питаннями забезпечення подібності в тренажерних комплексах за рахунок вимірювально-інформаційних систем займалися А.С. Бабанко, В.А. Бондер, Р.А. Закиров, В.С. Шукшунов та інші. Вивченням психологічних аспектів подібності займалися В.Ф. Венда, В.С. Зайцев та інші. Подібні дослідження також проводили Д.А. Браун, І. Голдстейн, Ж. Кристенсен, Дж. О'Брайен та інші. Зазначені автори вказують на необхідність під час розробки тренажерів створення аналітичних моделей процесів у реальних об'єктах, які у подальшому повинні бути реалізовані у вигляді апаратних та програмних засобів здатних реалізувати необхідні види подібності.

Постановка завдання

Метою даного дослідження є опис імітованої бойової гусеничної машини як об'єкта управління у системі «людина-машина-середовище» та визначення основних наборів параметрів, які забезпечуватимуть побудову фазового простору поведінки такої системи у різних умовах.

Виклад основного матеріалу дослідження

Оскільки, процес вирішення бойової задачі екіпажем бойової гусеничної машини (далі – БГМ) здійснюється залежно від взаємодії основних елементів системи «екіпаж – БГМ – бойова обстановка – середовище», де окрема БГМ з механіком-водієм у контурі управління розглядається як ергатична підсистема «людина-машина-середовище», то, з метою побудови моделі тренажера БГМ, доцільно детально розглянути процес управління останньою підсистемою. Приймемо, що зовнішнім

середовищем, у якому діятиме тренажер БГМ, є поле бою, яке формується зовнішньою інтелектуальною системою. Тоді, таке середовище здійснюватиме впливи на БГМ, яка імітується, та оператора тренажера. Наприклад, бойовою задачею екіпажу БГМ є знищення машини противника. У такому випадку, зовнішнім середовищем у якому діє БГМ буде місцевість, пора року, оперативний час, порядок взаємодії з сусідніми екіпажами, дії противника, вплив противника на БГМ, яка імітується, та інші параметри. Надалі під виконанням бойової задачі, яка виконується імітованою БГМ із оператором у контурі управління, прийматимемо виконання нею підготовчої вправи [1].

Позначимо стан середовища, з яким взаємодіє машина, як X , а стан машини – Y . Виконання підготовчої вправи визначимо як кінцеву мету управління підсистемою «людина-машина-середовище» та позначимо як Z . Тоді, управління підсистемою представлятиме собою процес цільового впливу людини на машину, у результаті якого машина виконує підготовчу вправу № 2 «Техніка подолання природних перешкод» [1]. Відповідно, об'єктом управління у такій системі є машина, оскільки людина здійснює цільовий вплив на машину через органи управління нею, залежно від впливу зовнішнього середовища на саму машину. Людина у такій системі виступає у ролі генератора часткових цілей управління (Z^*), які забезпечують почергове виконання окремих елементів підготовчої вправи № 2:

- 1 – подолання підйому та спуску, зупинка на підйомі та спуску;
- 2 – виконання повороту на підйомі та спуску, скочування машини;
- 3 – здійснення руху на підйомі з перемиканням передач;
- 4 – подолання косогуру.

Тобто, оператор імітованої БГМ виконує роль суб'єкта управління та здійснює його з метою досягнення кінцевої мети Z (виконання підготовчої вправи № 2). Отже, кінцевою метою управління є виконання підготовчої вправи, а подолання кожного із її елементів – частковими цілями, досягнення яких дозволить виконати вправу в комплексі. Тоді, стан середовища X (початкові умови виконання елемента підготовчої вправи) – це причина зміни стану машини Y (стан машини до виконання вправи), відповідно машина виступає у ролі перетворювача причини X (рис. 1) у наслідок Y .

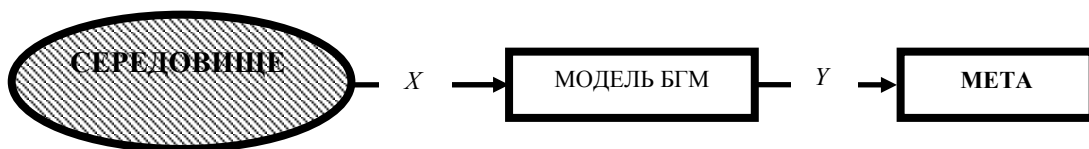


Рис. 1. Блок-схема об'єкту управління (моделі БГМ), як перетворювача причини у наслідок

Отже, машину можна представити як перетворювач стану середовища у стан об'єкта:

$$Y = F^o(X), \quad (1)$$

де F^o – оператор зв'язку стану середовища зі станом машини, який характеризує специфіку роботи машини [2].

Зміна стану середовища відбувається у випадку, коли необхідно виконати часткову задачу (окремий елемент навчальної вправи). Таким чином, виникає необхідність здійснення деякого управління (U), яке забезпечить перетворення стану машини у стан, який відповідає потребам суб'єкта – дозволить виконати елемент навчальної вправи. Відповідно, траєкторія руху підсистеми залежатиме від управління машиною оператором, що призведе до якісної зміни стану машини та параметрів її руху, тобто для сприйняття оператором деякої частини середовища $\langle X, Y \rangle$ йому необхідно отримати інформацію про стан цієї частини середовища $\langle X', Y' \rangle$. Тоді, точки фазового простору системи, які відповідають таким змінам, є точками біфуркації підсистеми «людина-машина-середовище», а процес виконання навчальної вправи – процесом

послідовного проходження підсистемою визначеної множини таких точок. Як і для більшості технічних систем у таких точках, потужність сигналу управління, який надходить у підсистему значно менша за потужність силового впливу на підсистему з боку середовища [3, 4]. Тому, органи управління машиною повинні виконувати роль підсилювачів потужності управлінських впливів на неї зі сторони оператора, оскільки, навіть малопотужні впливи на підсистему можуть призвести до непередбачуваних наслідків. Відповідно, за вказаних умов, важливим є зміст управлінського впливу, а не його потужність. Таким чином, дія порівняно слабкого управлінського впливу на підсистему у точках її біфуркації може призвести до значних змін у її стані.

Отже, необхідно окремо виділити суб'єкт управління та систему «датчиків» (D_x, D_y) за допомогою яких він сприймає інформацію про стан середовища та машини. Тоді, блок-схема об'єкту управління (моделі БГМ), як перетворювача причини (X) у наслідок (Y), зображена на рисунку 1, матиме наступний вигляд, рисунок 2:

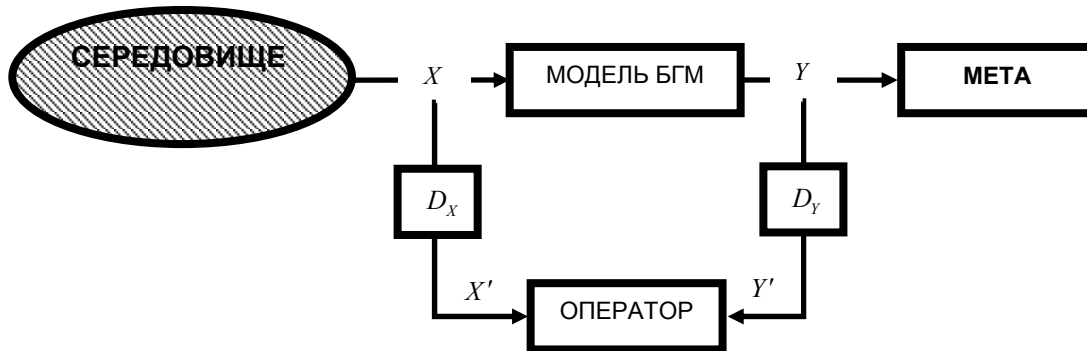


Рис. 2. Блок-схема взаємодії об'єкта управління (моделі БГМ) та суб'єкта управління (оператора)

Вважатимемо, що для виконання кожного із елементів підготовчої вправи оператор генерує окрему часткову ціль управління, реалізація якої призведе до виконання підготовчої вправи. Часткова ціль управління, у такому випадку, складатиметься з набору вимог до стану машини. Тоді, досягнення часткової цілі управління (виконання елементу навчальної вправи) можна представити у вигляді рівності:

$$Y = Z^*, \quad (2)$$

Якщо стан машини (Y) дозволяє виконати окремий елемент вправи, то, у такому випадку, здійснювати управління не потрібно, тобто підсистема здатна самоорганізуватись – самостійно повернутись у рівноважний стан. Причому, відбудеться розсіювання енергії та зменшення кількості ступенів свободи. Наприклад, після подолання пагорбу БГМ здатна самостійно загасити коливання корпусу за прямолінійного і рівномірного її руху.

В іншому випадку, коли рівність (2) не виконується, тобто $Y \neq Z^*$, стан машини не дозволяє досягти часткової цілі управління, тоді, для реалізації управління, необхідно задіяти канал або канали управління машиною (один або декілька органів керування БГМ), які впливають на її стан. Відповідно, для забезпечення виконання виразу (2) у виразі (1) необхідно врахувати застосування такого каналу:

$$Y = F^o(X, U), \quad (3)$$

Тоді, підсистема «людина-машина-середовище» поводить себе як відкрита система, яка за певних змін стану середовища виходить зі стану рівноваги, що призводить до складної динамічної поведінки кожного із її елементів. Відповідно, подальше моделювання тренажеру необхідно здійснювати виходячи із двох позицій:

1. Дослідження динаміки поведінки бойової гусеничної машини.
2. Дослідження процесу формування змісту управління.

Таким чином, управління машиною, як перетворювачем змін у стані зовнішнього середовища у зміни стану машини, які дозволяють досягти кінцевої мети управління, повинно призвести до такої зміни стану підсистеми, за якої динамічний та інформаційний процеси, які відбуваються у середині підсистеми, поєднуються у одне ціле та призведуть до когерентної зміни усіх параметрів підсистеми у цілому. Тоді, у блок-схемі взаємодії об'єкта та суб'єкта управління (рис. 2), необхідно передбачити зв'язок між об'єктом та суб'єктом управління, який відобразить наявність управлінського впливу суб'єкта на об'єкт, рисунок 3. Результат обробки оператором вхідних та вихідних даних, які описують стан машини, яка імітується, представимо у вигляді рівностей:

$$X' = D_x(X); Y' = D_y(Y), \quad (4)$$

Сформовану загальну інформаційну модель стану підсистеми «людина-машина-середовище» оператор порівнює із можливим варіантом дій та попередньо сформованою на основі отриманого досвіду концептуальною моделлю керування машиною (сукупністю уявлень механіка-водія про цілі та задачі керування машиною, можливі стани машини, системи «людина-машина» та способах впливу на них), формує інтегральну оцінку інформаційної моделі на основі якої приймає рішення про управління:

$$U = \varphi(X', Y', Z^*), \quad (5)$$

де, φ – спосіб досягнення часткової цілі управління, отриманий за результатами обробки вхідних та вихідних даних про стан машини, як об'єкта управління.

Після обробки вихідних та вхідних даних оператор через органи управління машиною реалізує прийняте рішення та змінює стан керуючого входу U' об'єкту управління, тобто застосовує органи управління машиною (рис. 3).

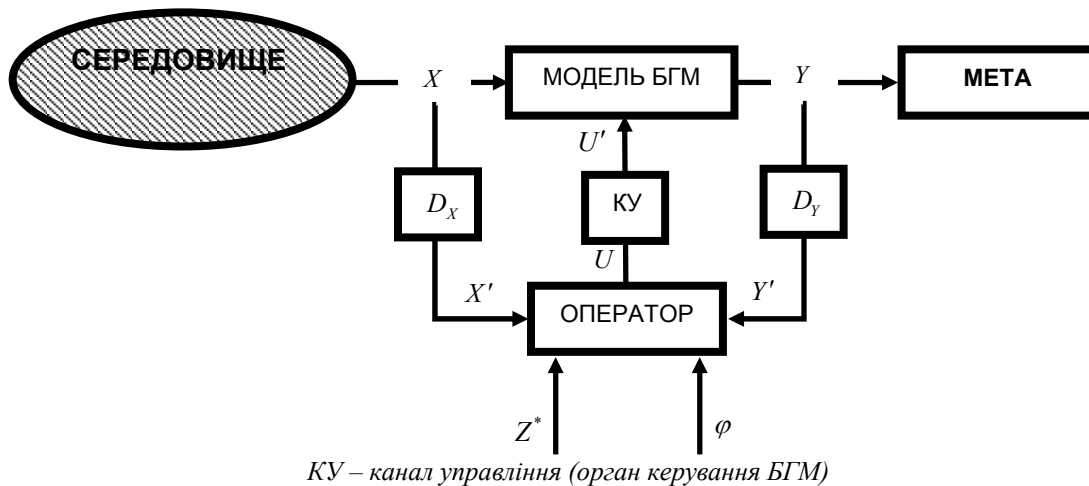


Рис. 3. Блок-схема управління машиною, яка імітується

Таким чином, тренажер бойової гусеничної машини необхідно розглядати як систему зі складною внутрішньою структурою, яку доцільно розділити на дві підсистеми:

- динамічну – динамічна платформа тренажера;
- інформаційну – оцінки рівня відповідності концептуальної моделі керування машиною очікуваному результату управління та ступеню досягнення мети управління.

Обидві підсистеми перебувають у постійній тісній взаємодії між собою та визначають ієрархічну структуру тренажера, яка складається з двох рівнів: динамічного та інформаційно-керуючого. Відповідно, для управління такою системою необхідно мати достовірну інформацію про структуру її фазового портрету.

У подібних дисипативних системах фазовий портрет поділяється на області станів системи, які забезпечують її перехід до необхідних атракторів. Тому, для забезпечення переходу системи від одного рівноважного стану до іншого необхідно здійснювати адекватні управлінські впливи на об'єкт управління. Для такого переходу інформаційна характеристика системи має більший вплив у порівнянні із силовими впливами на систему. Відповідно, вибір відповідної траєкторії руху підсистеми в біфуркаційних точках буде визначатись кількістю та станом внутрішніх ступенів свободи підсистеми, тобто параметрами стану середовища X та об'єкту управління Y . Відповідно, необхідно передати оператору деяку кількість інформації через систему «датчиків» (D_X, D_Y) про початковий стан підсистеми для забезпечення переходу до необхідного атрактора, набір яких створює множину можливих рівноважних станів підсистеми, за яких досягається мета управління – виконання підготовчої вправи.

Відповідно, виникає можливість формування двох взаємопов'язаних алгоритмів самоорганізації підсистеми «людина-машина-середовище» у системі «екіпаж – бойова гусенична машина – бойова обстановка – середовище»:

– причинний алгоритм самоорганізації, у кінцевому випадку, забезпечує зменшення кількості внутрішніх ступенів свободи підсистеми за рахунок розсіювання надлишкової енергії підсистеми у зовнішнє середовище (систему «екіпаж – бойова гусенична машина – бойова обстановка – середовище») та самостійний перехід підсистеми у зону притягування до цільового атрактора, успішне проходження біфуркаційної точки та досягнення часткової цілі управління без впливу оператора на об'єкт управління (імітовану БГМ);

– цільовий алгоритм самоорганізації передбачає перехід від непередбачуваної поведінки підсистеми у точці біфуркації, у випадку дій за причинним алгоритмом самоорганізації, до керованого притягування підсистеми до послідовності проміжних атракторів, до якої послідовно налаштовується підсистема за рахунок збільшення загальної кількості її внутрішніх ступенів свободи та надходження енергії із зовнішнього середовища, що забезпечить когерентність зміни параметрів динамічної складової підсистеми та керованого досягнення часткової цілі управління за рахунок послідовних впливів оператора на об'єкт управління, які формують спосіб досягнення часткової цілі управління (φ).

Отже, для побудови моделі тренажера, як елемента інтелектуальної тренажерної системи необхідно визначити набори параметрів, які формуватимуть фазовий портрет поведінки підсистеми «людина-машина-середовище» у системі «екіпаж – бойова гусенична машина – бойова обстановка – середовище». Попереднє дослідження просторової моделі руху БГМ [5, 6] дозволило виділити ряд значимих параметрів її стану (Y) у процесі виконання окремого елемента підготовчої вправи:

- кінцева швидкість руху БГМ після подолання елемента підготовчої вправи;
- амплітуда коливального руху корпусу БГМ;
- частота коливань корпусу БГМ;
- акселераційне навантаження на механіка-водія БГМ;
- вертикальне переміщення корпусу БГМ та місця механіка-водія;
- кутове переміщення корпусу БГМ за тангажем, креном та рисканням;
- прискорення руху БГМ.

Для прогнозування змін таких параметрів необхідно отримати від зовнішнього середовища (задати зовнішньою інтелектуальною системою) ряд параметрів, які характеризують його стан (X) до моменту початку виконання елемента підготовчої вправи:

- початкова швидкість руху БГМ;
- коефіцієнт зчеплення рушія БГМ з опорною поверхнею;
- кут нахилу опорної поверхні;
- коефіцієнт опору руху БГМ.

Потік інформації, який містить набір значень цих параметрів, через систему «датчиків» (D_x, D_y) формує інтегральну інформаційну модель поведінки БГМ у процесі виконання елементу підготовчої вправи, результати порівняння якої із концептуальною моделлю є вихідними даними для формування способу досягнення часткової цілі управління, який у подальшому реалізується через канал або канали управління, з урахуванням швидкості реакції БГМ на управління.

Висновки

Відповідно, подальшим напрямком дослідження для побудови тренажера БГМ, як елемента інтелектуальної тренажерної системи, є побудова просторової моделі руху БГМ місцевістю зі складним профілем, яка включатиме у себе моделювання коливань корпусу машини під час її руху по поверхні складного профілю та динамічного впливу гальмування і прискорення машини на коливання її корпусу, що надасть можливість формувати складові (Y) фазового простору на основі складових (X). Моделювання коливань робочого місця оператора та руху кабіни тренажера надасть можливість забезпечувати інформативність системи «датчиків» (D_x, D_y), які забезпечуватимуть інформаційний зв'язок оператора із динамічною платформою та формуватиме вихідні дані для вибору способу управління імітованою БГМ.

Список використаних джерел

1. «Курс водіння бойових машин» Автоматизована бібліотечна система ВІТВ НТУ "ХПІ", доступний 22 листопада 2020 р., <http://library.vitv.kh.ua/items/show/139>
2. Растрингін Л. А. Адаптація складних систем. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
3. Сугаков В. Й. Основи синергетики. — К. : Обереги, 2001. — 287 с
4. Колесников А.А. (ред.) Синергетика и проблемы теории управления. Сборник статей. — М.: ФизМатЛит, 2004. — 504 с.
5. Масанов, А.Н., Садыков С.С., Малов В.Е. Танковые тренажеры. Введение компьютерных технологий. – Муром: Изд. – полиграфический центр МИ ВлГУ, 2002. – 144 с., – 100 экз. – ISBN 5-8439-0045-2
6. Масанов, А.Н., Костин К.К., Танковые тренажеры. Агрегатное моделирование. – Рязань: издательство «Поверенный», 2007. – с.328

References

1. Kurs vodinnya boyovykh mashyn [Course of driving combat vehicles]. *library.vitv.kh.ua*. Retrieved from <http://library.vitv.kh.ua/items/show/139> (Last accessed: 16/11/2020) [in Ukrainian].
2. Rastrigin, L.A. (1981). *Adaptatsiya slozhnykh system [Adaptation of complex systems]*. Riga: Zinatne Publ. [in Russian].
3. Sugakov, V.Y. (2001). *Osnovi sinergetiki [Fundamentals of synergetics]*. Kyiv: Oberegi Publ. [in Ukrainian].
4. Kolesnikov, A.A. (Ed.). (2004). *Sinergetika i problemy teorii upravleniya. Digest of articles*. Moskva: FizMatLit Publ. [in Russian].
5. Masanov, A.N., Sadyikov, S.S., & Malov V.E. (2002). *Tankovyye trenajeryi. Vvedenie kompyuternykh tehnologiy [Tank simulators. Introduction of computer technology]*. Murom: Poligraficheskiy tsentr MI VIGU Publ. [in Russian].
6. Masanov, A.N., Kostin, K.K. (2007). *Tankovyye trenajeryi. Agregatnoe modelirovanie [Tank simulators. Aggregate Modeling]*. Ryazan: Poverennyiy Publ. [in Russian].

Рецензент: Петрушенко М.М., доктор технічних наук, професор, Військова академія (м. Одеса), Україна

МОДЕЛЬ ТРЕНАЖЕРА БОЕВОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ, КАК ЭЛЕМЕНТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРЕНАЖЕРНОЙ СИСТЕМЫ

М. Пестерев

В статье проведен анализ эргатической системы «человек-машина-среда» с целью построения модели тренажера боевой гусеничной машины, как элемента системы «экипаж-боевая гусеничная машина-боевая обстановка-среда». Сделано описание имитированной боевой гусеничной машины, как объекта управления оператора тренажера боевой гусеничной машины, как субъекта управления с определением роли человека в этой системе. В ходе исследования было определено, что тренажер боевой гусеничной машины следует рассматривать как систему со сложной внутренней структурой. Данную систему целесообразно разделить на две подсистемы: первая подсистема – динамическая, к этой подсистеме относится динамическая платформа тренажера; вторая подсистема – информационная, в этой подсистеме происходит оценка уровня соответствия концептуальной модели управления машиной к ожидаемому результату управления и степени достижения цели управления. Следует отметить, что динамическая и информационная подсистемы находятся в постоянном тесном взаимодействии между собой и определяют иерархическую структуру тренажера. Сама же иерархическая структура тренажера состоит из двух уровней: динамического и информационно-руководящего.

Определены направления дальнейших исследований, которые позволят обеспечить максимальное соответствие имитированной и реальной боевой гусеничной машины. А именно, следует построить пространственную модель движения боевой гусеничной машины местностью со сложным профилем, которая будет включать в себя моделирование колебаний корпуса машины во время движения по поверхности сложного профиля и динамического влияния торможения и ускорения машины на колебания корпуса.

Ключевые слова: боевая гусеничная машина, оператор, эргатическая система, интеллектуальная тренажерная система, системный анализ, объект управления, субъект управления.

A MODEL OF A COMBAT TRACKED VEHICLE SIMULATOR AS AN ELEMENT OF AN INTELLIGENT TRAINING SYSTEM

M. Pesterev

The article analyzes the ergatic system «man-machine-environment» in order to build a model of a combat tracked vehicle simulator as an element of the system «crew-combat tracked vehicle-combat situation-environment». A description of a simulated combat tracked vehicle is made as an object of control of the operator of a combat tracked vehicle simulator, as a subject of control with the definition of a person's role in this system. In the course of the study, it was determined that the combat tracked vehicle simulator should be considered as a system with a complex internal structure. It is advisable to divide this system into two subsystems: the first subsystem is dynamic, this subsystem includes the dynamic platform of the simulator; the second subsystem is informational, in this subsystem the level of conformity of the conceptual model of machine control to the expected control result and the degree of achievement of the control goal is assessed. It should be noted that the dynamic and information subsystems are in constant close interaction with each other and determine the hierarchical structure of the simulator. The very same hierarchical structure of the simulator consists of two levels: dynamic and information-guiding.

The directions of further research have been determined, which will ensure maximum correspondence between the simulated and real combat tracked vehicle. Namely, it is necessary to construct a spatial model of the movement of a combat tracked vehicle in a terrain with a complex profile, which will include modeling the oscillations of the vehicle body while moving on the surface of a complex profile and the dynamic effect of braking and acceleration of the vehicle on body oscillations.

Keywords: combat tracked vehicle, operator, ergatic system, intelligent training system, system analysis, control object, control subject.