

УДК 629.113

САХНО В.П., д.т.н., професор; ПРОГНІЙ П.Б., аспірант,
Національний транспортний університет, м. Київ

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА

У статті проаналізовано особливості комп'ютерного моделювання динаміки складних механічних систем в середовищі Universal Mechanism. Отримано алгоритм побудови комп'ютерної моделі автомобільного поїзда у даному програмному комплексі. Із використанням ПК UM розроблено спрощену динамічну модель дволанкового сидельного автопоїзда у складі двовісного автомобіля тягача та тривісного напівпричепа для дослідження показників стійкості його руху в гальмівному режимі.

Ключові слова: комп'ютерна модель, моделювання, сидельний автопоїзд, динаміка гальмування, стійкість.

Вступ

Теоретичні дослідження руху автопоїздів базуються на розробці моделей, точність і складність яких залежить від урахування тієї сукупності факторів, що впливають на характер руху ланок автопоїзда в реальних умовах експлуатації. Автомобільний поїзд являє собою складну механічну систему, дослідження динаміки якої є надзвичайно складним та трудомістким процесом. Складність побудови математичної моделі полягає в тому, що динаміка автопоїзда описується, як правило, системою диференціальних рівнянь, які в більшості є нелінійними, а тому отримати їх вирішення в явному вигляді неможливо. З іншого боку, складання диференціальних рівнянь руху механічної системи з великою кількістю ступенів свободи є надзвичайно складним процесом. Тому при розробці математичних моделей вдаються до певних спрощень, що може відчутно змінити результат. З огляду на ці та інші причини, у ході досліджень динаміки механічних систем, дедалі частіше використовуються математично-комп'ютерні та комп'ютерні моделі. Значний внесок у це робить стрімкий розвиток комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

Комп'ютерне моделювання має ряд переваг у порівнянні з натуральним експериментом, оскільки не потребує наявності реальної фізичної моделі, дорогого вимірювального обладнання, великих затрат коштів та часу. Поряд з цим, із використанням комп'ютерних моделей можна безпечно здійснювати багаторазові випробування, стежити за динамікою їх розгортання та отримувати різноманітні кількісні показники в числовому чи графічному вигляді.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сьогодні комп'ютерне моделювання з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення є досить актуальним засобом у дослідженні динаміки складних механічних систем. Аналіз ряду робіт показує зростання інтересу щодо використання комп'ютерних моделей під час дослідження експлуатаційних властивостей транспортних засобів [1-6], розробки та дослідження алгоритмів керування автомобільним транспортом [2-4] та проведенні віртуальних випробувань транспортних засобів у різних режимах руху [5, 6].

Мета статті

Метою даного дослідження є розробка комп'ютерної моделі автопоїзда та визначення перспективи її використання в дослідженні показників його стійкості в гальмівному режимі. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати процес моделювання динаміки складних механічних систем за допомогою комп'ютерної техніки;
- розробити алгоритм побудови динамічної моделі автопоїзда в середовищі Universal Mechanism;
- побудувати комп'ютерну модель автомобільного поїзда, провести її аналіз.

Основна частина

Сучасні комп'ютерні технології багатокomпонентного моделювання механічних систем базуються на використанні низки програмних комплексів. Найбільш поширеними серед них є MSC.ADAMS, LMS Virtual.lab, SimPack, TruckSim, Universal Mechanism.

У порівнянні з класичними методами складання математичних моделей, комп'ютерне моделювання динаміки транспортних засобів із використанням вказаних програмних комплексів забезпечує облік [6]:

- тривимірності геометричних елементів, що входять до складу моделі, а також просторового позиціонування кінематичних шарнірів і точок прикладання зусиль;
- розподілу мас, моментів інерції деталей в просторовій моделі;
- кінематики підвіски;
- характеристик пружних та демпфуючих елементів;
- пружно-зчіпних характеристик шин;
- кутів встановлення керованих коліс;
- кінематики рульової трапеції;
- динаміки руху транспортного засобу при розрахунках стійкості та керованості.

Програмний комплекс Universal Mechanism включає в себе потужне універсальне ядро, що відповідає сучасним вимогам, а також низку спеціалізованих модулів, зокрема для моделювання динаміки автомобілів. Зважаючи на зручний інтерфейс та наявність усіх необхідних модулів, зокрема UM Automotive, для розробки комп'ютерної моделі, обрано програмний комплекс Universal Mechanism (ПК UM). Даний комплекс включає в себе два інструменти: UM Input, засобами якого здійснюється безпосереднє створення комп'ютерної моделі, та UM Simulation, в якому відбувається дослідження динаміки розробленої моделі. Моделювання динаміки механічних систем в ПК UM здійснюється шляхом їх подання як сукупності абсолютно твердих або пружних тіл, об'єднаних системою шарнірів та силових елементів, що визначають взаємодію пар тіл.

В основу розробки динамічних моделей в ПК UM покладено метод підсистем, що дозволяє значно спростити процес створення моделей, які містять значну кількість елементів. Завдяки повній параметризації Universal Mechanism забезпечує можливість використання ідентифікаторів та виразів при описі інерційних, геометричних параметрів, характеристики силових взаємодій елементів та створенні їхніх графічних образів. Важливою особливістю ПК UM є те, що тривимірні графічні образи елементів моделі можна створювати як безпосередньо засобами програми, так і з використанням поширених у наш час CAD програм, таких як КОМРАS, SolidWorks, AutoCAD, завдяки можливості імпорту файлів з них. Особливу увагу слід відвести процесу силового опису взаємодії пар тіл при створенні комп'ютерної моделі, для чого в UM передбачено базу різноманітних типів силових елементів. Також забезпечена можливість опису користувачем власного типу силових взаємодій засобами програмування UM.

Після повного опису моделі здійснюється процес автоматичного синтезу рівнянь руху механічної системи із використанням спеціальних алгоритмів. Реалізація даних алгоритмів у ПК UM може відбуватися в символній або чисельно-ітераційній формі [7]. Символьний синтез передбачає виведення рівнянь на одній із мов програмування (C або Pascal), для цього необхідно

використовувати зовнішній компілятор. Чисельно-ітераційний метод передбачає синтез рівнянь чисельно на кожному кроці інтегрування рівнянь руху. Формування рівнянь руху в символічній формі дозволяє оптимізувати їх з точки зору кількості арифметичних операцій, що значно впливає на швидкодію процесу моделювання. У свою чергу використання чисельно-ітераційних алгоритмів дає можливість простіше організувати моделювання систем із змінною структурою.

У результаті чисельного моделювання для проведення подальшого аналізу користувачеві доступний ряд величин [7], серед яких:

- кінематичні характеристики динамічної моделі (координати, траєкторії, швидкості, прискорення будь-яких точок, кутові швидкості та кутові прискорення тіл, характеристики відносного переміщення тіл);
- активні сили (наприклад, сили, що виникають у пружних та демпфуючих елементах);
- сили реакцій у шарнірах;
- характеристики напруження та деформації для пружних тіл.

У якості об'єкта моделювання та дослідження показників стійкості в гальмівному режимі обрано дволанковий сидельний автопоїзд у складі двовісного автомобіля-тягача Volvo FH12 та тривісного напівпричепи Krone категорії N₃+O₄. На рисунку 1 наведена його спрощена динамічна модель, що розроблена за допомогою інструменту UM Input програмного середовища Universal Mechanism.

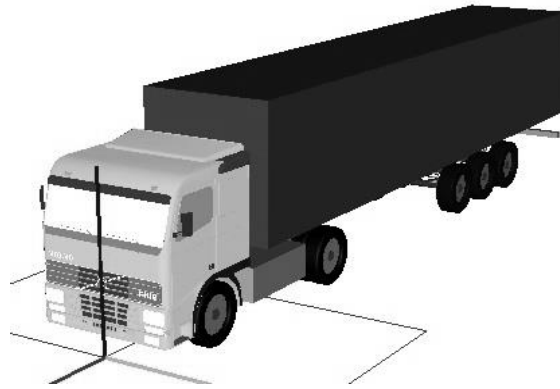


Рис. 1. Динамічна модель автопоїзда в середовищі Universal Mechanism

Під час розробки динамічної моделі автопоїзда основні характеристики моделі отримано з технічної документації. На рисунку 2 подано алгоритм і структуру підготовки динамічної моделі автомобільного поїзда в середовищі ПК UM.

Розроблена комп'ютерна модель автопоїзда складається із двох підсистем: тягача та напівпричепи, поєднаних шарнірним зв'язком, що описує характер взаємодії ланок у процесі моделювання. Графічний образ для кабіни та рами тягача розроблено з використанням САД програми КОМПАС 3D, решта графічних елементів, що входять до складу моделі, розроблено стандартними засобами ПК UM.

Геометричні, інерційні та силові характеристики елементів задано із використанням сукупності ідентифікаторів окремо для кожної підсистеми, а також частини, що належать обом підсистемам.

Підвіска ланок автопоїзда пневматична, із встановленими амортизаторами та пневмобалонами, що володіють нелінійними пружними та демпфувальними характеристиками. Загальний вигляд моделей підвісок ланок автомобільного поїзда наведено на рисунку 3.

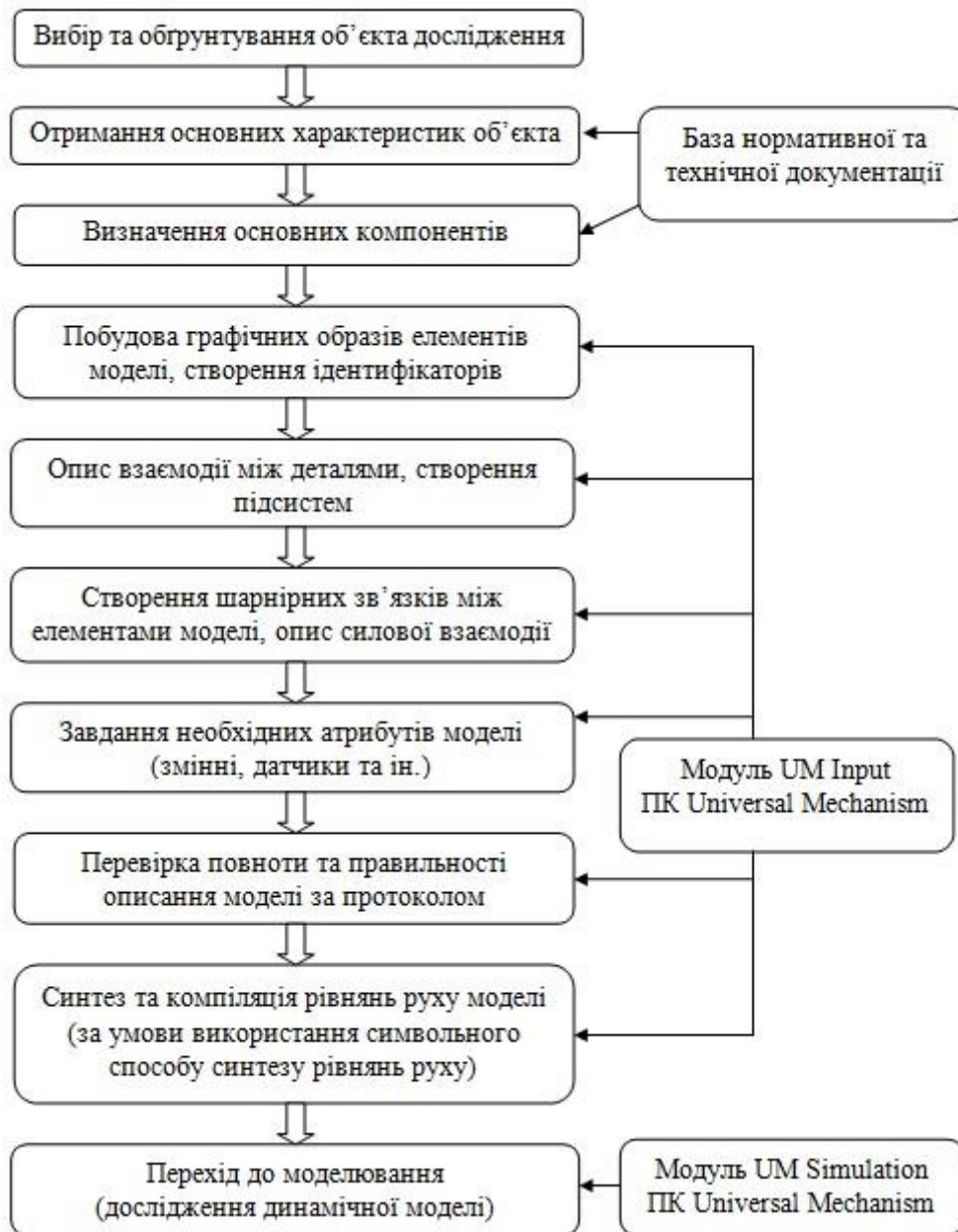


Рис. 2. Алгоритм та структура підготовки динамічної моделі автопоїзда в ПК UM

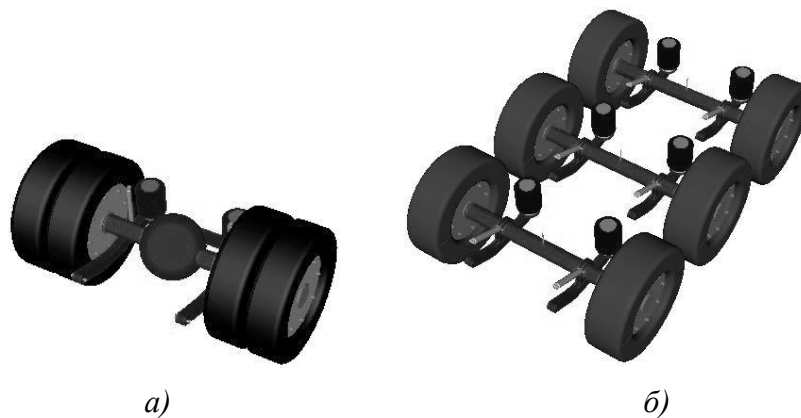


Рис. 3. Моделі підвісок ланок автопоїзда
 а) задня підвіска автомобіля-тягача; б) підвіска напівпричепа

Для синтезу рівнянь руху розробленої динамічної системи обрано чисельно-ітераційний метод, що передбачатиме синтез рівнянь на кожному кроці інтегрування у модулі UM Simulation.

На даному етапі отримано спрощену комп'ютерну модель сидельного автопоїзда. Подальші дослідження будуть спрямовані на проведення віртуальних випробувань стійкості руху автопоїзда в гальмівному режимі та аналіз показників стійкості його руху за різних вихідних умов.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що комп'ютерне моделювання є перспективним засобом у дослідженні експлуатаційних властивостей транспортних засобів у різних режимах руху. Сучасні технології комп'ютерного моделювання базуються на використанні низки програмних комплексів, найбільш поширеними серед яких є MSC.ADAMS, LMS Virtual.lab, SimPack, TruckSim, Universal Mechanism.

Завдяки зручному інтерфейсу та наявності низки спеціалізованих модулів, зокрема для моделювання динаміки автомобілів, розробку комп'ютерної моделі автопоїзда здійснено із використанням програмного комплексу Universal Mechanism. У ході дослідження розроблено алгоритм побудови комп'ютерної моделі автопоїзда в даному програмному середовищі та описано особливості моделювання в ПК UM.

В результаті роботи отримано спрощену динамічну модель дволанкового сидельного автопоїзда в складі двовісного автомобіля тягача та тривісного напівпричепа, із використанням якої в подальшому буде проведено дослідження показників стійкості руху сидельного автопоїзда в гальмівному режимі.

Список літератури

1. Житенко О.В., Кузьо І.В. Математично-комп'ютерне моделювання динаміки автопоїзда / О.В. Житенко, І.В. Кузьо // Збірник наукових праць: Галузеве машинобудування, будівництво. – Вип. 2 (32), т.1. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – С. 72-79.
2. Лисенко Р.І. Комп'ютерне та фізичне моделювання руху сидельного автопоїзда / Р.І. Лисенко, П.О. Гуменюк, В.В. Лотиш // Міжвузівський збірник «Комп'ютерно-інтегровані технології : освіта, наука, виробництво». – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – Вип. 8. – С.162-165.
3. Козак Н.О., Гуменюк Л.О. Моделювання сидельного тягача з реалізацією задньої керованої осі причепа / Н.О. Козак, Л.О. Гуменюк // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми автоматизації та управління». – Вип.1. – 2014. – С. 212-218.
4. Гуменюк П.О., Козак Н.О. Розробка комп'ютерної моделі автопоїзда / П.О. Гуменюк, Н.О. Козак // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми автоматизації та управління». – Вип.1. – 2014. – С. 202-207.
5. Выгонный А.Г. Технологии виртуальных испытаний автотракторной техники: комплексная оценка показателей управляемости и устойчивости / А.Г. Выгонный, А.Н. Колесникович, С.В. Харитончик // Сборник материалов 79-й международной научно-технической конференции «Безопасность транспортных средств в эксплуатации». – Нижний Новгород : НГТУ, 2012. – С. 9-14.
6. Компьютерное моделирование устойчивости и маневренности седельного автопоезда [Текст] / А.Н. Выгонный, О.В. Матушкина, А.А. Калинин, А.Н. Колесникович // Автомобильная промышленность: Научно-технический журнал. – 2011. – № 7. – С. 35-36.
7. Погорелов Д.Ю. Компьютерное моделирование динамики технических систем с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.universalmechanism.com/index/download/pogorelov_vkt.pdf. – Название с экрана.

Сахно В.П., Прогний П.Б. Разработка компьютерной модели автопоезда

***Аннотация.** В статье проанализированы особенности компьютерного моделирования динамики сложных механических систем в среде Universal Mechanism. Получен алгоритм построения компьютерной модели автомобильного поезда в данном программном комплексе. С использованием ПК УМ разработана упрощенная динамическая модель двухзвенного седельного автопоезда в составе двухосного автомобиля тягача и трехосного полуприцепа для исследования показателей устойчивости его движения в тормозном режиме.*

***Ключевые слова:** компьютерная модель, моделирование, седельный автопоезд, динамика торможения, устойчивость.*

Sakhno V.P., Progniy P.B. Elaboration of a computer model of lorry convoy

***Abstract.** The article contains the analysis of the features of computer modeling of the dynamics of complex mechanical systems in software Universal Mechanism. An algorithm for constructing computer model of lorry convoy in this software is obtained. The simplified dynamic model of two-unit articulated motor vehicle train, consisting of biaxial car tractor and triaxial semitrailer is developed with using software UM for study the indicators of stability of its movement in braking mode.*

***Keywords:** computer model, modeling, articulated motor vehicle train, dynamic of braking, stability.*

Стаття надійшла до редакції 30.04.2014 р.