



ЗАДВИЖВАЩИ СХЕМИ НА ЕЛЕКТРОМОБИЛИТЕ – РАЗВИТИЕ И АНАЛИЗ

Атанас Николов, Васил Димитров
atanas.p.nikolov@abv.bg, vdimitroff@vtu.bg

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”
София, ул. „Гео Милев” № 158
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: *електромобил, задвижване, динамика, спиране*

Резюме: *В доклада са представени различни компановъчни схеми за задвижване на електромобили, които първоначално най-често са базирани на задвижващите схеми на автомобилите с двигател с вътрешно горене. При електромобилите, поради по-компактния и непретенциозен електродвигател, има възможност и за по-удобни и ефективни задвижващи схеми, включително и перспективното индивидуално задвижване чрез отделни мотор-колела. Разгледани са конструктивните особености, предимствата и недостатъците при различни разположения на един или няколко електродвигателя и задвижване на предните, на задните или и на четирите колела. От задвижващата схема зависи обемът на пътническото и багажно пространство и неговото разположение, а също и масата на електромобила и нейното разпределение във височина и надлъжно между предните и задните колела, което влияе на устойчивостта при движението. От натоварването на задвижващите колела и сцеплението им с пътя зависят опорно-сцепната проходимост, възможността за преодоляване на максимален наклон при изкачване, за интензивно ускоряване и за регенерация при интензивно спиране. При използване на мотор-колела, освен другите предимства, има възможност да се подобри и профилната проходимост поради отпадане на механичната предавателна система под пода на електромобила.*

ВЪВЕДЕНИЕ

При първите автомобили двигателят задвижвал задната ос и бил поставян над нея [1]. Да се задвижват предните управляеми колела било твърде сложно за реализация. Над силовото задвижване се поставяла каросерията и така центърът на тежестта на автомобила бил висок и устойчивостта му срещу преобръщане – ниска [2]. С това разположение на двигателя натоварването на задната ос е прекомерно, а на предната недостатъчно и се влошава управляемостта на автомобила. За избягване на всички тези недостатъци, двигателят започва да се разполага в предната част на автомобила, пред купето за пътниците, а задните колела се задвижват чрез карданен вал. Първите автомобили с това задвижване са *Renault* (1896), *Daimler Phönix* (1898), *Norch* (1900) и Легендарният *Форд-Т* (1908) [2]. Тази схема на задвижване е най-широко използвана до 20^{-те} – 30^{-те} години на 20^{-ти} век и затова е наречена класическа.

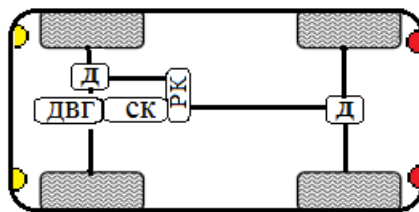
Едно от изключенията е електромобилът *Lohner-Porsche*, задвижван от два електродвигателя, разположени в главините на предните колела, който е първият електромобил с индивидуално задвижвани мотор-колела, представен на изложението в Париж през 1900 г. [3]. На следващата година е показан и първият хибриден автомобил *Lohner-Porsche Mixte*, който е предлаган освен с мотор-колела на предната управляема ос, и във вариант със задвижване на всички колела (4x4).

Класическата схема на задвижване също има своите недостатъци като увеличаване на масата заради отдалечеността на двигателя от задвижващите колела и необходимостта от дълъг карданен вал, отделни скоростна кутия, главно предаване и диференциал, а всички тези механизми се нуждаят и от място. Получава се и недостатъчно сцепление на задните двигателни колела, когато автомобилът не е натоварен и пътят е хлъзгав.

За избягване както на високия център на тежестта на първите автомобили, така и на недостатъците на класическата задвижваща схема, около трийсетте години на 20 век започва да се прилага задното разположение на двигателя, зад задната задвижваща ос (Tatra, Porsche, Volkswagen). При тази схема на задвижване центърът на тежестта вече не е така висок, както при първите автомобили. В сравнение с класическата схема предимствата на задното разположение на двигателя са по-ниска себестойност и тегло. Сцеплението на задвижващите колела с пътя и съответно проходимостта са много по-добри. Недостатъците са освен ниското натоварване на предната ос и прекомерното на задната, също и по-трудното охлаждане на задноразположения ДВГ, както и по-малкият багажник отпред, заради кормилните щанги и по-широките калници на завиващите предни колела.

През 20^{-те} и 30^{-те} години на 20^{-ти} век започва да се използва задвижването на предните колела като първите такива автомобили не са били много надеждни [4]. С прилагането на карданни шарнири с равни ъгли скорости на автомобил *DKW* през 1931 г. започва постепенно увеличаване на броя на моделите автомобили със задвижване на предните колела. Предимствата в сравнение с класическото задвижване са по-ниско тегло, по-равен под и голям обем на купето и багажника, по-ниска себестойност. Автомобилите с предно задвижване понастоящем са най-масово произвеждани [2]. Значителното тегло на ДВГ и трансмисията върху предните задвижващи и управляеми колела е причина за по-доброто им сцепление с пътя. Максималното ускорение и максималният изкачван наклон обаче са ограничени, заради преместването при тези режими тежестта на автомобила в задната му част, при което предните задвижващи колела се разтоварват и буксуват, особено при натоварен автомобил. За намаляване на този недостатък ДВГ се разполага малко пред предната ос, с което я натоварва допълнително, но дисбалансът на масите се увеличава и се скъсява междуосието спрямо дължината на автомобила. Най-равномерно натоварване на осите се получава, когато ДВГ е разположен по средата на автомобила. В този случай обаче двигателят заема мястото на пътниците на задната седалка, което е подходящо само за спортните автомобили.

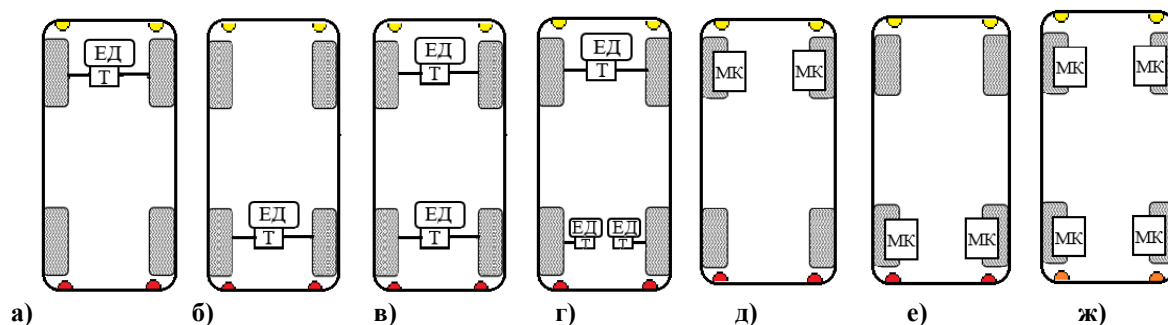
Най-добро сцепление за реализиране теглителната сила на двигателя имат автомобилите със задвижване на всички колела (фиг. 1) и затова понастоящем тяхното разпространение е значително във връзка с голямата мощност и въртящ момент на съвременните двигатели. Недостатъци на пълното задвижване са по-високата себестойност, тегло и консумация на гориво. Задвижване на всички колела от един ДВГ води до усложняване трансмисията на автомобила и нейното управление, появата на шум и вибрации [2, 3].



Фиг. 1. Задвижваща схема на автомобил 4x4
 СК - скоростна кутия, РК - разпределителна кутия с междуосен диференциал,
 Д - Диференциали и главни предавания на предната и задната ос.

СХЕМИ НА ЗАДВИЖВАНЕ НА СЪВРЕМЕННИТЕ ЕЛЕКТРОМОБИЛИ

В съвременни електромобили, които са конструирани на основата на съществуващи модели автомобили с ДВГ, най-често се използва наложилото се при тях предно задвижване с разположение на електродвигателя и спомагателното оборудване в предната част (фиг. 2, а), а батерията е разположена на мястото на резервоара и в пода на електромобила (*VW e-up!*, *Opel Corsa-e*, *Mini-E*, *VW e-Golf*, *Nissan Leaf*, *Hyundai Ioniq*, *Hyundai Kona Electric* и др.). Предимствата на предното задвижване отново са в по-ниското тегло и себестойност на електромобила и в по-голямото пространство и равен под на купето и багажника. При електрическите автомобили обаче недостатъкът на предното задвижване да буксува при интензивно ускоряване и изкачване на стръмен наклон се засилва от относителното разтоварване на предната ос спрямо тежката батерия в средната и задната част на електромобила. При спиране тежестта се премества към предните двигателни колела, сцеплението им с пътя се увеличава и има възможност за интензивно регенеративно спиране и оползотворяване кинетичната енергия на електромобила.



Фиг. 2. Схеми на задвижването при съвременните електромобили:
 ЕД – електродвигател; Т – трансмисия. МК – мотор-колело

При съвременни електромобили, проектирани поначало като електрически превозни средства (*Tesla S и 3*, *VW ID.3 и ID.4*), се предпочита задното задвижване със средно или задно разположен ел. двигател (фиг. 2, б). При тази задвижваща схема има по-добро оползотворяване на мощността на двигателя при ускоряване и изкачване на стръмен наклон. За разлика от автомобилите с ДВГ, при електромобилите с това задвижване има достатъчно място за задна седалка или багажник над компактният електродвигател. В сравнение с предното задвижване, където двигателят е пред предната ос, при тази схема има възможност за по-дълго междуосие с повече пространство и комфорт за пътниците. При най-честото разполагане на батерията в пода на електромобила значителната ѝ маса се разпределя по дължината му и при задно

разположение на ел. двигателя не се получава ниско натоварване на предния мост и лоша устойчивост, за разлика от конвенционалните ДВГ автомобили [10]. С това задвижване електрическите автомобили имат добра проходимост при всякакви настилки и независимо от броя пътници и количеството багаж [9]. При заднозадвижваните електромобили е ограничена възможността за интензивно регенеративно спиране, поради разтоварване на задните задвижващи колела в този режим и хлъзгането им, до спиращи закъснения от около $2,5 \text{ m/s}^2$ [11]. Това е достатъчно за повечето нормални ситуации, а за по-интензивно спиране се използва хидравличната спираща система.

Най-добри качества при ускоряване, регенеративно спиране, преодоляване на наклони, на хлъзгав път, на завои имат електромобилите със задвижване на всички колела и затова то се прилага на по-мощните им версии. Например по-мощните модификации на *VW ID.3* и *ID.4*, *Tesla 3* и *Tesla S*, а някои модели като *Jaguar I-Pace* се предлагат само с този вариант на задвижване. Много по-малките размери на електрическия двигател в сравнение с ДВГ дават възможност да се поставят отделни електродвигатели за всяка ос за пълно задвижване на електромобилите (фиг. 2, в). Вече не е нужна сложна, тежка и енергоемка трансмисия, както при 4x4 автомобилите с ДВГ (фиг. 1).

При особено мощните модели, като *Tesla S Plaid* и *Audi E-tron S*, задните колела се задвижват от два отделни електродвигателя (фиг. 2, г). Така се подобрява охлаждането им и отпада механичният диференциал. Вместо него софтуерно се реализира електрически диференциал „torque vectoring” при управлението електродвигателите на колелата, с което се подобрява устойчивостта и управляемостта на електромобила [12, 13]. Недостатък е по-високата цена и по-сложното управление на задвижването.

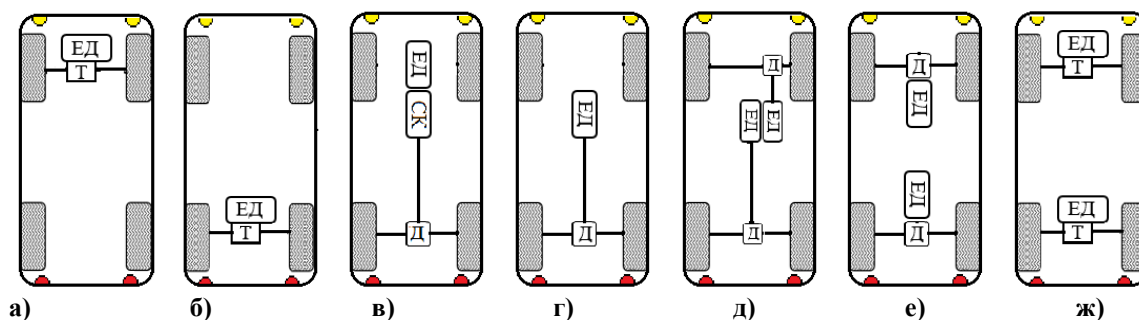
Последните три схеми от фиг. 2 са на задвижване с индивидуални мотор-колела. С това разпределено задвижване се премахват сложни възли и механизми, като междуколесни и междуосови диференциали, както и допълнителните електромеханични устройства в тях, разпределителни кутии, вискомуфи и се повишава КПД на задвижването. При пълно задвижване с подходящо управление може да се прилага антиблокираща спираща система (АБС) изцяло от спиращите моменти на мотор-колелата и изцяло електрическо спиране дори в екстремни ситуации. Електрозадвижванията с мотор-колела позволяват по-голяма свобода при компоноването на каросерията на автомобила. Свободното от оборудване място между мотор-колелата дава възможност за по-голямо багажно пространство и по-висок пътен просвет, което подобрява профилната проходимост на автомобилите, от първостепенно значение при off-road превозните средства. Пример за такова приложение на индивидуалното задвижване на четирите колела е високопроходимият пикап *Lordstown Endurance*, на американската компания *Lordstown Motors Corporation* (LMC).

Основен недостатък на индивидуалното задвижване е по-високото тегло на неподресорените маси, което не е подходящо за леки автомобили, заради изискванията за висока скорост на движение и комфорт. За да се избегне този недостатък, съвременните мотор-колела притежават сложна конструкция на окачването [15].

СХЕМИ НА ЗАДВИЖВАНЕ НА КОНВЕРТИРАНИ ЕЛЕКТРОМОБИЛИ

При конвертирането на автомобил с ДВГ в електромобил най-често се запазва съществуващата компоновка. Запазването на скоростната кутия е въпрос на техническо решение. Тя разширява диапазона на въртящ момент и скорост на задвижващите колела и позволява използване на по-малък и бюджетен електродвигател, както и оптимизиране на работата му. От друга страна, скоростната кутия заема място и

прибавя тегло и механични загуби. При конвертиране на автомобил с предно задвижване, както и със задно или средно разположен двигател (фиг. 3 а, б), трансмисията, включваща скоростна кутия-главно предаване-диференциал може да се замени с много по-малък редуктор-диференциал с подходящо предавателно отношение. При класическо задвижване, ако електродвигателят притежава подходящи характеристики, то той може да се свърже директно без скоростната кутия към карданния вал и да се постави на нейното място (фиг. 3 в, г).



Фиг. 3. Схеми на задвижването при конвертираните електромобили:

ЕД – електродвигател, Т – трансмисия, СК – скоростна кутия, Д – диференциал и главно предаване

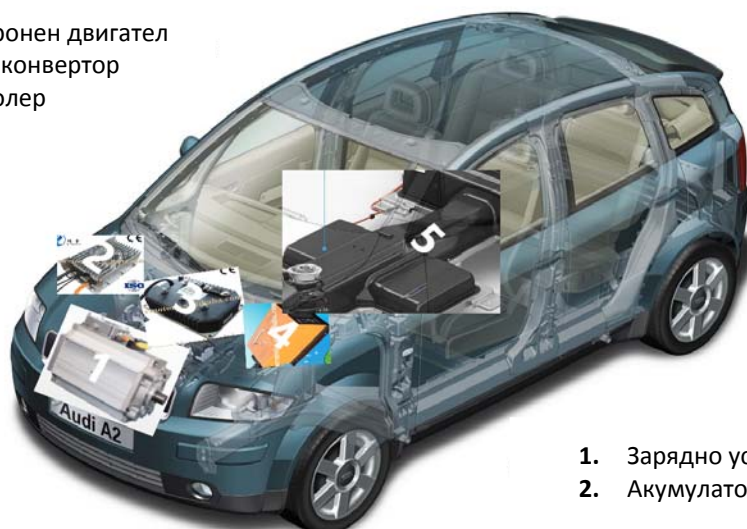
При конвертиране на автомобил 4x4 има много възможности за използване на различни компоненти на задвижването и тяхното разположение. Например при конвертиране на автомобил с пълно задвижване по схемата на фиг. 1 може без да се използват скоростната и разпределителната кутии, два електродвигателя да задвижват главните предавания на предния и задния мост или да се използват подходящи редуктори. Точните разположения на електродвигателите и използването на карданните валове зависи от наличието на достатъчно място за размерите им (фиг. 3 д, е, ж). Друга възможност при конвертирането на автомобил 4x4 е да се запази само предното или по-подходящото за електромобил задно задвижване и спестеното тегло от механиката да се използва за поставяне на батерия с по-голям капацитет за по-дълъг пробег с едно зареждане на електромобила.

При конверсия за балансиране на тежестта, както и за допълнително сцепление при автомобили с предно задвижване, много често електрическата батерия или част от нея се разполага под предния капак. Батерията обаче, подобно на резервоара за гориво, се нуждае от максимално защитено от удар място поради опасност от възпламеняване. За пасивната безопасност е по-добре вместо отпред, батерията да се поставя под предните седалки и в тунела на пода, когато няма карданен вал, а спомагателното оборудване – под предния капак (фиг. 4). Подобно е разположението им и в серийни електромобили с предно задвижване, като например VW e-Golf.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада са разгледани различните схеми на задвижване на съвременните електромобили, с техните особености, предимства и недостатъци. Отбелязано е, че най-разпространеното при конвенционалните ДВГ автомобили предно задвижване не е най-подходящото за електромобилите, а се предпочита средното и задно разположение на двигателя, което аналогично много рядко се използва при автомобилите с ДВГ. Разгледани са предимствата на пълното задвижване с отделни електродвигатели на осите, включително и с два двигателя за всяко от колелата на задната ос. Перспективни за електромобилите се считат индивидуалните задвижвания на колелата, въпреки че традиционно те се използват в бавноходните транспортни средства. Разгледани са техните предимства и недостатъци.

3. Асинхронен двигател
4. DC/AC конвертор
5. Контролер



1. Зарядно устройство
2. Акумулаторна батерия

Фиг. 4. Audi A2 конверсия

Дадени са примери за използването на всеки един вид задвижване от световните производители. Разгледани са, също така, задвижващи схеми на конвертирани автомобили с техните особености, предимства и недостатъци, възможности за реализация, редуциране на механичните компоненти, подобряване на експлоатационните качества и повишаване на безопасността.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fersen O. (eds), Ein Jahrhundert Automobiltechnik. Springer, Berlin, Heidelberg, 1986
- [2] Ersoy M., Gies S. (eds), Fahrwerkhandbuch. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Lohner%E2%80%93Porsche>
- [4] Голомидов А., Автомобили с приводом на передние колеса, Москва, 1972
- [5] Seherr-Thoss H.C., Schmelz F., Aucktor E., Universal Joints and Driveshafts. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006
- [6] Zhang X., Modeling and Dynamics Control for Distributed Drive Electric Vehicles. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2021
- [7] Schünemann M., Fahrdynamik, De Gruyter Oldenbourg, Berlin, Boston, 2018
- [8] Островцев А.Н., Основы проектирования автомобилей, Москва, 1968
- [9] Прохшат А. Шасси автомобиля: типы приводов. Машиностроение, Москва, 1989
- [10] https://www.greencarreports.com/news/1120260_electric-cars-could-spell-end-of-front-wheel-drive-vw-exec-says
- [11] <https://www.greencarcongress.com/2021/01/20210107-id4.html>
- [12] Doerr J., Fröhlich G., Stroh A. et al., The Electric Drivetrain with Three-motor Layout of the Audi E-tron S. MTZ Worldwide 81, 16–25, 2020
- [13] https://www.motorauthority.com/news/1128713_audi-e-tron-s-review-price-photos-specs-info
- [14] Павлов Н., В. Димитров, Анализ на различните схеми на задвижване на електромобилите, н. сп. „Механика, Транспорт, Комуникации“, том 19, брой 3/3, статия № 2139, 2021, стр. X-45 – X-51
- [15] https://www.greencarcongress.com/2006/09/siemens_vdo_mak.html

ELECTRIC CARS – DEVELOPMENT AND ANALYSIS

Atanas Nikolov, Vasil Dimitrov
atanas.p.nikolov@abv.bg, vdimitroff@vtu.bg

***Todor Kableshkov University of Transport
Sofia, 158 Geo Milev Str.,
THE REPUBLIC OF BULGARIA***

Key words: electric car, propulsion, dynamics, braking.

Abstract: The paper presents the different schemes for the propulsion of electric vehicles, which at first were most often based on the traction schemes of cars with an internal combustion engine. With electric cars, due to the more compact and unpretentious electric motor, there is also the possibility of more convenient and efficient driving schemes, including the prospective individual drive through separate motor-wheels. The design features, advantages and disadvantages are analyzed of different placements of one or more electric motors and drive to the front, rear, or all four wheels. The volume of passenger and luggage space and its location depends on the drive scheme. The mass of the electric car and its distribution both vertically and horizontally between the front and rear wheels also depends on the drive scheme, which affects the stability during movement. The load on the driving wheels and their traction with the road determine the support-traction passability (patency), the ability to overcome the maximum slope when climbing, for intensive acceleration and for regeneration during intensive braking. When using a motor-wheels, in addition to other advantages, there is also an opportunity to improve the profile patency due to the removal of the mechanical transmission system under the floor of the electric car.