

## РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА

Сахно В. П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Прогній П. Б., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## ELABORATION OF A COMPUTER MODEL OF LORRY CONVOY

Sakhno V. P., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Prohnyii P. B., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ АВТОПОЕЗДА

Сахно В. П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Прогный П. Б., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Вступ.** Теоретичні дослідження руху автопоїздів базуються на розробці моделей, точність і складність яких залежить від врахування тієї сукупності факторів, що впливають на характер руху ланок автопоїзда у реальних умовах експлуатації. Автомобільний поїзд являє собою складну механічну систему, дослідження динаміки якої є надзвичайно складним та трудомістким процесом. Складність побудови математичної моделі полягає у 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 в 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.** Комп'ютерне моделювання з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення є досить актуальним засобом у дослідженні динаміки складних механічних систем на сьогодні. Аналіз ряду робіт показує зростання інтересу до використання комп'ютерних моделей при дослідженні експлуатаційних властивостей транспортних засобів [1-6], при розробці та дослідженні алгоритмів керування автомобільним транспортом [2-4] та при проведенні віртуальних випробувань транспортних засобів у різних режимах руху [5, 6].

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

- проаналізувати процес моделювання динаміки складних механічних систем засобами комп'ютерної техніки;
- розробити алгоритм побудови динамічної моделі автопоїзда у 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 врахування [6]:

- тривимірності геометричних елементів, що входять до складу моделі, а також просторового позиціонування кінематичних шарнірів та 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, характеристиці силової взаємодії елементів та створенні їх 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 КОМПАС, 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 силової взаємодії 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 у 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 символній формі дозволяє оптимізувати їх з точки зору кількості арифметичних операцій, що значно впливає на швидкість процесу моделювання. У свою чергу використання чисельно-ітераційних алгоритмів дає можливість простіше організувати моделювання систем із змінною структурою.

В результаті чисельного моделювання, для проведення подальшого аналізу користувачу 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 в пружних та демпфуючих елементах);
- сили реакцій в шарнірах;
- характеристики напруження та деформації для пружних тіл.

В якості об'єкта моделювання та дослідження показників стійкості у гальмівному режимі обрано дволанковий сідельний автопоїзд у складі двовісного автомобіля-тягача Volvo FH12 та тривісного напівпричепа Kpone категорії N<sub>3</sub>+O<sub>4</sub>. На рисунку 1 наведена його спрощена динамічна модель, розроблена із використанням інструменту UM Input програмного середовища Universal Mechanism.

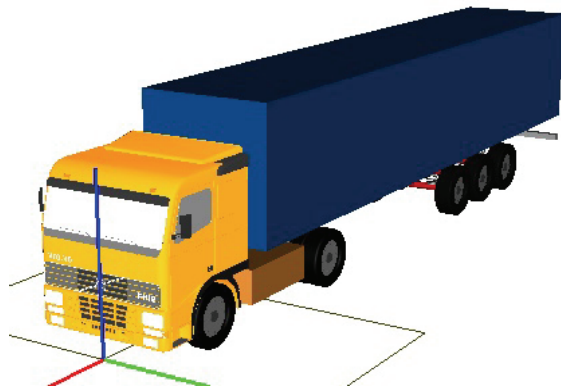


Рисунок 1 – Динамічна модель автопоїзда в середовищі Universal Mechanism

При розробці динамічної моделі автопоїзда основні характеристики моделі отримані із технічної документації. На рисунку 2 подано алгоритм та структуру підготовки динамічної моделі автомобільного поїзда в середовищі ПК UM.

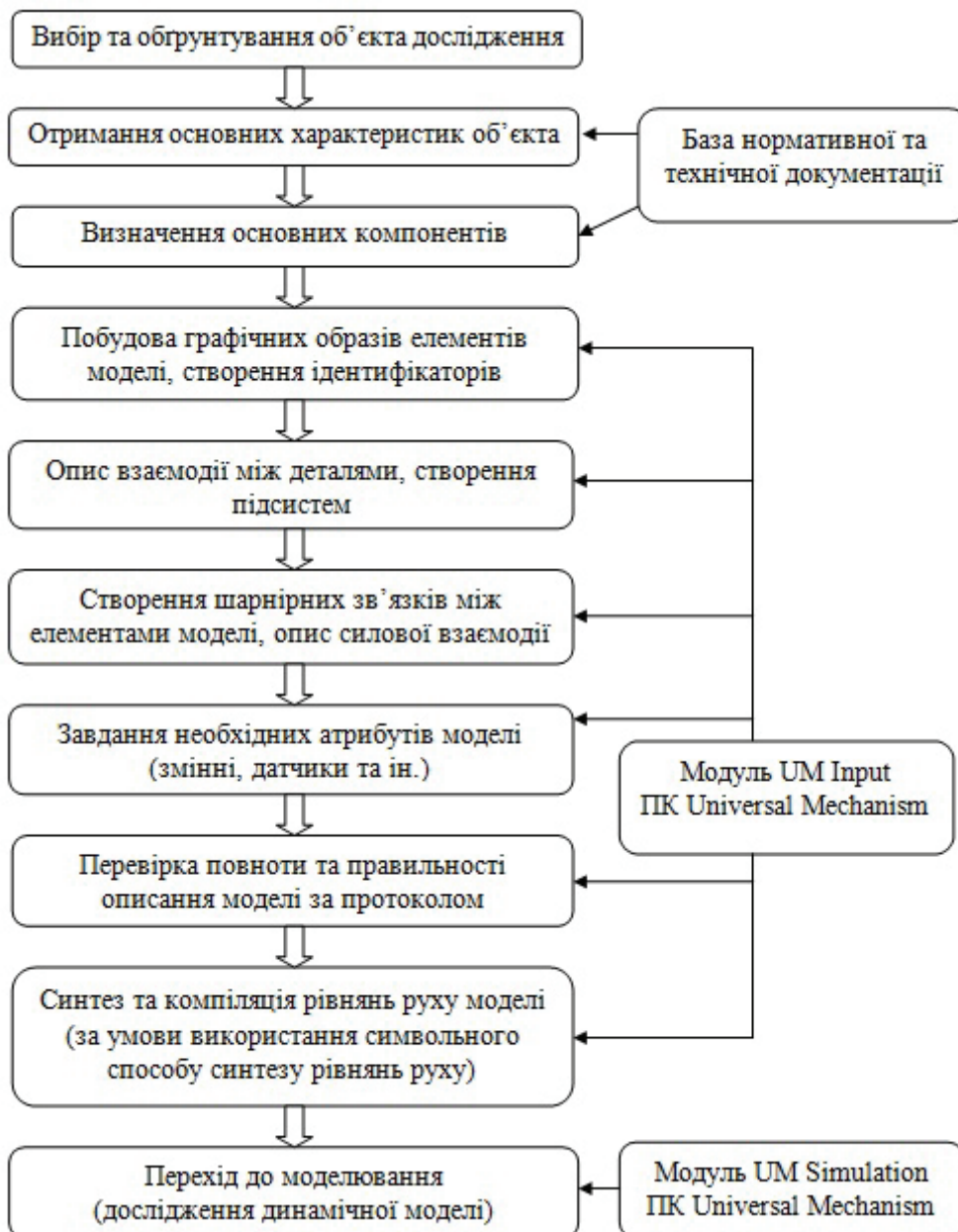


Рисунок 2 – Алгоритм та структура підготовки динамічної моделі автопоїзда в ПК UM

Розроблена комп'ютерна модель автопоїзда складається із двох підсистем: тягача та напівпричепа, які поєднані шарнірним зв'язком, що описує характер взаємодії ланок в процесі моделювання. Графічний образ для кабіни та рами тягача розроблені із використанням САД програми КОМРАS 3D, решта графічних елементів, що входять до складу моделі, розроблені стандартними засобами ПК УМ.

Геометричні, інерційні та силові характеристики елементів задані із використанням сукупності ідентифікаторів, окремо для кожної підсистеми, а також частини, які 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.

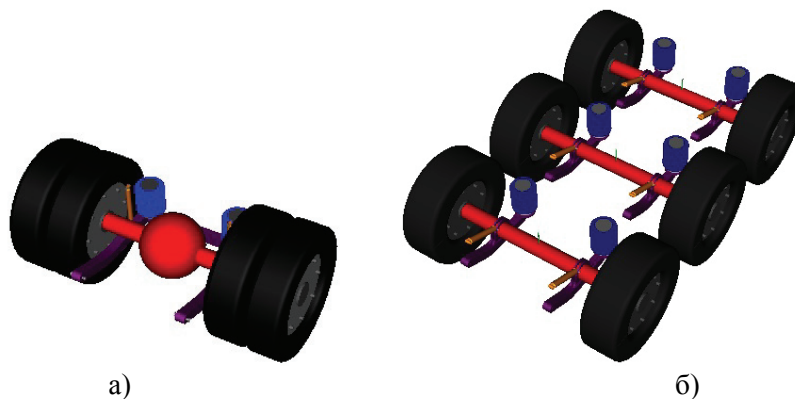


Рисунок 3 – Моделі підвісок ланок автопоїзда:  
а) задня підвіска автомобіля-тягача; б) підвіска напівпричепа

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 у гальмівному режимі та аналіз показників стійкості його руху за різних вихідних умов.

**Висновки.** В 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. В ході дослідження розроблено алгоритм побудови комп'ютерної моделі автопоїзда у даному програмному середовищі та описано особливості моделювання в ПК УМ.

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

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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 сідельного 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](http://www.universalmechanism.com/index/download/pogorelov_vkt.pdf). – Название с экрана.

#### REFERENCES

1. Zhitenko O. V., Kuz'o I. V. Mathematical-computer modeling of dynamics of lorry convoy. Zbirnik naykovukh prats: Halyzeve mashynobydyvanna, bydivnutstvo. Poltava: PoltNTU. 2012. Vol. 2 (32). P. 72-79. (Ukr)

2. Lysenko R. I., Humeniuk P. O., Lotysh V. V. Computer and physical modeling of movement of lorry convoy. Mizhvyzivskiy zbirnik "Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, virobnitstvo". Lytsk: LNTU. 2012. Vol. 8. P. 162-165. (Ukr)

3. Kozak N. O., Humeniuk L. O. Simulation of road tractor with implementation of rear steer axle of semi-trailer. Materialu vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Aktualni problemy avtomatyzatsii ta upravlinnia". 2014. Vol. 1. P. 212-218. (Ukr)

4. Humeniuk P. O., Kozak N. O. Elaboration of a computer model of lorry convoy. Materialu vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Aktualni problemy avtomatyzatsii ta upravlinnia". 2014. Vol. 1. P. 202-207. (Ukr)

5. Vyhonnyy A. G., Kolesnikovich A. N., Kharitonchik S. V. Technologies of virtual testing of automotive engineering: a comprehensive assessment of performance steering and stability. Sbornik materialov 79 mezhduнародnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Bezopasnost transportnikh sredstv v ekspluatatsii". Nizhnii Novhorod: NHTU. 2012. P. 9-14. (Rus)

6. Vyhonnyy A. G., Matushkina O. V., Kalinin A. A., Kolesnikovich A. N. Computer simulation of stability and maneuverability of the tractor train. Avtomobilnaia promishlenost. Nauchno-tekhnicheskii zhurnal. 2011. No. 7. P. 35-36. (Rus)

7. Pogorelov D. U. Computer simulation of the dynamics of technical systems using software "Universal Mechanism" [Electronic Resource]. Mode of access: URL: [http://www.universalmechanism.com/index/download/pogorelov\\_vkt.pdf](http://www.universalmechanism.com/index/download/pogorelov_vkt.pdf). - Title from the screen. (Rus)

#### РЕФЕРАТ

Сахно В. П. Розробка комп'ютерної моделі автопоїзда / В.П. Сахно, П.Б. Прогній // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

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 УМ розроблено спрощену динамічну модель дволанкового сідельного автопоїзда у складі двовісного автомобіля тягача та тривісного напівпричепа для дослідження показників стійкості його руху в гальмівному режимі.

Об'єкт дослідження – динаміка гальмування сідельного автопоїзда.

Мета дослідження – розробка комп'ютерної моделі автомобільного поїзда та визначення перспективи її використання у дослідженні показників його стійкості в гальмівному режимі.

Метод дослідження – аналітичний.

В 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. В ході дослідження розроблено алгоритм побудови комп'ютерної моделі автопоїзда у даному програмному середовищі та описано особливості моделювання в ПК УМ.

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

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ, МОДЕЛЮВАННЯ, СІДЕЛЬНИЙ АВТОПОЇЗД, ДИНАМІКА ГАЛЬМУВАННЯ, СТІЙКІСТЬ.

#### ABSTRACT

Sakhno V. P., Prohniy P.B. Elaboration of a computer model of lorry convoy. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

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.

Research object – the dynamics of braking of articulated motor vehicle train

Purpose of the study – the development of a computer model of the lorry convoy and determination of perspectives for its use in the study of indicators of its stability in braking mode.

Research method – analytical.

The analysis found that computer simulation is a promising tool in the study of the operational properties of vehicles in different modes of motion. Modern technologies of computer simulation are based on the use of a number of software systems, the most common of which are the MSC.ADAMS, LMS Virtual.lab, SimPack, TruckSim, Universal Mechanism.

Thanks to a convenient interface and the presence of a number of specialized modules, in particular for simulation of vehicle dynamics, the development of a computer model of lorry convoy is made with using of software system Universal Mechanism. An algorithm for constructing of a computer model of lorry convoy in this programming environment and a description of features of simulation in UM is developed in this study.

As a result of the study the simplified dynamic model of two-unit articulated motor vehicle train, consisting of biaxial car tractor and triaxial semitrailer is developed. The indicators of stability of lorry convoy movement in braking mode will be further studied with using of this model.

**KEYWORDS:** COMPUTER MODEL, MODELING, ARTICULATED MOTOR VEHICLE TRAIN, DYNAMIC OF BRAKING, STABILITY.

#### РЕФЕРАТ

Сахно В. П. Разработка компьютерной модели автопоезда / В.П. Сахно, П.Б. Прогний // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

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.

Объект исследования - динамика торможения седельного автопоезда.

Цель исследования - разработка компьютерной модели автомобильного поезда и определение перспективы ее использования в исследовании показателей его устойчивости в тормозном режиме.

Метод исследования - аналитический.

В результате проведенного анализа установлено, что компьютерное моделирование является перспективным средством в исследовании эксплуатационных свойств транспортных средств в различных режимах движения. Современные технологии компьютерного моделирования базируются на использовании ряда программных комплексов, наиболее распространенными из которых являются MSC.ADAMS, LMS Virtual.lab, SimPack, TruckSim, Universal Mechanism.

Благодаря удобному интерфейсу и наличию ряда специализированных модулей, в частности для моделирования динамики автомобилей, разработку компьютерной модели автопоезда осуществлено с использованием программного комплекса Universal Mechanism. В ходе исследования разработан алгоритм построения компьютерной модели автопоезда в этой программной среде, а также описаны особенности моделирования в ПК UM.

В результате работы получена упрощенная динамическая модель двухзвенного седельного автопоезда в составе двухосного автомобиля тягача и трехосного полуприцепа, с использованием которой в дальнейшем будет проведено исследование показателей устойчивости седельного автопоезда в тормозном режиме.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, СЕДЕЛЬНЫЙ АВТОПОЕЗД, ДИНАМИКА ТОРМОЖЕНИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ.**

#### АВТОРИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор, завідувач кафедри автомобілі, тел.280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 301.

Прогній Павло Богданович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри автомобілі, e-mail: pavlo\_pro@ukr.net, тел. +380976118441, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 306.

#### AUTHOR:

Sakhno Volodymyr P., Ph.D., Engineering (Dr), professor, National Transport University, professor, head of department of automobile, ph. 280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 301.

Prohnyii Pavlo B., National Transport University, postgraduate, department of automobile, e-mail: pavlo\_pro@ukr.net, tel. +380976118441, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 306.

#### АВТОРЫ:

Сахно Владимир Прохорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор, заведующий кафедрой автомобиля, тел.280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 301.

Прогний Павел Богданович, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры автомобиля, e-mail: pavlo\_pro@ukr.net, тел. +380976118441, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 306.

#### РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою двигуни і теплотехніка, Київ, Україна

Рудзінський В.В., доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет, завідувач кафедри автомобілі та автомобільне господарство, Житомир, Україна

#### REVIEWER:

Gutarevych Y.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head department of engines and heating engineering, Kyiv, Ukraine.

Rudzinsky V.V., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr stste tehnological university, head departments automobiles and automobile industry, Zhytomyr, Ukraine