

УДК 514.18 + 621.869

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПІДВІСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ У ПРОГРАМІ AUTODESK INVENTOR

Архіпов О.В., к.т.н.,
Масляєв К.В.

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(Україна)*

В роботі наведені результати розробки та впровадження методу моделювання підвіски легкового автомобіля із наперед обраними параметрами для проведення комп'ютерних експериментів та визначення плавності руху автомобіля.

За існуючими рекомендаціями авторами прийняті вихідні параметри перспективного автомобіля, а також розроблено оригінальний дизайн кузова автомобіля типу «універсал». У програмі Autodesk Fusion 360 побудована комп'ютерна модель кузова, яка була імпортована у середовище Autodesk Inventor. Значна увага приділена обранню типу передньої та задньої підвіски перспективного автомобіля. Це пов'язано з тим, що від конструкції підвіски в значній мірі залежить поведінка автомобіля на дорозі, можливість досягнення високих швидкостей і безпека при здійсненні маневрів. Зроблений розрахунок основних характеристик підвіски автомобіля (жорсткості, статичного прогину, коефіцієнту демпфірування).

Тривимірне моделювання підвіски виконано у програмі Autodesk Inventor із урахуванням геометричних параметрів автомобіля, а аналіз функціонування обраної конструкції проведено у середовищі динамічного моделювання цієї ж програми.

Комп'ютерна модель підвіски, що побудована засобами Autodesk Inventor, є параметричною та дає змогу швидко та досить суттєво змінювати геометрію окремих деталей, жорсткість підвіски, коефіцієнт демпфірування підвіски, жорсткість коліс, коефіцієнт демпфірування коліс, оцінювати всі параметри роботи підвіски.

Створена модель може бути використана для розрахунків на міцність та витривалість. За результатами роботи побудовані та проаналізовані графічні залежності, які описують навантаження на елементи підвіски та плавність руху автомобіля.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, підвіска автомобіля, дизайн автомобіля, динамічний аналіз, плавність руху, Autodesk Inventor.

Постановка проблеми. Класичні методи розрахунку підвіски автомобіля тягнуть за собою великі затрати часу та фінансових ресурсів. Також класичні підходи до її моделювання потребують виготовлення прототипів та значних витрат на проведення випробувань на полігонах або в лабораторіях. Однак, з розвитком сучасних комп'ютерних технологій, при розробці нових агрегатів і механізмів автомобіля з'являється можливість автоматизації тяжких математичних розрахунків. Застосування програми Autodesk Inventor дозволяє суттєво спростити та пришвидшити аналіз обраної конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програма Autodesk Inventor успішно використовується для параметричного моделювання деталей та вузлів автомобіля [1] та динамічного (кінематичного) аналізу роботи дорожніх машин [2, 3]. Але спроба комп'ютерного моделювання роботи підвіски легкового автомобіля проводилася лише у середовищі програми SolidWorks [4] та мала ряд недоліків.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є розробка у середовищі програми Autodesk Inventor комп'ютерної моделі підвіски перспективного легкового автомобіля та проведення дослідження впливу її геометричних, жорсткісних та демпфуючих параметрів на плавність руху автомобіля.

Основна частина. Основні характеристики перспективного автомобіля та попередні параметри його підвіски приймалися з рекомендацій по проектуванню [5]. У якості передньої підвіски була обрана підвіска Мак-Ферсона. Це пояснюється тим, що автомобіль має передній привід, та поперечне розташування двигуна. Саме даний тип підвіски займає невеликий об'єм і створює зручності при поперечному розміщенні силового агрегату [6]. У якості задньої підвіски обрана підвіска на повздовжніх важелях. Така підвіска виходить простою та компактною і, крім того, ефективно сприймає бічні зусилля. Також зберігається внутрішній простір багажника.

Кузов автомобіля відтворений поверхнями у пакеті Autodesk Fusion 360 (рис. 1). Моделі деталей підвіски будувалася у програмі Autodesk Inventor. Для спрощення, навантаження на передню та задню осі були зосереджені у двох паралелепіпедах масою 929 та 980 кг відповідно, які знаходяться по краях жорсткої рами та відповідають розрахунковій масі автомобіля з пасажиром та багажем (рис. 2).

Наступним етапом стало створення в середовищі складання програми Autodesk Inventor моделі підвіски за допомогою залежностей "суміщення", "дотик" та "кут". В процесі моделювання підвіски також робилися деякі спрощення: не враховувались пружні деформації деталей та люфти між ними; не враховувалась робота сайлентблоків (діагностування підвіски проводиться тільки при повній справності цих елементів). Такі спрощення не повинні мати

значного впливу на результати моделювання.

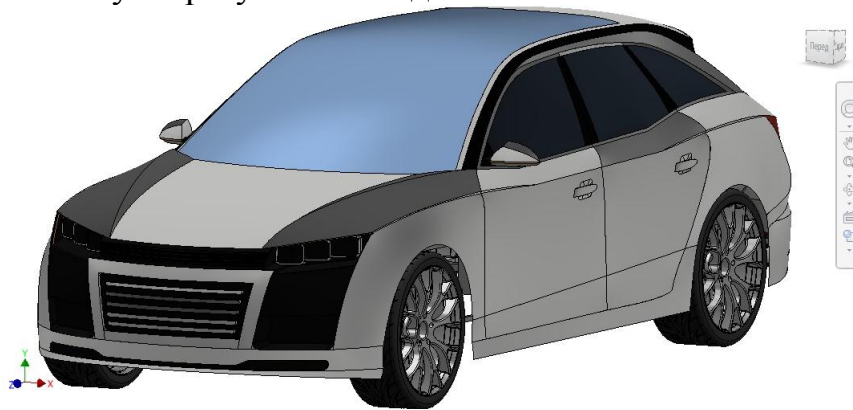


Рис. 1. Модель кузова перспективного автомобіля

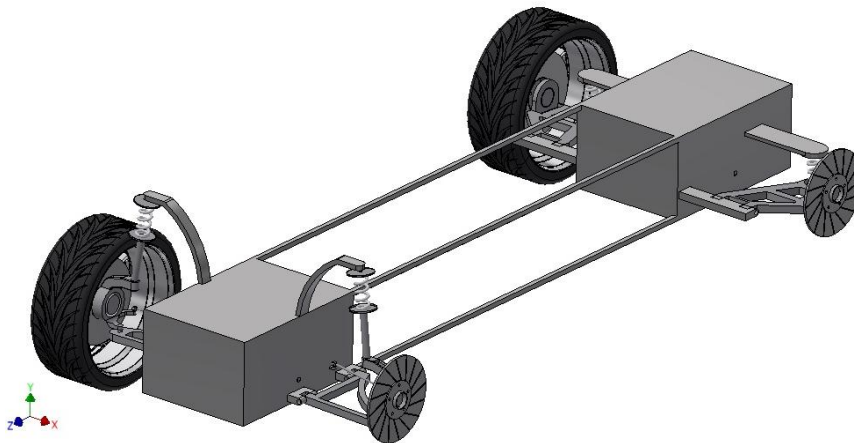


Рис. 2. Загальний вигляд моделі підвіски автомобіля

Після переходу у середовище динамічне моделювання, за умов коректного накладання залежностей складання, автоматично утворюються правильні з'єднання та групи елементів. З'єднання, крім зварювальних, визначають ступені свободи окремих деталей. Додавання з'єднань потрібно починати зі стандартних [7]. Дуже важливо при моделюванні правильно задавати локальні системи координат та забезпечувати відповідність напрямків обертання [2].

При комп'ютерному моделюванні, на стійки передньої підвіски накладалось циліндричне з'єднання з заданими границями руху. Наступним кроком було додавання "3D контакту" (рис. 3) на всі колеса. Він не дає автомобілю "провалитися" під профіль дороги та дозволяє врахувати параметри колеса: жорсткість, демпфірування, коефіцієнт тертя (рис. 4). Далі на передню та задню підвіску були додані силові з'єднання – "пружина/амортизатор/домкрат" (рис. 5). Для передньої (рис. 6) та задньої (рис. 7) підвісок були завдані розраховані параметри. До передніх коліс був прикладений розрахований крутний момент (рис. 8).

Метою створення тривимірної моделі підвіски було проведення дослідів для полегшення проектування автомобілів.

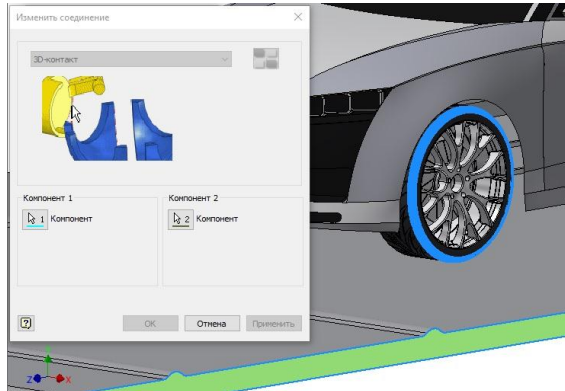


Рис. 3. Накладення 3D контакту

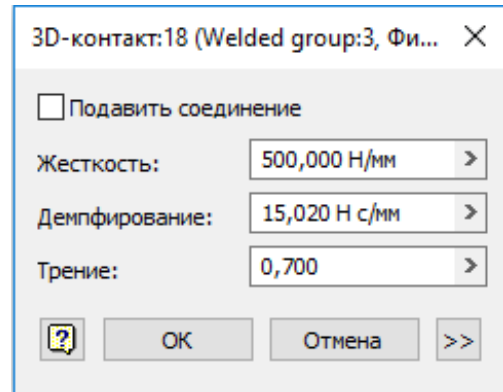


Рис. 4. Параметры 3D контакту

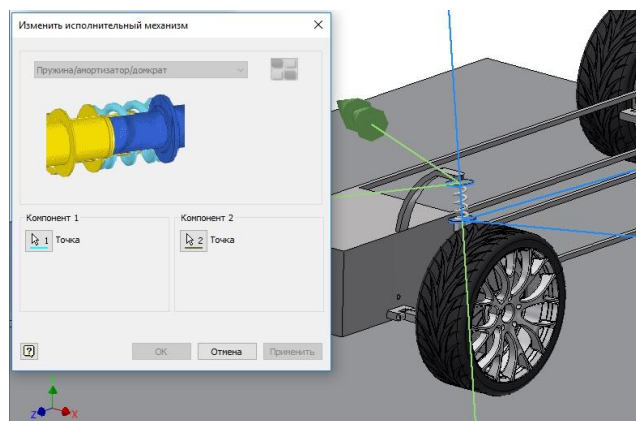


Рис. 5. Завдання силового з'єднання "пружина/амортизатор/домкрат"

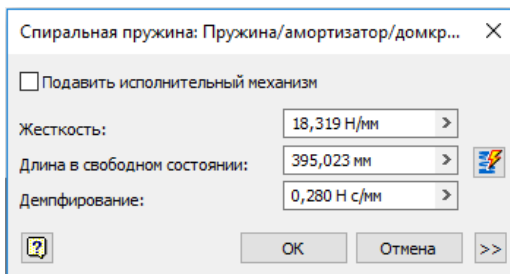


Рис. 6. Параметры з'єднання "пружина/амортизатор/домкрат" передньої підвіски

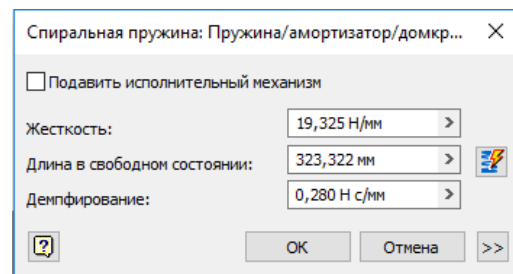


Рис. 7. Параметры з'єднання "пружина/амортизатор/домкрат" задньої підвіски

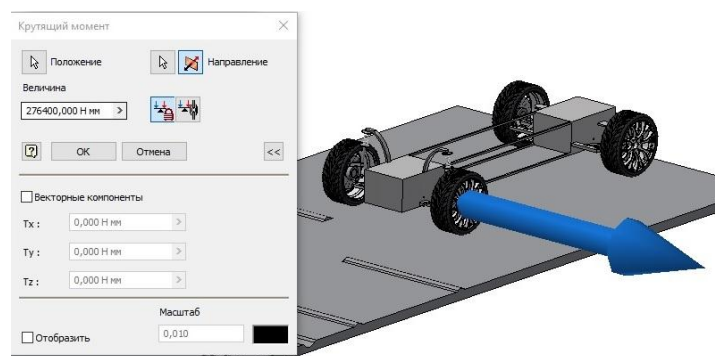


Рис. 8. Завдання крутного моменту

На основі побудованої моделі підвіски проводилося динамічне моделювання за заданими стандартними умовами [8]. Для його здійснення в середовищі програми Autodesk Inventor була побудована тривимірна модель дороги з виступами та западинами висотою/глибиною в діапазоні 15 – 35 мм, при застосуванні якої у подальшому відтворювався рух автомобіля. За допомогою пристрою графічного виводу був отриманий графік зміни довжини переднього і заднього пружних елементів підвіски (рис. 9), який відповідає висоті нерівностей дороги 25 мм. З графіків зміни довжини пружин видно, що підвіска працює в заданих режимах та без пробоїв. Також отримано графік навантажень елементів передньої і задньої підвіски (рис. 10). Передаточне відношення задньої підвіски сприяє зниженню навантаження на елементи її механізму [6]. Знак "мінус" на графіку вказує на напрямок дії сили.

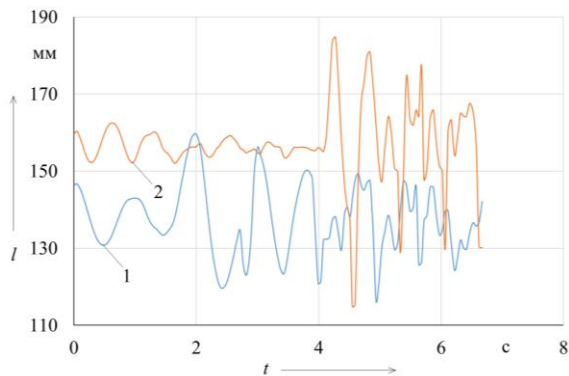


Рис. 9. Графік зміни довжини переднього (1) і заднього (2) пружних елементів

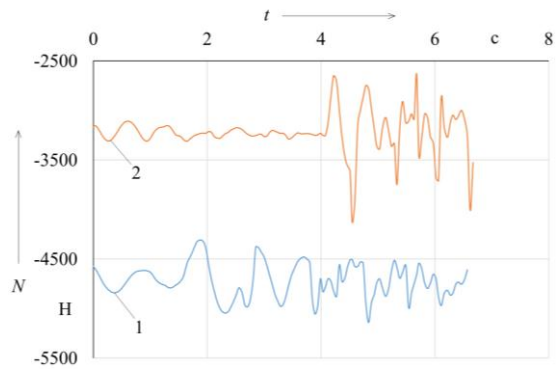


Рис. 10. Графік навантажень елементів передньої (1) і задньої (2) підвіски

На рис. 11, 12 зображені графіки вертикальних переміщень та вертикальних прискорень кузова автомобіля. З графіку переміщень кузова видно, що коливання кузова відбуваються з невеликою амплітудою та з комфортною для пасажирів частотою.

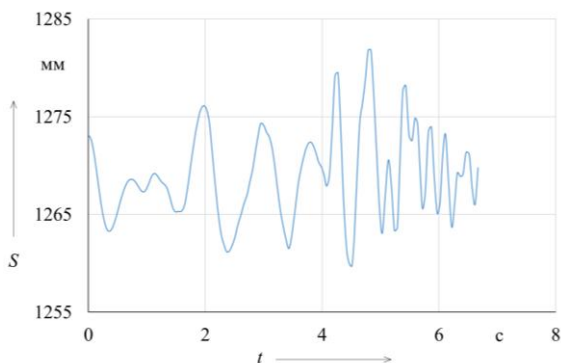


Рис. 11. Графік вертикальних переміщень кузова

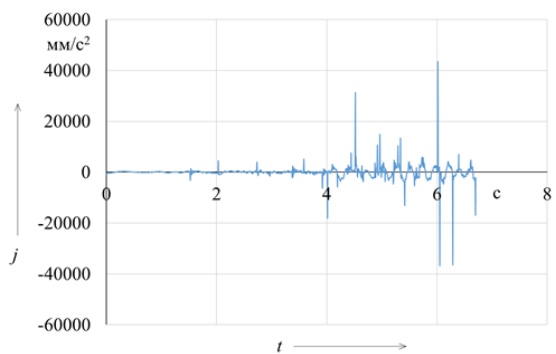


Рис. 12. Графік вертикальних прискорень кузова

При коливаннях кузова з частотами, близькими до 1 Гц, вертикальні прискорення не повинні перевищувати $0,8 - 1 \text{ м/с}^2$ [9]. Однак, на графіку (рис.12) присутні прискорення великої амплітуди та частоти. Це пов'язано з тим, що на власні низькочастотні коливання кузова автомобіля накладаються високочастотні коливання коліс.

Вертикальні коливання коліс викликають високочастотні прискорення кузова, проте вони не впливають суттєво на плавність руху автомобіля. Пасажири сприймають дані прискорення краще, ніж низькочастотні, а головне, їх легко позбутися завдяки використанню сидінь звичайної конструкції.

Висновки. Завдяки програмному пакету Autodesk Inventor, ми маємо змогу проводити кінематичний та динамічний аналіз підвіски легкового автомобіля, а також отримувати наглядну візуалізацію результатів досліджень та всі потрібні для оцінки роботи механізму графічні залежності (навантаження на елементи підвіски, вертикальні переміщення кузова, вертикальні прискорення кузова та ін.). Отримані залежності можна використовувати для розрахунку елементів підвіски автомобіля на міцність та довговічність.

Література

1. Архіпов О.В. Параметричне комп'ютерне моделювання в дизайні автомобільних вузлів та агрегатів / О.В. Архіпов, К.В. Масляєв, Д.О. Ланцов // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Прикладна геометрія та інженерна графіка". – Вип. 94. – К.: КНУБА, 2018. – С. 3–7.
2. Черніков О.В. Особливості комп'ютерного моделювання екскаватора "Menzi Muck M545" для досліджень його руху та стійкості при заданих умовах / О.В. Черніков, Є.Ю. Скларов, І.О. Швейкін // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 8. – Т. 1. – С. 46–54. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/V8T1.html> (28/09/2018).
3. Черников А.В. Исследование динамики торможения колесного трактора при помощи современных технологий компьютерного моделирования / А.В. Черников, М.П. Холодов // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць. – Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2017. – Вип. 8. – С. 154–158.
4. Волков В.П. Моделирование работы подвески легкового автомобиля с использованием пакета SolidWorks / В.П. Волков, В.Н. Павленко // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Луганск: СХУ ім. В. Даля, 2012. – Вип. 9 (189), Ч. 1. – С. 121–130.
5. Алекса Н.Н. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Автотранспортные средства» / Н.Н. Алекса, А.С. Федосов – Харьков: ХАДИ, 1990. – 32 с.

6. Иванов А.М. Основы конструкции современного автомобиля / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, В.В. Гаевский, П.Н. Клюкин, В.И. Осипов, А.И. Попов. – Изд-во «За рулём», 2012. – 336 с.
7. Динамическое моделирование в Autodesk Inventor. – URL: [http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2016/RUS/\(10/11/2017\)](http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2016/RUS/(10/11/2017)).
8. Кушвид Р.П. Испытания автомобиля: учебник / Р.П. Кушвид – М.: МГИУ, 2011. – 351 с.
9. Богомоллов В.А. Моделирование систем управления в Simulink: учеб. пособ. / В.А. Богомоллов, А.Г. Гурко, В.И. Клименко и др. – Харьков: ХНАДУ, 2018 – 220 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ В ПРОГРАММЕ AUTODESK INVENTOR

Архипов А.В., Масляев К.В.

В работе приведены результаты разработки и внедрения метода моделирования подвески легкового автомобиля с заранее выбранными параметрами для проведения компьютерных экспериментов и определения плавности движения автомобиля.

По существующим рекомендациям авторами приняты выходные параметры перспективного автомобиля, а также разработан оригинальный дизайн кузова автомобиля типа «универсал». В программе Autodesk Fusion 360 построена компьютерная модель кузова, которая была импортирована в среду Autodesk Inventor. Значительное внимание уделено избранию типа передней и задней подвески перспективного автомобиля. Это связано с тем, что от конструкции подвески в значительной степени зависит поведение автомобиля на дороге, возможность достижения высоких скоростей и безопасность при совершении маневров. Произведен расчет основных характеристик подвески автомобиля (жесткости, статического прогиба, коэффициента демпфирования).

Трехмерное моделирование подвески выполнено в программе Autodesk Inventor с учетом геометрических параметров автомобиля, а анализ функционирования выбранной конструкции проведен в среде динамического моделирования этой же программы.

Компьютерная модель подвески, построенная средствами Autodesk Inventor, является параметрической и позволяет быстро и достаточно существенно изменять геометрию отдельных деталей, жесткость подвески, коэффициент демпфирования подвески, жесткость колес, коэффициент демпфирования колес, оценивать все параметры работы подвески.

Созданная модель может быть использована для расчетов на прочность и выносливость. По результатам работы построены и

проанализированы графические зависимости, описывающие нагрузки на элементы подвески и плавность движения автомобиля.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, подвеска автомобиля, дизайн автомобиля, динамический анализ, плавность движения, Autodesk Inventor.

MODELING THE WORK OF A SUSPENSION OF A PASSENGER CAR ON A COMPUTER PROGRAM AUTODESK INVENTOR

Arkhipov A., Masliaiev K.

The paper presents the results of the development and implementation of the method for modeling a car suspension with pre-selected parameters for computer experiments and determining the move of the car.

According to the existing recommendations, the authors adopted the output parameters of the car, and also developed the original design of the body of a "station wagon" type. Autodesk Fusion 360 builds a computer model of the body that was imported into Autodesk Inventor. Considerable attention is paid to the type of front and rear suspension of a car. This is due to the fact that the behavior of the car on the road, the possibility of achieving high speeds and safety when making maneuvers largely depend on the design of the suspension. The calculation of the main characteristics of the vehicle suspension (stiffness, static deflection, damping coefficient) was made.

Three-dimensional modeling of the suspension was made in the Autodesk Inventor program taking into account the geometric parameters of the vehicle, and the analysis of the functioning of the selected structure was carried out in the dynamic simulation environment of the same program.

The computer model of the suspension, built by Autodesk Inventor, is parametric and allows you to quickly and fairly significantly change the geometry of individual parts, suspension stiffness, suspension damping coefficient, wheel stiffness, wheel damping coefficient, to evaluate all parameters of the suspension.

The created model can be used for calculations of strength and endurance. According to the results of work, graphical dependences were built and analyzed, describing the load on the suspension elements and the smoothness of the vehicle movement.

Keywords: computer simulation, car suspension, car design, dynamic analysis, smoothness of movement, Autodesk Inventor.