

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.1.69-75>

УДК 623.592.

М.В. Пестерев

Військова академія (м. Одеса), Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСТАТНЬОЇ КІЛЬКОСТІ СТУПЕНІВ СВОБОДИ ДИНАМІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ТРЕНАЖЕРА БОЙОВИХ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН

У дослідженні автором проведено обґрунтування достатньої кількості ступенів свободи динамічної платформи тренажера бойових гусеничних машин. Проведений аналіз сприйняття механіком-водієм динамічних характеристик.

Визначено види просторових переміщень корпусу машини. Визначено напрямок подальшого розвитку навчально-тренувальної системи, яка забезпечує отримання навичок у керуванні машиною.

Ключові слова: бойова гусенична машина, механік-водій, динамічна платформа, ступені свободи, тангаж, просторові переміщення, тренажер, тренажерна підготовка.

Постановка проблеми

Практика навчання водінню підтверджує, що постійне конструктивне вдосконалення бойових гусеничних машин потребує підвищення якості підготовки механіків-водіїв. На сучасному етапі, в умовах зростаючої потреби у військовослужбовцях цієї спеціальності, це питання повстає найбільш гостро. Сучасні бойові гусеничні машини здатні розвивати в сприятливих умовах високі швидкості руху, однак реальна рухомість з'єднань та частин, особливо при здійсненні маршу на великі відстані залишається поки що низькою. Головна задача навчання водінню, полягає у тому, щоб навчити підрозділи, екіпажі, окремих механіків-водіїв максимально повно використовувати високі бойові та технічні можливості машин при вирішенні задач у сучасному бою. Це можливо за рахунок високої організації занять з ефективним використанням в навчальному процесі сучасних навчально-тренувальних засобів.

Для того, щоб визначити яка необхідна та достатня кількість ступенів свободи повинна мати динамічна платформа, яка імітує динаміку бойових гусеничних машин при водінні, необхідно визначити, яким чином та які коливання і положення бойових гусеничних машин в просторі фіксуються та усвідомлюються людиною при водінні реальної машини на місцевості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемними питаннями застосування тренажерів, тренажерних систем та їх комплексів у сучасній системі підготовки механіків водіїв переймається ряд вчених. Так, Матвієвський О., Руснак І., Шевченко В., Гринченко С. [1-3] особливу увагу звертають на необхідність термінових заходів щодо розробки та впровадження у навчальний процес навчальних тренажерних засобів, які здатні забезпечити високий ступінь імітації роботи не лише механіка водія, а й екіпажу машини у цілому. Ними також звертається увага на необхідність інтегрування окремих тренажерів та тренажерних комплексів у єдину навчально-тренувальну систему бойової підготовки Збройних Сил України.

Постановка завдання

Метою статті є обґрунтування достатньої кількості ступенів свободи динамічної платформи тренажера бойових гусеничних машин для підготовки механіків водіїв бойових гусеничних машин.

Виклад основного матеріалу дослідження

За нерівномірного криволінійного руху по місцевості з нерівностями та під час подолання перешкод корпус бойової гусеничної машини здійснює кутові та лінійні коливання [4]. У такому випадку кутовими коливаннями є періодична зміна кутових таких координат:

- 1) поздовжньої – тангаж;
- 2) горизонтальної – рискання;
- 3) поперечної – крен.

До лінійних належить періодична зміна лінійних координат:

- 1) поздовжньої – прискорення або гальмування;
- 2) поперечної – бокове занесення;
- 3) вертикальної – просторове переміщення корпусу машини відносно горизонту.

Під час руху бойової гусеничної машини на операторів діють інтегровані переміщення, які мають у сукупності часткові переміщення. Механіком-водієм такі переміщення сприймаються за допомогою зору, вестибулярного апарату, а також рецепторів шкіри. Особливість сприйняття переміщень механіком-водієм полягає у тому, що він постійно перебуває у замкнутому просторі відділення керування машиною та має обмежені можливості у спостереженні за зовнішнім середовищем. Оглядові можливості, у більшості випадків, залежать від характеристики перископічного пристрою.

Саме тому важливу роль у адекватній оцінці бойової обстановки механіком-водієм, в умовах якої діє екіпаж бойової гусеничної машини, важливу роль відіграють акселераційні навантаження. Такі навантаження механік-водій здатен сприймати за допомогою вестибулярного апарату та рецепторів шкіри. Інерційні навантаження, викликані переміщенням корпусу машини у просторі перетворюються та сприймаються за допомогою вестибулярного апарату. Рецептори шкіри приймають участь у сприйнятті та розпізнаванні коливань та зміни положення машини у просторі під час її руху. Сприйняття відбувається за рахунок перетворення даних про тиск на частини тіла оператора, які контактують з корпусом машини. Таким чином, для того, щоб визначити необхідну та достатню кількість ступенів свободи платформи тренажера, який імітуватиме динаміку руху бойової гусеничної машини, необхідно визначити яким чином та які коливання і зміни положення машини у просторі здатна зафіксувати людина під час керування реальною машиною на місцевості. Компонування бойової гусеничної машини передбачає розміщення механіка-водія таким чином, що його розташування дещо зміщене відносно центру ваги машини уперед, а підвіска машини дозволяє здійснювати корпусу машини поздовжні кутові коливання, які мають досить значну амплітуду та прискорення. Основною задачею у забезпеченні високої середньої швидкості руху є гасіння таких коливань. Саме тому механік-водій повинен володіти навиками гасіння цих коливань, які призводять до зниження швидкості руху бойової гусеничної машини. Під час прямолінійного руху машини, окрім поздовжніх коливань корпусу машини, виникають поперечні коливання, проте вони мають значно меншу амплітуду. Ці коливання також сприймаються механіком-водієм, але за рахунок того, що у результаті таких коливань виникають порівняно незначні прискорення, то вони можуть надійно сприйматись лише зоровими аналізаторами. Лінійні поздовжні, поперечні та вертикальні коливання також сприймаються усіма перерахованими аналізаторами.

Таким чином, проведений аналіз сприйняття механіком-водієм динамічних характеристик бойової гусеничної машини показав, що для забезпечення формування адекватних основних навичок керування машиною на початковому етапі навчання та особливо під час подальшого удосконалення або корекції раніше отриманих навичок необхідно імітувати усі динамічні впливи на навчаємого, основними з яких є: поздовжні і горизонтальні кутові коливання та переміщення машини; поздовжні та поперечні лінійні прискорення, які виникають під час розгону, гальмування, занесення та поворотів машини.

Так, під час прямолінійного руху на механіка-водія бойової гусеничної машини впливають такі переміщення:

- поздовжні, які виникають під час прискорення або гальмування машини;

- радіальні, які характеризують зміну значень кутів тангажу та крену;
 - вертикальні, які виникають у результаті взаємодії гусеничного рушія з опорною поверхнею.
- Відповідно оператор відчуває просторові переміщення у чотирьох ступенях свободи (рис 1).

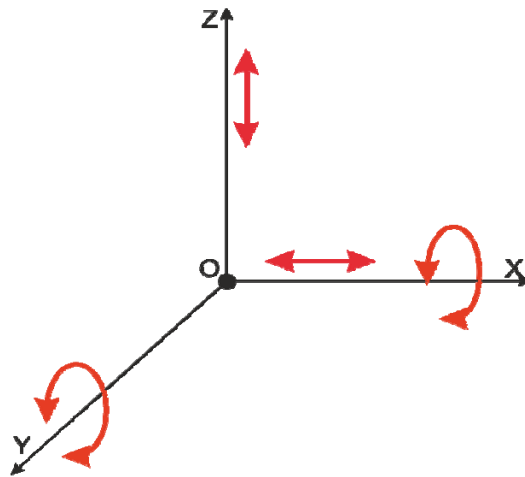


Рис. 1. Чотири ступені свободи переміщення корпусу бойової гусеничної машини за прямолінійного руху

Під час криволінійного руху (поворотів) на бойову гусеничну машини діють сили інерції, які направлені вздовж радіусу повороту від його центру. Дія таких сил призводить до витіснення машини з дороги, а також перерозподілу сил зчеплення гусеничного рушія із дорожнім покриттям. У результаті перерозподілу зовнішня по відношенню до центру дуги повороту гусениця стає більш навантаженою у порівнянні з внутрішньою. За певних умов внутрішня гусениця може бути повністю розвантаженою або навіть відірватись від опорної поверхні, що призведе до втрати стійкості руху. Тому інтенсивне гальмування в повороті може призвести до занесення, бокового ковзання або обертання машини. Механік-водій, у такому випадку, окрім впливів, які характерні для прямолінійного руху, додатково відчуває радіальні навантаження від зміщення центру повороту. Тому імітація витіснення машини на зовнішній радіус повороту повинна супроводжуватись лінійним зміщенням оператора від зовнішнього центру повороту машини.

Відповідно, імітація повороту бойової гусеничної машини може бути здійснення за рахунок відтворення двох обертальних рухів: навколо осі OZ – шляхом зміни напрямку погляду оператора у бік напрямку повороту та навколо однієї із зміщених осей OZ' або OZ'' , центри яких визначають власний квадрант переміщень (рис. 2).

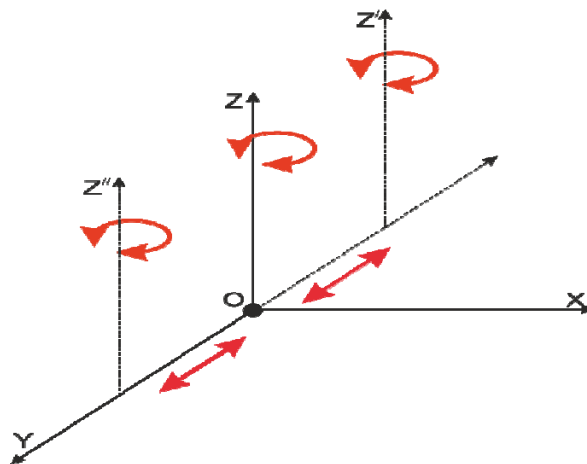
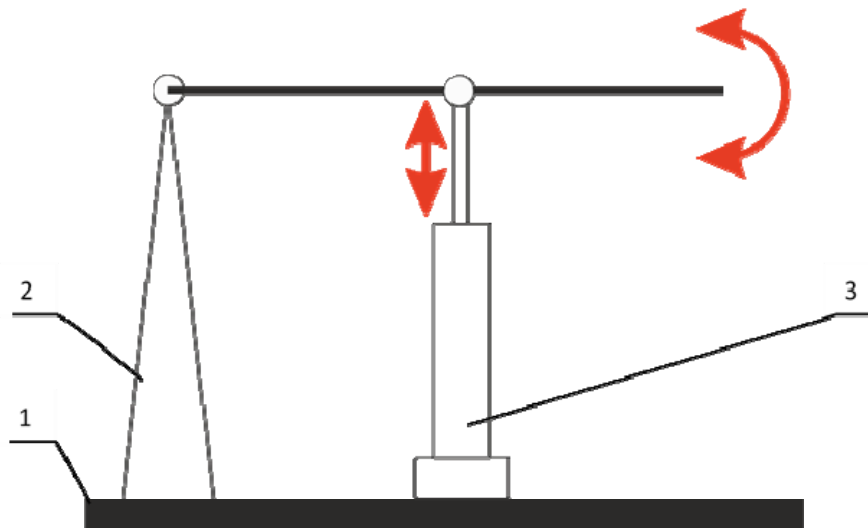


Рис. 2. Два ступені свободи повороту бойової гусеничної машини

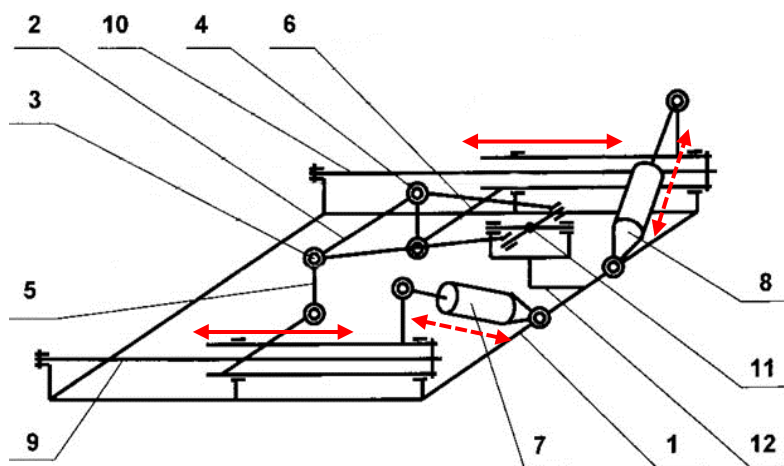
Особливість розташування механіка-водія у бойовій гусеничній машині (рис. 1) призводить до того, що найінформативнішим видом просторового переміщення корпусу машини є кутове переміщення у поздовжній площині – тангаж. Ця особливість активно використовується у виробництві одноступеневих динамічних платформ танкових тренажерів (рис. 3).



1 – платформа; 2 – нерухома опора; 3 – електрогідропривід

Рис. 3. Одноступенева динамічна платформа тренажера [5, 6]

Наступним за інформативністю для механіка-водія є кутові переміщення у поперечній площині, які характеризують зміну кута крену бойової гусеничної машини (стрілки, рис. 4), та кутові переміщення у вертикальній площині (штрихові стрілки, рис. 4), які характеризують зміну кута тангажу машини. З метою імітації таких переміщень використовуються динамічні платформи із двома ступенями свободи (рис. 4). Подібні динамічні платформи за рахунок значного плеча переміщень по тангажу дозволяють імітувати поздовжні переміщення у вертикальній площині, що дозволяє забезпечувати третю ступінь свободи.



1 – рама; 2 – платформа; 3, 4, 11 – вершина платформи; 5, 6, 12 – шарнірно-важільний механізм; 7, 8 – електрогідропривід; 9, 10 – торсіон

Рис. 4. Двохступенева динамічна платформа тренажера [5, 6]

Проте, такі платформи не дозволяють імітувати рух у повороті. Основними складностями у забезпеченні адекватності імітації руху машини у повороті є необхідність імітування змінного радіусу повороту машини у процесі його подолання та спрямованість виробників на імітування руху реального мобільного об'єкта, а не імітування комплексних впливів на оператора під час повороту

мобільного об'єкта. Існуючі динамічні платформи із двома і більше ступенями свободи не надають можливості здійснювати подібну імітацію. Тим більше, коли у більшості конструкцій динамічних платформ реалізовано управління лише двома або трьома ступенями свободи, інші ступені свободи реалізуються, як похідні перших двох (рис. 4). Наприклад, двоступенева динамічна платформа може забезпечити третю ступінь свободи – лінійні вертикальні переміщення платформи. Відповідно, існує необхідність розробки динамічних платформ, які забезпечуватимуть управління усіма наявними ступенями свободи. Проте, сучасні розробки ведуться у напрямку забезпечення відтворення характеристик машини, а не створення навчально-тренувальної системи, яка забезпечує отримання навичок у керуванні машиною.

Вирішення даної проблеми можливе у випадку, коли під час конструювання тренажерів або тренажерних комплексів, будуть враховуватись характеристики вестибулярного апарату людини, який здатний сприймати прискорення прямолінійного руху починаючи від 2 см/с^2 , нахил голови в сторону – від 1 град , уперед або назад – $1,5-2 \text{ град}$, прискорення обертання – $2-3 \text{ град/с}^2$. Тому динамічна платформа повинна розроблятися не лише для імітування просторових переміщень бойової гусеничної машини, а також для забезпечення комплексного впливу таких переміщень на механіка-водія та забезпечення сприйняття ним цих переміщень. Критеріями сприйняття механіком-водієм таких переміщень є діапазони чутливості вестибулярного апарату здорової людини. Врахування цих критеріїв під час розробки тренажерів дозволить визначити необхідну та достатню тривалість впливу кожного із подразників, що, у свою чергу, надасть можливість визначити необхідні габарити механізмів динамічної платформи. Таким чином, для імітації тривалих прискорених переміщень не обов'язково відтворювати адекватне переміщення відповідних механізмів платформи, оскільки для адекватного сприйняття людиною-оператором просторового переміщення корпусу машини достатньо відтворити значно менше його переміщення. Дана особливість сприйняття людиною особливо актуальна для відтворення акселераційних навантажень на механіка-водія та широко застосовуються у тренажерах літальних апаратів, так під час імітації тривалих прискорених переміщень літального апарату не відтворюється саме переміщення літака.

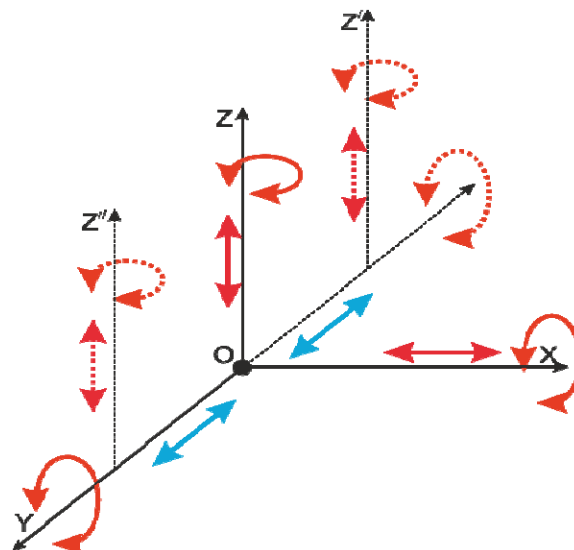


Рис. 5. П'ять ступенів свободи переміщення корпусу бойової гусеничної машини, які забезпечать імітацію прямолінійного руху машини, у повороті та під час бокового ковзання

Таким чином, для забезпечення адекватної імітації переміщення бойової гусеничної машини достатньо існуючу двоступеневу динамічну платформу (рис. 4) доповнити компактним вузлом імітації руху в повороті, який дозволить імітувати бокове ковзання машини або її занесення. Це дозволить

забезпечити імітацію усього діапазону переміщень, які характерні руху у повороті реального мобільного об'єкта за рахунок відтворення одночасно двох типів переміщень: лінійного поздовжнього та радіального у площині повороту (рис. 1 та 2). Для імітації бокового ковзання або занесення достатньо буде застосувати привід поперечного переміщення кабіни оператора. Відповідно модернізована динамічна платформа надасть можливість керувати п'ятьма ступенями свободи (рис. 5):

- поздовжні лінійні переміщення;
- вертикальні лінійні переміщення;
- радіальні поперечні кутові переміщення;
- радіальні поздовжні кутові переміщення;
- кутові горизонтальні переміщення.

Комбінація переміщень, які забезпечуватиме динамічна платформа надасть можливість імітувати переміщення машини у повороті, під час бокового ковзання та опосередковано забезпечувати шосту ступінь свободи – поперечні лінійні переміщення. Це дозволить значно зменшити вартість виробництва динамічної платформи.

Відповідно, для формування основних навичок керування машиною на початковому етапі навчання та під час послідуєчого їх удосконалення або корекції достатньо забезпечити п'ять ступенів свободи динамічної платформи, які враховуватимуть особливості сприйняття основних подразників людиною у замкненому просторі.

Висновки

Проведений аналіз можливостей забезпечення та імітування забезпечення різних ступенів свободи динамічних платформ навчальних тренажерів, які застосовуються у системі підготовки механіків-водіїв бойових гусеничних машин для Збройних Сил України показав можливість здійснення модернізації існуючих двоступеневих динамічних платформ до п'яти ступеневих, що можуть забезпечувати шосту ступінь свободи, як похідну від перших п'яти. Напрямоком подальшого дослідження є математичне моделювання процесу імітації переміщення динамічної платформи у п'яти ступенях свободи, що надасть можливість виробити рекомендації щодо модернізації існуючих двоступеневих динамічних платформ.

Список використаних джерел

1. Матвієвський О. М. Методичний підхід до обґрунтування характеристик тренажерних засобів і систем / Матвієвський О. М., Герасименко О. В., Щєбланін Ю. М. // *Наука і оборона*, 2005. – № 1. – С. 59-65.
2. Руснак І. С., Шевченко В. Л. Проблеми модернізації та створення тренажерно-моделювальних комплексів військового призначення // *Наука і оборона*. – 2002. – № 1. С. 32-39.
3. Гринченко С. Создатели виртуальности. Краткий обзор европейских тренажерных систем / С. Гринченко // *Defense express*, 2006. – № 4. – С. 34-37.
4. Антонов А. С. Армейские гусеничные машины. Теория. / А. С. Антонов, М. М. Запрягаев, В. П. Хавканов – М.: Воениздат, 1973. – 327 с.
5. Изделие ТТВ-219. Технические условия, Муром, ЗиО, 1988, 109 с.
6. Изделие ТТВ-765/675. Технические условия, Муром, ЗиО, 1988, 107 с.

Рецензент: Колчін Р.В., к.т.н., Військова академія (м. Одеса)

ОБОСНОВАНИЕ ДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ТРЕНАЖЕРА БОЕВЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

М. Пестерев

В исследовании автором проведено обоснование достаточного количества степеней свободы динамической платформы тренажера боевых гусеничных машин в Вооруженных Силах Украины. Проведенный анализ восприятия механиком-водителем динамических характеристик. Определены виды пространственных перемещений корпуса машины. Определено направление дальнейшего развития учебно-тренировочной системы, которая обеспечивает получение навыков в управлении машиной.

Ключевые слова: боевая гусеничная машина, механик-водитель, динамическая платформа, степени свободы, тангаж, пространственные перемещения, тренажер, тренажерная подготовка.

JUSTIFICATION OF SUFFICIENT DEGREES OF FREEDOM OF DYNAMIC PLATFORM OF THE EXERCISE MACHINE OF COMBAT TRACK MACHINES

M. Pesterev

In the study, the author substantiates a sufficient number of degrees of freedom of the dynamic platform of the simulator of combat tracked vehicles in the Armed Forces of Ukraine. The analysis of perception by the mechanic-driver of dynamic characteristics is carried out. The types of spatial movements of the car body are determined. The direction of further development of the training system, which provides skills in driving, is determined

The analysis of the driver-driver's perception of the dynamic characteristics of a combat tracked vehicle showed that to ensure the formation of adequate basic driving skills at the initial stage of training and especially during further improvement or correction of previously acquired skills it is necessary to simulate all dynamic effects on the trainee. longitudinal and horizontal angular oscillations and movements of the machine; longitudinal and transverse linear accelerations that occur during acceleration, braking, skidding and turning of the machine

Thus, to ensure adequate simulation of the movement of the combat tracked vehicle, it is enough to supplement the existing two-stage dynamic platforms with a compact unit of simulation of movement in the turn, which will simulate the lateral sliding of the machine or its skidding. This will allow you to simulate the entire range of movements that are characteristic of the movements in the rotation of a real mobile object by reproducing two types of movements at the same time: linear longitudinal and radial in the plane of rotation. To simulate lateral sliding or skidding, it will be sufficient to use the drive of the transverse movement of the operator's cab. Accordingly, to develop basic driving skills at the initial stage of training and during their subsequent improvement or correction, it is enough to provide five degrees of freedom of a dynamic platform, which will take into account the perception of basic stimuli by a person in a confined space.

Keywords: combat tracked vehicle, mechanic-driver, dynamic platform, degrees of freedom, pitch, spatial displacements, simulator, training.