

УДК 629.017



О. В. Черніков



В. П. Гармаш

3D МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАНЕВРУВАННЯ ЧОТИРИВІСНОГО КОЛІСНОГО ШАСІ З ДВОМА ПОВОРОТНИМИ ПЛАТФОРМАМИ

У статті розроблена цифрова модель чотиривісного колісного шасі з двома поворотними платформами, що дозволить виконувати поворот машини з найменшим радіусом, рухатися «крабом», боком і здійснювати розворот відносно власної вертикальної осі, та визначені її особливості. Для моделювання вибраний потужний пакет твердотільного моделювання Autodesk Inventor. У ході віртуального експерименту проведено моделювання маневрування чотиривісної машини для трьох варіантів: розворот шасі для руху у зворотному напрямку; зміна напрямку руху через розворот шасі – складний маневр; розворот шасі для руху боком. Аналіз віртуальних досліджень показав, що керування передньою, задньою або обома поворотними платформами є перспективним напрямком підвищення маневреності колісних машин.

К л ю ч о в і с л о в а: комп'ютерне моделювання, чотиривісне колісне шасі, маневреність, модель, рух.

Постановка проблеми. Аналіз бойових завдань в умовах війни та сучасних вимог до існуючих зразків військової техніки Національної гвардії України (НГУ), інших військових формувань України та країн блоку НАТО показав, що нагальною потребою сьогодення є підвищення маневреності колісної техніки [1].

Одним із шляхів вирішення цієї задачі є використання чотиривісного колісного шасі з двома поворотними платформами, що дозволить виконувати поворот машини з найменшим радіусом, рухатися «крабом», боком та здійснювати розворот відносно власної вертикальної осі. Створення такого шасі пов'язано з проведенням численних різноманітних експериментів та випробувань готового зразка. Чим більший обсяг таких дослідно-конструкторських робіт, тим менше помилок і недоліків буде в новому зразку колісної машини [2].

Розвиток обчислювальної техніки та технологій привів до створення програмних додатків комп'ютерного (імітаційного) моделювання, які дозволяють досліджувати та вивчати властивості технічних об'єктів і систем у різних умовах. Виходячи з цього, імітаційне моделювання керування чотиривісною машиною з двома поворотними платформами у різних режимах маневрування є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз публікацій. Питання використання комп'ютерного моделювання у проєктуванні досліджувалися у багатьох академічних виданнях, у яких розглянуто його теоретичні основи [3–6]. Однак практичні аспекти використання програмних засобів моделювання потребують не тільки знання теоретичних основ, а й вдосконаленого знання особливостей різних динамічних процесів, що досліджуються.

У статті [7] отримано результати комп'ютерного моделювання робочих процесів однокішшевих навантажувачів за допомогою програмного комплексу Autodesk Inventor. Цей програмний засіб дозволяє досліджувати системи в складних екстремальних умовах. У праці [8] розроблена цифрова модель обладнання піднімальної платформи у середовищі Autodesk Inventor для виконання досліджень кінематики та режимів роботи за заданих умов експлуатації, а також оцінка питань міцності конструкції за допомогою програми ANSYS.

У статті [2] розглянути основні положення фізичного та комп'ютерного моделювання і визначено зони ефективного використання цих методів під час проєктування будівельних і дорожніх машин.

Технічні аспекти поломок базового шасі автомобіля у процесі руху досліджено у праці [9] за допомогою системи комп'ютерного моделювання та проектування SolidWorks. Розглядалася тільки їзда на трьох кріпленнях колеса замість чотирьох або чотирьох замість п'яти та можливі наслідки.

Honda спільно з компанією 3DXCITE створила програму DeltaGen, здатну детально моделювати краш-тест у форматі 3D, яка дозволить інженерам провести віртуальні тести на недосяжному раніше рівні [10]. Така технологія не тільки сприятиме покращенню безпеки та скороченню часу розроблення моделей, а й дозволить обійтися без сотень розбитих автомобілів у справжніх краш-тестах.

Таким чином, комп'ютерне моделювання є потужним інструментом дослідження динамічних процесів, зокрема руху та маневрування колісних машин, і потребує свого подальшого розвитку та удосконалення.

Мета статті полягає в розробленні цифрової моделі шасі чотиривісної машини та проведенні віртуальних експериментів з дослідження можливостей керування нею у різних режимах маневрування.

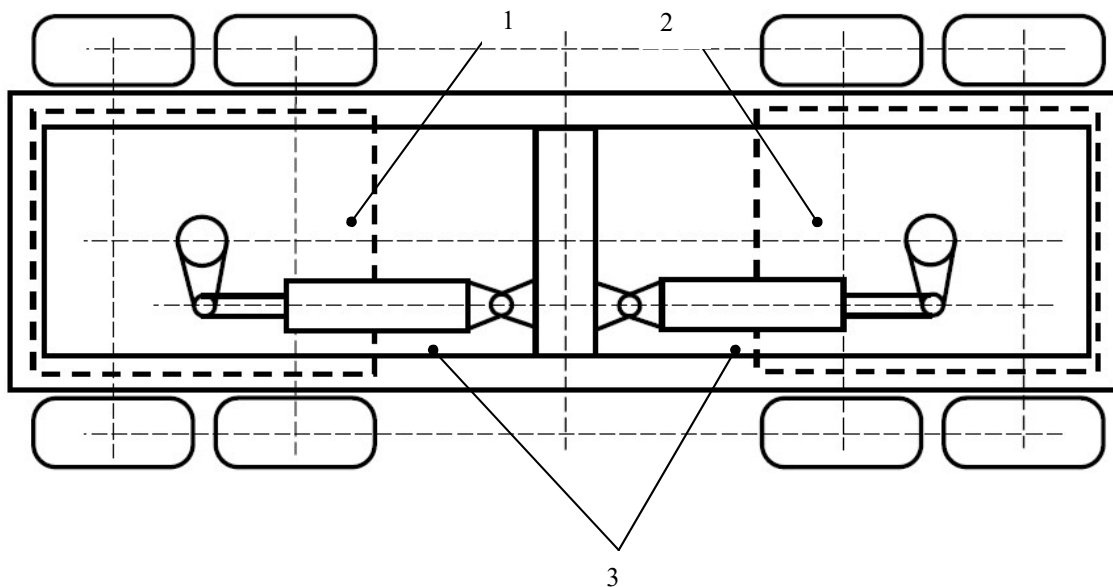
Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі питання:

- розробити цифрову модель шасі чотиривісної машини з двома поворотними платформами та визначити її особливості;
- провести імітаційне моделювання руху платформи у різних режимах маневрування.

Виклад основного матеріалу. Для моделювання взято потужний пакет твердотілого моделювання Autodesk Inventor, тому що запропонована в ньому технологія цифрових прототипів надає комплексний гнучкий набір засобів для 3D проектування, візуалізації, інструментальної обробки, аналізу і розрахунків, а також створення документації.

Застосування даного інструментарію дозволяє врахувати характеристики матеріалів, задати навантаження та модифікувати параметри сітки кінцевих елементів, що підвищує якість рішення, розглянути їхні варіанти, виконати декілька типів динамічних та міцнісних розрахунків.

Для моделювання взято варіант шасі чотиривісної колісної машини (рис. 1). Особливістю такої моделі є те, що вона дозволяє незалежно керувати кутом повороту як передньої, так і задньої платформи. Наприклад, виконувати поворот передньої платформи, поворот платформ у різні боки, поворот платформ у один бік та здійснювати рух «крабом».



1 – передня поворотна платформа; 2 – задня поворотна платформа;
3 – гідроциліндри керування

Рисунок 1 – Конструктивна схема шасі чотиривісної машини

Для створення загальної моделі перш за все було створено цифрові прототипи всіх окремих частин шасі: рами, поворотної платформи, гідроциліндра, колеса, а також полігону для моделювання руху.

Кожний елемент мав відповідні розміри та матеріал, що надало можливість моделювати не тільки геометричні, а й фізичні властивості, зокрема масу та центр ваги машини.

На наступному етапі створено загальну модель шасі чотиривісної машини з використанням спеціального інструменту для можливості подальшого моделювання руху механізму.

Зазначимо основні особливості конструювання розроблених деталей та вузлів у загальну модель колісної машини [11]:

– враховувалися такі обмеження, які забезпечують площинне позиціонування двох вибраних компонентів (наприклад, точок, осей, дуг, плоских граней, робочих елементів) паралельно один одному або зі зміщенням на задану відстань один від одного у будь-якому напрямку, але таким чином, що нормалі до елементів спрямовані назустріч одна одній (наприклад, суміщення осей елементів гідроциліндра);

– позиціонування ребер або граней двох компонентів проводилося суворо під заданим кутом;

– з'єднання в точці зіткнення забезпечувалося таке, за якого позиціонування площин, циліндрів, сфер, конусів відбувається по дотичній один до одного при контакті в точці дотику або на певній відстані (наприклад, дотик між поверхнями дороги та колеса);

– у моделюванні з'єднання зі вставкою забезпечувалося комбінування обмеження суміщенням по поверхні для площин і обмеження суміщенням по осях двох компонентів (наприклад, з'єднання осі та колеса).

Потім були встановлені рухомі з'єднання між частинами машини за допомогою інструментарію середовища динамічного моделювання. Основою з'єднань має бути повна відповідність усіх локальних систем координат деталей, що поєднуються. Існує 5 категорій з'єднань: стандартні, з'єднання обкочування, з'єднання ковзання, 2D-контакт та силові з'єднання. Кожна категорія має множину варіантів. Наприклад, категорія стандартних з'єднань включає в себе 10 варіантів, з яких були використані: просторове, обертання та циліндричне з'єднання.

Просторове з'єднання використовувалося для розташування тіла в просторі відносно базового елемента. У моделюванні руху машини воно дозволяє правильно встановити модель шасі у просторі.

За допомогою з'єднання обертання задається обертання коліс машини відносно осей поворотних платформ та самих платформ відносно рами машини. У моделюванні враховувалося, що напрямки осей обертання коліс у просторі повинні збігатися.

Крім стандартних, також використані силові з'єднання, насамперед 3D контакт, що дозволило задавати та контролювати 3D-контакт між деталями для моделювання руху в полі сили тяжіння. Таке з'єднання задане між ґрунтом і кожним з коліс, що не дає машині «провалюватися» крізь ґрунт і дозволяє враховувати коефіцієнти тертя, демпфування та жорсткості контакту.

Побудована загальна модель наведена на рисунку 2.

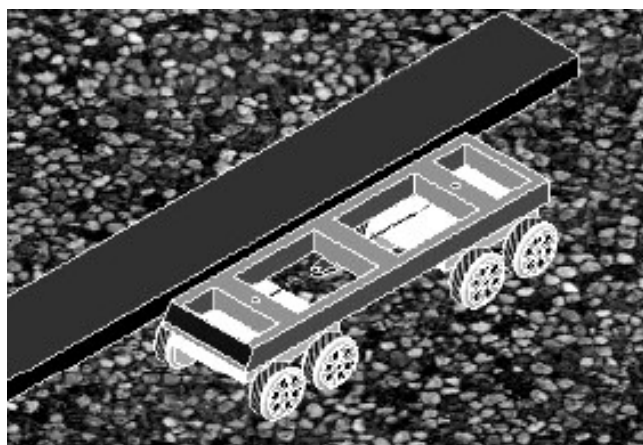


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд 3D моделі шасі чотиривісної машини

На основі побудованої моделі проводилося моделювання руху машини по заданій траєкторії (поворот та рух убік).

Задаємо вимушене обертання коліс та обертання платформ, вводячи одне значення параметра, або задаємо цей параметр за допомогою графіка. Залежно від мети експерименту можливо задавати графіки переміщень, швидкості або прискорення. Зокрема можна задавати лінійну, поліноміальну, тригонометричну або сплайнову залежності [11].

На рисунку 3 наведено графік зміни кута повороту передньої платформи відповідно до заданого часу на множині ділянок.

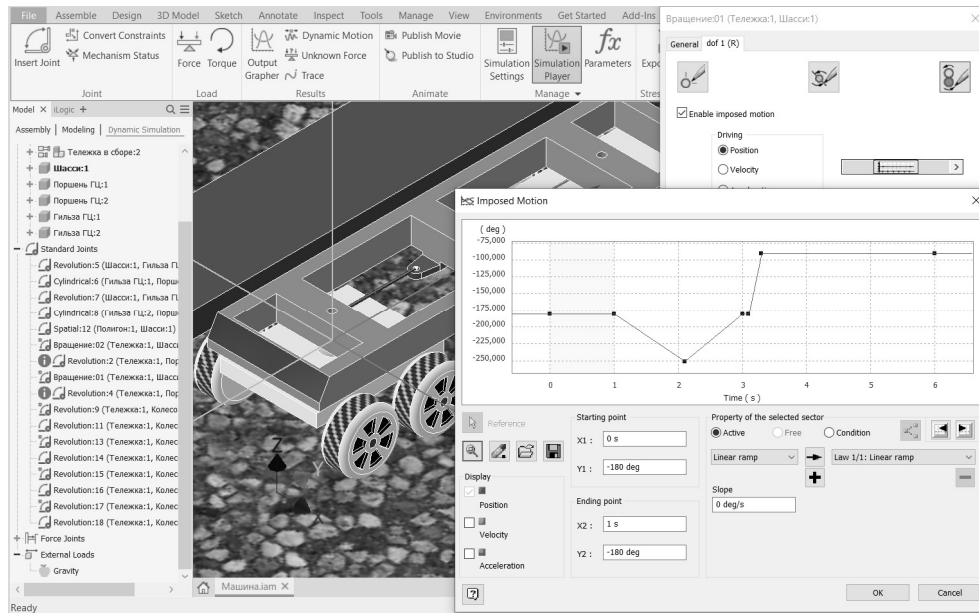


Рисунок 3 – Графік зміни кута повороту передньої платформи

На наступному рисунку 4 наведено графік, що визначає повертання задньої платформи машини. Принцип і робота відповідного шарніру аналогічна попередньому.

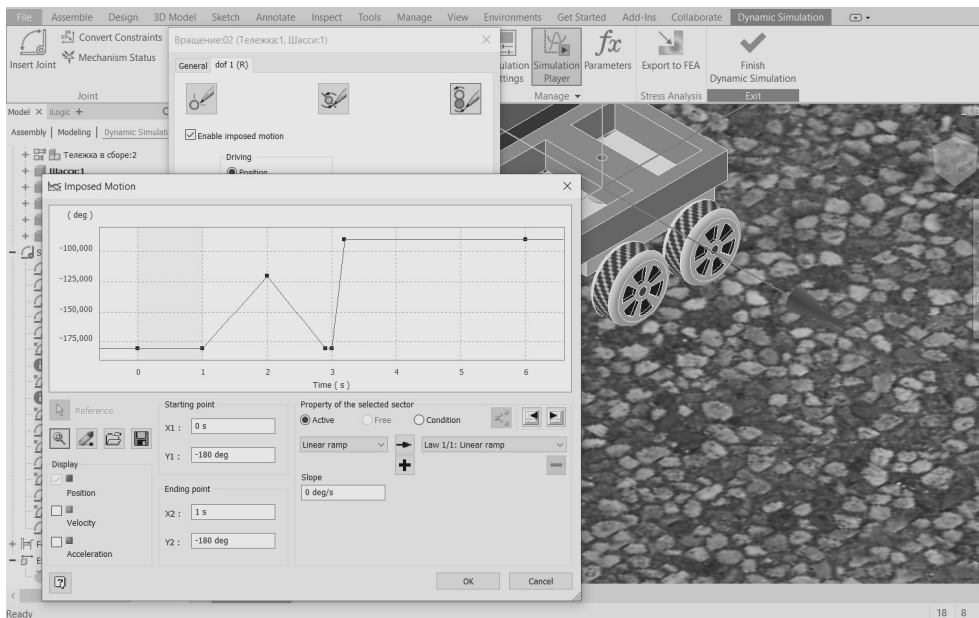
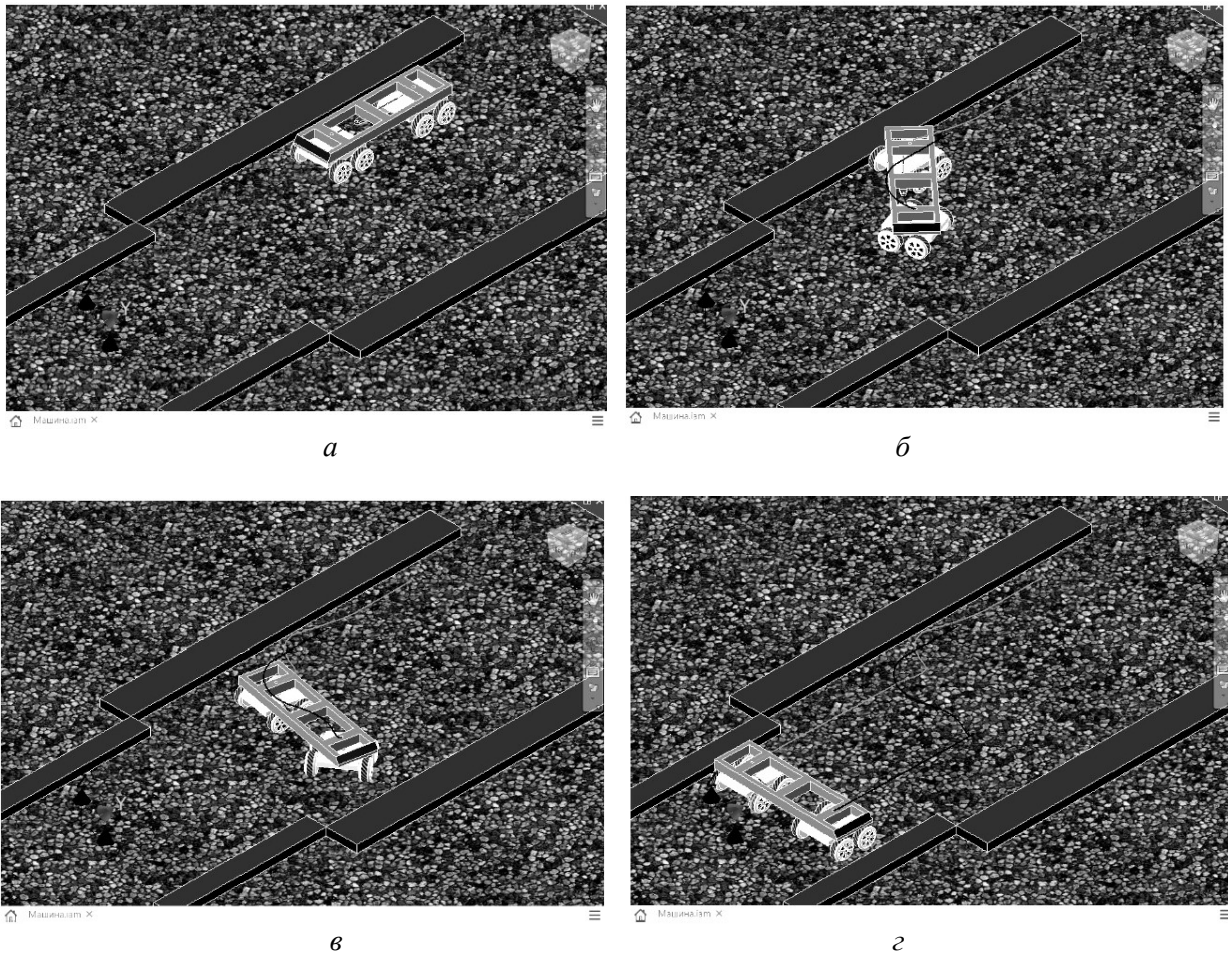


Рисунок 4 – Повертання задньої платформи

Зміна закону руху у вигляді графіків дозволяє відтворити будь-який сценарій руху згідно із завданням експерименту.

У ході віртуального експерименту проведено моделювання маневрування чотиривісної машини для трьох варіантів: розворот шасі для руху у зворотному напрямку; зміна напрямку руху через розворот шасі – складний маневр; розворот шасі для руху боком.

Наведемо декілька кадрів візуалізації маневрування машини для третього варіанта (рис. 5).



а – 1 с; *б* – 5 с; *в* – 10 с; *г* – 15 с

Рисунок 5 – Візуалізація розвороту шасі для руху боком

Створена модель використана для проведення низки різних віртуальних досліджень, а саме: моделювання руху машини на поворотах при керуванні передньою, задньою або обома поворотними платформами.

Аналіз віртуальних досліджень показав, що керування передньою, задньою або обома поворотними платформами є перспективним напрямком підвищення маневреності колісних машин. Вже на стадії моделювання можливо визначити ефективність запропонованих технічних рішень у процесі розроблення зразків нової техніки, провести попередні розрахунки та уникнути значних витрат у виробництві.

Крім того, створений комп'ютерний прототип дозволить визначити основні характеристики майбутнього виробу, провести аналіз, модернізацію та необхідну модифікацію, задати потрібну траєкторію руху для проходження через перешкоди.

Висновки

1. Використання чотиривісного колісного шасі з двома поворотними платформами є одним із шляхів вирішення задачі підвищення маневреності колісної техніки.

2. Побудована загальна модель шасі чотиривісної машини, особливостями якої є те, що вона дозволяє незалежно керувати кутом повороту передньої та задньої платформ. У ході віртуального експерименту проведено моделювання маневрування чотиривісної машини для трьох варіантів: розворот шасі для руху у зворотному напрямку; зміна напрямку руху через розворот шасі – складний маневр; розворот шасі для руху боком.

3. Аналіз віртуальних досліджень показав, що керування передньою, задньою або разом обома поворотними платформами є перспективним напрямком підвищення маневреності колісних машин.

4. Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення моделей машин для проведення віртуальних експериментів з оптимізації конструкції та режимів її роботи. Створена модель також може бути використана як тренажер для набуття професійних навичок керування машиною.

Перелік джерел посилання

1. Наукові основи створення спеціального шасі з комбінованою енергетичною установкою для колісної техніки Національної гвардії України : звіт про НДР («Шасі-К») (заключний). НА НГУ. Кер. М. А. Подригало, вик. Д. С. Баулін, О. О. Морозов, В. П. Гармаш, Р. О. Кайдалов, А. І. Нікорчук, С. А. Горєлишев, В. П. Одейчук, А. А. Побережний та М. І. Ільченко; № держреєстрації 0121U107478. Харків, 2023. 185 с.

2. Кириченко І. Г. Комп'ютерне і фізичне моделювання будівельних і дорожніх машин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2014. Вип. 65-66. С. 16 – 20. URL:https://dSPACE.khadi.kharkov.ua/dSPACE/bitstream/123456789/973/1/02_65-66.pdf.

3. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки : підручник. Житомир: ЖІТІ, 2001. 612 с.

4. Фельдман Л. П. Чисельні методи в інформатиці : підручник. Київ : БНУ, 2006. 480 с.

5. Гаврилюк І. П. Методи обчислень : підручник : у 2 ч. Київ : Вища шк., 1995. Ч. 2. 367 с.

6. Черніков О. В. Впровадження сучасних технологій комп'ютерного моделювання в навчальний процес ХНАДУ. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2016. Вип. 73. С. 239 – 244.

7. Єфименко О. В., Мусаєв З. Р. Моделювання робочих процесів одноківшових навантажувачів за допомогою «Autodesk Inventor». *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2016. Вип. 73. С. 220 – 224.

8. Особливості комп'ютерного моделювання та дослідження режимів роботи елементів піднімальної платформи / І. Г. Кириченко та ін. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2021. Вип. 95. С. 143–148. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.143>.

9. Трасковецька Л. М., Рудик О. Ю., Крупський Р. Р. Комп'ютерне моделювання безпечного руху автомобіля. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку* : матеріали Всеукр. наук.-практ. Internet-конф., м. Черкаси, 11–17 берез. 2019 р. Черкаси, 2019. С. 104–106. URL:<http://elar.khmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/8458>.

10. Honda буде проводити 3D краш-тести. URL: <https://autonews.autoua.net/novosti/7621-honda-budet-provodit-3d-krash-testy.html#!> (дата звернення: 20.04.2023).

11. About Dynamic Simulation Kinematics in Autodesk Inventor. URL: <https://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2021/ENU/?guid=GUID-2D2E9683-DD26-43AE-89A3-70014361EDD6> (дата звернення: 20.04.2023).

Стаття надійшла до редакції 30.03.2023 р.

UDC 629.017

O. Chernikov, V. Garmash

3 D MODELING OF FOUR-AXLE MACHINE MANEUVERING

One of the ways to increase the maneuverability of the wheeled vehicles of the National Guard of Ukraine is to use a four-axle wheeled chassis with two turntables, which will allow the machine to turn with the smallest radius, move crab, sideways and turn around its own vertical axis. The creation of such a chassis is associated with a large amount of various experiments and tests of the finished sample. The development of computer technology and technologies has led to the creation of software applications for computer (simulation) modeling, which allow research and study of the properties of technical objects and systems under different conditions.

The article developed a digital model of the chassis of a four-axle machine with two turntables and identified its features. For modeling, a powerful package of solid modeling Autodesk Inventor was chosen, which provides a comprehensive flexible set of tools for 3D design, visualization, instrumentation, analysis and calculations. When building a general 3D model of the chassis, the main features of the layout of parts and assemblies of this wheeled vehicle were taken into account.

The forced rotation of the wheels and the rotation of the platforms were modeled by entering the value of a single parameter or setting using a graph. Depending on the needs of the experiment, graphs were set for displacements, speed or acceleration.

In the course of a visual experiment, a simulation of the maneuvering of a four-axle vehicle was carried out for three options: turning the chassis to move in the opposite direction; changing the direction of movement through the turn of the chassis is a difficult maneuver; turning the chassis for sideways movement.

The analysis of virtual studies showed that the control of the front, rear or both turntables is a promising way to increase the maneuverability of wheeled vehicles. In addition, the created computer prototype allows you to determine the main characteristics of the future product, carry out analysis, upgrade and necessary modification, set the desired trajectory of movement, including when passing through obstacles.

К e y w o r d s : computer simulation, four-axle wheeled chassis, maneuverability, model, motion.

Черніков Олександр Вікторович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної і комп'ютерної графіки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

<https://orcid.org/0000-0002-6636-4566>

Гармаш В'ячеслав Петрович – старший науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-5681-0980>