

УДК 629.3.027.3

DOI: 10.15276/pidtt.1.67.2022.07

Кіндрацький Б. І., Осмак О. А.

Національний університет «Львівська політехніка»

ДО ПИТАННЯ ПРО ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ І ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСОК ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ КАТЕГОРІЇ N1

***Анотація.** У статті наведено загальні відомості про вантажні електромобілі з максимальною масою до 3,5 т. Проведено аналіз їх компоновань і конструкцій підвісок. Наведено переваги та недоліки розглянутих конструкцій підвісок з точки зору простоти будови, забезпечення плавності ходу, стійкості та керованості. Розглянуто вимоги, що ставляться до них. Запропоновано критерії щодо їх оцінювання при проектуванні.*

***Ключові слова:** транспортні засоби категорії N1, електромобілі, підвіска автомобіля, експлуатаційні властивості автомобіля, плавність ходу, стійкість.*

Вступ. Електричний привід з кожним роком набуває все ширшого застосування в автомобілях різного призначення: легкових, комерційних, вантажних, мікроавтобусах, автобусах, спеціалізованих. Відмінністю таких електромобілів від традиційних автомобілів є наявність у їхньому складі важких тягових літій-іонних акумуляторних батарей. Це призводить до зміни положення центра мас автомобіля як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах, що, відповідно, впливає на розподіл навантаження на передню та задню осі автомобіля. Перерозподіл навантаження на осі автомобіля впливає на його керованість, плавність ходу і стійкість. Крім цього, особливістю електромобілів категорії N1 є велика різниця між їхньою спорядженою і повною масою [1]. Як наслідок, підвіска електромобіля категорії N1 для забезпечення вимог до його плавності ходу, керованості та стійкості руху повинна забезпечувати відповідні пружні й дисипативні властивості у широкому діапазоні. Цілком очевидно, що одночасно забезпечити високу плавність ходу, керованість і стійкість електромобіля не реально, тому доводиться розв'язувати задачу вибору структури і конструктивних параметрів підвісок на основі компромісу між рівнем забезпечення перелічених властивостей.

Отже, актуальною задачею при проектуванні електромобілів категорії N1 є обґрунтування структури і конструктивних параметрів передньої та задньої підвісок за багатьма критеріями, що ставляться до їхніх експлуатаційних властивостей.

Аналіз публікацій. Дослідженню експлуатаційних властивостей автомобілів, зокрема плавності ходу, керованості та стійкості руху, присвячено багато праць [2 — 6, та ін.]. Загальний огляд досліджень, пов'язаних з плавністю ходу автомобілів, наведено в [7]. Однак, слід зазначити, що більшість з них стосуються автомобілів з традиційними ДВЗ і характерними для них особливостями будови та розподілу навантаження на осі.

Стійкість руху (здатність зберігати заданий напрям руху при дії зовнішніх сил, чинити опір заносу чи перекиданню) пов'язана з кінематичними особливостями підвіски, здатністю забезпечувати постійний контакт шини з опорною поверхнею [8]. Досліджень впливу структури і параметрів підвіски на стійкість руху електромобілів категорії N1 у відомій нам літературі не виявлено.

Мета і постановка задачі дослідження. Мета дослідження — провести аналіз конструкцій підвісок, які застосовуються в електромобілях категорії N1, їхніх властивостей і запропонувати критерії оцінювання досконалості структури та конструктивних параметрів підвісок з врахуванням будови електромобіля та вимог до його експлуатаційних характеристик.

Види й характеристика підвісок електромобілів категорії N1. Електромобілі категорії N1 (вантажні автомобілі з максимальною масою до 3,5 т [9]) найчастіше виготовляють на базі відповідних автомобілів з ДВЗ. Рідше — розробляють з «чистого листа». Причому останні можуть бути як загального користування, так і спеціальними, для виконання переважно нетранспортних робіт. До останніх можна віднести автомобілі комунальних служб. Використання у цій сфері електромобілів, обумовлене відсутністю потреби у значному запасі ходу (характерному автомобілям з ДВЗ) та малими швидкостями руху (сприятливими для роботи тягової акумуляторної батареї), екологічними вимогами.

Компонування автомобілів VW ABT e-Caddy (Німеччина) [10], Opel Combo-e та Vivaro-e [11] (Німеччина), Renault Kango Z.E. (рис. 1 а) [12], Citroën ë-Berlingo (Франція) [13], Fiat Doblo Electrica (Італія), BYD T3 (Китай) [14] — передньопривідне, з властивими йому перевагами: технологічністю, компактністю (максимально можливою при застосуванні електродвигуна), відсутністю схильності до заносу (недостатня поворотність). Технологічність полягає у тому, що при складанні автомобіля компактний електродвигун з трансмісією, підвіскою та колесами, змонтованими на підмоторній рамі, монтують на автомобіль за одну технологічну операцію. Також таке компонування виключає потребу у трансмісійному тунелі. Однак у випадку електромобіля простір у межах колісної бази займає важка літій-іонна батарея, що вимагає збільшення механічної міцності днища кузова. Недоліком передньопривідного компонування є, зокрема,

відсутність динамічного завантаження ведучої осі при розгоні, більше зусилля на кермі, нерівномірний знос шин (інтенсивніший знос шин передніх керованих та ведучих коліс).

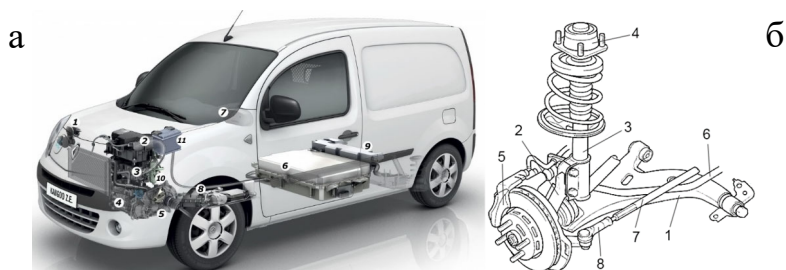


Рисунок 1 — Компонування електромобіля Renault Kangoo Z.E. (а), підвіска Макферсон, та пов'язані з нею компоненти (б): 1 – поперечний важіль, 2 – поворотний кулак; 3 – пружинно-амортизаторна стійка; 4 – опора стійки; 5 – дисковий гальмівний механізм; 6 – штанга стабілізатора; 7 – поперечна кермова тяга; 8 – наконечник тяги

Передня підвіска типу Макферсон – характерна для переднього приводу (рис. 16) [15]. Підвіска одного колеса містить тільки один поперечний важіль, поворотний кулак та пружинно-амортизаторну стійку, що через опору з'єднується з кузовом. Тому конструкція компактна у поздовжньому та поперечному напрямках. Для зменшення поздовжнього крену («кльовання» при гальмуванні та «присідання» при розгоні) L-подібний важіль має широко розташовані точки кріплення до підмоторної рами. Центральна вісь амортизаторної стійки не співпадає з віссю повороту колеса, що потрібно з конструвальних міркувань та для зменшення сили тертя між циліндром та поршнем амортизатора при поворотах колеса. Попри простоту конструкції і відповідну їй зручність обслуговування (регулювання потребує тільки сходження коліс) та ремонту (малу кількість гумометалевих втулок «сайлент-блоків», всього одну кульову опору) підвіска має недоліки. У першу чергу, це недосконала кінематика, що сприяє більшій зміні кута розвалу при ходах підвіски (і відповідно плями контакту шини з опорною поверхнею) і, як наслідок, зменшує стійкість. Крім цього, зусилля від підвіски передаються на кузов, що вимагає його більшої механічної міцності та жорсткості (встановлення додаткових поперечин між «чашками» опор у крилах) [16].

Передній привод дає змогу спростити конструкцію задньої підвіски, зробивши її достатньо компактною, технологічною та надійною. Важільно-торсійна підвіска (рис. 2, «підвіска зі зв'язаними важелями») [17] містить поперечну штамповано-зварну балку зі всього двома гумометалевими втулками («сайлент-блоками» з ресурсом, подекуди рівним ресурсу автомобіля), якими вона через кронштейни кріпиться до кузова. Другою парою точок кріплення є амортизатори.

До кінців балки кріпляться, гальмівні механізми та осі з цапфами, на яких на маточинах з підшипниками обертаються колеса. Така конструкція зручна з точки зору обслуговування (якого вимагає тільки підшипниково-маточинний вузол і гальмівний механізм) та ремонту — заміни пружин, амортизаторів. До недоліків такої підвіски слід віднести недосконалу кінематику, непостійність плями контакту при ходах підвіски. Така конструкція не належить до залежного чи незалежного типу підвіски, а є проміжним «напівнезалежним варіантом». Балка відіграє роль як направляючого елемента, так і, до певної міри, пружного. Часто поперечина балки має U-подібний переріз, що забезпечує значну жорсткість на згин та незначну на кручення. До певної величини ходу колеса підвіска працює як незалежна, понад певний хід — як залежна. На властивість підвіски впливає розміщення поперечини балки відносно осі обертання коліс. Ближче до осі — підвіска більшою мірою залежна, далі від осі — незалежна [17]. Повністю залежний варіант підвіски зображений на рис. 2 праворуч (Fiat Scudo, Opel Vivaro). Така підвіска ще доповнюється поперечною реактивною тягою (тягою Панара) для сприймання бокових зусиль, які виникають при русі на повороті (під дією відцентрової сили), перелаштуванні, дії бокового вітру. У рідкісних випадках поперчну тягу замінює механізм Ватта.

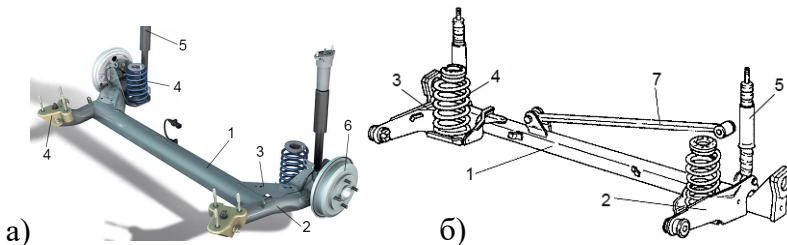


Рисунок 2 — Підвіски зі зв'язаними важелями: а – напівзалежна, б – залежна, 1 – поперечина; 2 – поздовжній важіль; 3 – підсилювач; 4 – пружина; 5 – гідравлічний телескопічний амортизатор; 6 – барабанний гальмівний механізм; 7 – тяга Панара (поперечна реактивна тяга)

Альтернативою пружинній важільно-торсійній підвісці є звичайна залежна підвіска на поздовжніх ресорах (рис. 3, VW ABT e-Caddy). Ресора має прогресивну характеристику (різну жорсткість за наявності та відсутності навантаження), сприймає не тільки вертикальні зусилля, але й повздовжні та поперечні. Це дає змогу відмовитись від направляючих елементів підвіски (поздовжніх чи поперечних тяг). Однак протидіють боковим зусиллям на великих швидкостях ресори слабше, що призводить до переміщення осі (моста) у поперечному напрямі та втрати керованості. Застосування ресор дає змогу збільшити вантажність підвіски. Однак недоліком як такої, так і важільно-торсійної підвісок буде більша, порівняно з будь-якою

незалежною підвіскою, невідресорена маса, що відобразатиметься на плавності ходу і стійкості автомобіля.

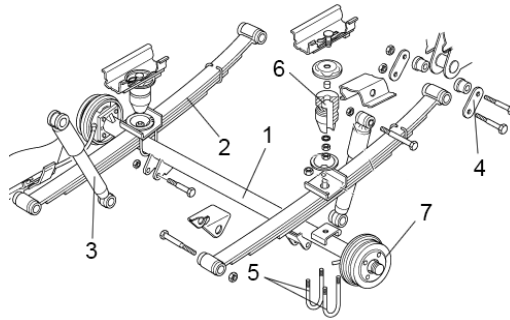


Рисунок 3 — Залежна ресорна підвіска задніх коліс VW Caddy:
1 – балка; 2 – поздовжня ресора; 3 – гідравлічний телескопічний амортизатор; 4 – серга; 5 – U-болти «стремянки»; 6 – буфер стиску; 7 – барабанний гальмівний механізм

Спроектвані під застосування електродвигуна автомобілі Rivian EV (США) [18] мають повнопривідне компонування, що забезпечується двома електродвигунами передньої та задньої осей. Електродвигуни та тягова акумуляторна батарея змонтовані на рамному шасі. Причому шасі слугує платформою вантажного автомобіля фургона категорії N2 (Rivian Prime).

Передня підвіска Rivian R1T (рис. 4) – класична незалежна на подвійних поперечних важелях (Double-Wishbone). Подібну конструкцію можна зустріти на автомобілях підвищеної прохідності (Toyota Land Cruiser, Mitsubishi L200 тощо). На переважній кількості легкових автомобілів ця підвіска витіснена багатоважільною (автомобілі середнього та високого класу) чи підвіскою типу Макферсон.

У підвісці електромобіля Rivian невяматичний пружний елемент 4 суміщений з гідравлічним амортизатором (рис. 4). Попри порівнянну складність — наявність 4 важелів, 8 гумометалевих втулок важелів («сайлент-блоків»), 4 кульових шарнірів така підвіска має досконалішу кінематику. Також їй сприяє більша відстань між верхніми (коротшими) та нижніми (довшими) важелями. При ходах підвіски зміна розвалу і, як наслідок, плями контакту шини з дорожньою поверхнею менша. Для цієї підвіски характерним є відносно високе положення верхніх важелів, висока поворотна стійка (кулак). Нахил осей кріплення важелів обумовлений розташуванням центра поздовжнього крену.

Таку підвіску можна зустріти й в електромобілі Bollinger, причому як підвіску передніх, так і задніх коліс. Однак суттєвою відмінністю підвіски легкого вантажного автомобіля підвищеної прохідності є гідропневматичні пружні елементи [19].

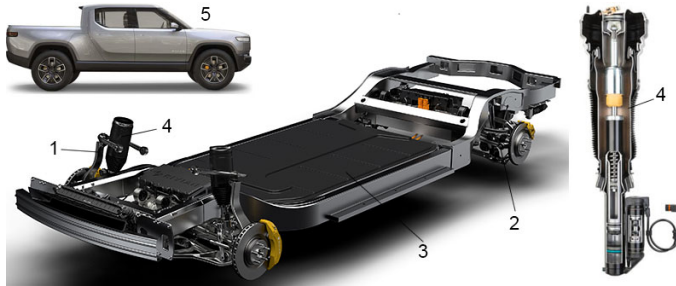


Рисунок 4 — Рамне шасі електромобіля Rivian: 1 – підвіска на подвійних поперечних важелях; 2 – багатоважільна підвіска; 3 – тягова акумуляторна батарея; 4 – пневматичний пружний елемент суміщений з амортизатором; 5 – загальний вигляд Rivian R1T

Задня підвіска електромобіля Rivian — незалежна багатоважільна (Multilink), що відрізняється значною вартістю, складністю в експлуатації та ремонті. Обслуговування підвіски полягає у періодичному регулюванні розвалу та сходження. Складність ремонту обумовлена великою кількістю важелів, тяг, гумометалевих втулок, кульових шарнірів, утрудненим доступом до них. Однак її досконала кінематика (стабільність плями контакту шини з опорною поверхнею) і менша величина невіднесених мас забезпечують добрі показники стійкості, керованості та плавності ходу електромобіля.



Рисунок 5 — Вантажний електромобіль Ecarru

В окрему категорію можна віднести спеціальні електромобілі з повною масою до 3,5 т. Їх використовують комунальні службами, у кур'єрських доставках на короткі дистанції тощо. Зображений на рис. 5 електромобіль Ecarru (Італія) має залежні ресорні підвіски передніх та задніх коліс [20]. Його максимальна швидкість не перевищує 80 км/год, що потрібно для забезпечення запасу ходу (250 км). Мала швидкість та призначення електромобіля і визначають несуттєві вимоги до стійкості та плавності ходу.

Існують інші (нетривіальні) підходи до забезпечення потрібних характеристик підвісок, зокрема, їх адаптації до умов руху автомобіля [21 – 22]. Використання електрогенераторів у якості регуляторів пружно-в'язких властивостей підвіски в електромобілях видається

достатньо привабливим, однак потребує додаткових досліджень і обґрунтування їхніх конструктивних параметрів та алгоритмів і систем керування.

Як випливає з аналізу будови й характеристик підвісок, що застосовуються в електромобілях категорії N1, вони істотно відрізняються за складністю, технологічністю обслуговування і ремонту, впливом на експлуатаційні властивості електромобіля.

Усталеного підходу до вибору структури й параметрів підвіски для таких автомобілів немає. Залежно від призначення і вимог до електромобіля виробники надають перевагу тій, чи іншій конструкції підвісок.

На наш погляд, для обґрунтування структури й параметрів підвіски електромобілів категорії N1 потрібно розробити методіку багатокритеріального оцінювання їх відповідності транспортному засобу. До таких критеріїв слід віднести показники плавності ходу, керованості, стійкості, складності конструкції, трудомісткість обслуговування та ремонту підвіски.

Розроблення відповідних математичних моделей та алгоритмів багатокритеріального структурного синтезу й оптимізації параметрів підвісок дасть можливість обґрунтовано вибирати конструкцію підвіски та її параметри для електромобіля, залежно від його призначення та вимог до експлуатаційних характеристик.

Висновки. Загалом конструкції підвісок вантажних електромобілів повною масою до 3,5 т здебільшого повторюють конструкції підвісок автомобілів з ДВЗ. Однак велика вага і розташування тягової акумуляторної батареї у межах колісної бази змінюють положення центра мас електромобіля в горизонтальній та вертикальній площинах, що потребує коригування параметрів його системи підресорювання з метою забезпечення заданих експлуатаційних властивостей, зокрема плавності ходу, стійкості та керованості.

Список використаної літератури

1. Войтків С.В. Методика оцінки технічної ефективності електромобілів малої вантажопідйомності / Автомобільний транспорт, Вип. 47. – 2020. – С. 21-30.

2. Войтенко В.А. Математичне моделювання пружної підвіски автомобіля / В.А. Войтенко. Электротехнические и компьютерные системы. Автоматизированные электромеханические системы. – 2016. – №10 (86) – С. 33–40.

3. Ларін О.О. Розрахункові дослідження показників плавності ходу спеціалізованого транспортного засобу з системою підресорювання що має квазінульову жорсткість при випадкових

збуреннях нерівностями дороги / О.О. Ларін, О.О. Водка, Р.О. Кайдалов, В. М. Баштовий // Науковий вісник: цивільний захист та пожежна безпека. — 2016. — № 1. — С. 117–126. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcfps_2016_1_19

4. Мельничук С.В. До питання підвищення показників плавності ходу автомобіля категорії М1. Програмно-апаратний комплекс для проведення натурного дослідження підвіски / С.В. Мельничук, І.В. Вітюк, І.А. Бовсунівський. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. — 2014. — №1. — С. 73–79.

5. Артюшенко А. Д. Дослідження впливу характеристик підвіски автомобіля малого класу на плавність ходу та її модернізація / А. Д. Артюшенко, О. Г. Суярков // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХП» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Транспортне машинобудування. — Харків : НТУ «ХП». — 2013. — № 31 (1004). — С. 21-27.

6. Поляков В.М. Визначення параметрів роботи підвіски автомобіля при його русі по нерівній опорній поверхні / В.М. Поляков, О.О. Разбойников // Вісник Національного транспортного університету. — 2017. — № 3. — С. 117–126. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vntu_2017_3_17

7. Житенко О.В. Сучасний стан дослідження коливань та плавності ходу колісних транспортних засобів / О.В. Житенко. // Науковий вісник НЛТУ України. — 2008. — №18. — С. 103–106.

8. Башинський А.Л. Метод оцінки поперечної стійкості автомобіля під час наїзду на перешкоду за умови зчеплення коліс / А.Л. Башинский // Автомобильний транспорт. — 2017. — Вып. 40. — С. 88-93. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/at_2017_40_16

9. Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (Зведена резолюція про конструкцію транспортних засобів) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://unece.org/classification-and-definition-vehicles> (дата звернення: 18.11.2021).

10. Короткі технічні характеристики електромобіля ABT e-Caddy на сайті виробника [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.abt-eline.com/electric-vehicles/abt-e-caddy> (дата звернення: 18.11.2021).

11. Короткі технічні характеристики електромобіля Opel Vivaro-e на офіційному сайті дилера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.opel.de/nutzfahrzeuge/vivaro/vivaro-e> (дата звернення: 18.11.2021).

12. Короткі технічні характеристики електромобіля Renault Kangoo Z.E. на офіційному сайті виробника [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/kangoo-z-e-2> (дата звернення: 18.11.2021).

13. Короткі технічні характеристики електромобіля Citroën E-

Berlingo на сайті дилерської мережі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.citroen.co.uk/models/berlingo.html> (дата звернення: 18.11.2021).

14. Короткі технічні характеристики електромобіля BYD T3 на сайті офіційного дилера китайського виробника BYD у Сінгапурі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sg.byd.com/t3> (дата звернення: 18.11.2021).

15. Don Knowles. Shop Manual for Automotive Suspension & Steering: Classroom Manual for Automotive Suspension & Steering Systems. Don Knowles / Don Knowles. – 1072 с. – (5th Edition). – (ISBN 143548827X, 9781435488274).

16. Heibing B. Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives / B. Heibing, E. Metin. – Berlin: MercedesDruck, 2011. – 590 с. – (1st Edition). – (ISBN 978-3-8348-0994-0).

17. Reimpell J. Automotive Chassis: Engineering Principles / J. Reimpell, H. Stoll, J. Betzler. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. – 444 с. – (2nd Edition). – (ISBN 0 7506 5054 0).

18. Короткі технічні характеристики електромобіля Rivian R1T на сайті виробника [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://rivian.com/r1t> (дата звернення: 18.11.2021).

19. Офіційний сайт виробника електромобілів Bollinger Motors (США) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bollingermotors.com/b2cc/> (дата звернення: 18.11.2021).

20. Короткі технічні характеристики електромобіля Ecarrу на сайті виробника [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://green-g.it/technical-specifications/?lang=en> (дата звернення: 18.11.2021).

21. Fingas J. GenShock electricity-generating active suspension is coming to passenger cars, eventually // Engadget [Електронний ресурс]. URL: <https://www.engadget.com/2013/09/01/zf-levant-power-active-regenerative-suspension-cars/> (дата звернення: 01.11.2021).

22. Стыров А.Е. Подход к использованию рекуперации энергии в электромеханической активной подвеске транспортного средства // Сборник научных трудов НГТУ. — 2015. — № 2 (80). — С. 106–115.

**TO THE QUESTION OF N1 CATEGORY ELECTRIC VEHICLES
SUSPENSION STRUCTURE AND PARAMETERS SUBSTINATION**
Kindratskyu B., Osmak O.

Lviv Polytechnic National University

Extended summary. The article considers general design features of an electric vehicles having maximum mass not exceeding 3.5 tones, their layout. The suspension designs of common N1 electric vehicles

manufactured in different countries (Opel, Volkswagen ABT, Renault, Citroën, BYD, Rivian, etc.) are examined. Moreover, it is considered as electric cars made on the basis of available in production cars with traditional internal combustion engines and developed for the use of an electric power plant. The advantages and disadvantages of existing suspensions in terms of simplicity of their design, compactness, production costs, further maintenance and repair costs, ensuring the car performance properties. Among the performance properties are ride quality (in the general case, it is estimated by the frequency of oscillations and accelerations of the sprung mass), stability (ability to resist roll-over and overturning), controllability (ability to maintain a given direction of movement), etc. Criteria for assessing the perfection of the suspension structure, their parameters in terms of purpose and structure of the electric vehicle are proposed.

Keywords. *N1 vehicle category, electric vehicles, automotive suspension, automotive operational properties, ride quality, stability*