



НАЦИОНАЛЕН ВОЕНЕН УНИВЕРСИТЕТ „ВАСИЛ ЛЕВСКИ“

ВЕЛИКО ТЪРНОВО

факултет „Логистика и технологии“

катедра „Управление на ресурси и технологии“

ДИПЛОМНА РАБОТА

НА ТЕМА

Сравнителен анализ на скоростно-теглителна характеристика на автомобил с двигател с вътрешно горене и на електрически автомобил.

Студент: Дилян Кирилов Кирилов

Класно отделение: 7151-24

Специалност: Автомобилна техника и транспортна логистика

Фак. номер: 71512401

09.07.2025 г.

гр. Велико Търново

Научен ръководител:.....

/проф. Свилен Стефанов

СЪДЪРЖАНИЕ

Въведение.....	3
Глава I	
1. Значение на транспорта.....	4
2. Видове, етапи и тенденции в развитието на транспорта.....	5
2.1. Видове транспорт.....	5
2.2. Етапи на развитие на транспорта.....	9
2.3. Тенденции в развитието на транспортните системи.....	10
3. Електрически транспорт.....	12
3.1. Общи сведения за електрическия транспорт.....	12
3.2. Развитие на електрическия транспорт.....	13
3.3. Видове електрически транспорт.....	14
Глава II	
1. Съпротивителни сили на автомобила.....	26
1.1 Сумарна съпротивителна сила.....	26
1.1.1. Сила на съпротивление от пътя.....	27
1.1.2. Сила на съпротивление от въздуха.....	28
1.1.3. Инерционна сила.....	30
2. Скоростно-теглителна характеристика на автомобила.....	32
2.1. Скоростно-теглителна характеристика.....	32
2.2. Периферна сила по условие за сцепление на колелото с пътя.....	34
3. Силов баланс.....	35
3.1. Уравнение на силов баланс.....	35
3.2. Диференциално уравнение на праволинейно движение.....	36
3.3. Устойчивост на праволинейно движение.....	37
3.4. Максимална скорост.....	40
3.5. Максимален наклон.....	41
Глава III	
1. Електрически машини и приложението им в електрическите автомобили.....	42
1.1. Асинхронни електрически двигатели.....	42
1.2. Синхронни електрически двигатели.....	44
1.3. Електрически двигатели работещи на реактивен принцип.....	45
2. Особенности на СТ изчисление на автомобили с електрическо задвижване.....	51
2.1. Състояние на проблема.....	51
2.2. Същност на провеждане на скоростно-теглително изчисление.....	52
2.2.1. Определяне на масовите и геометрични параметри на автомобила.....	53
2.2.2. Определяне мощността на движение на автомобила.....	54
2.2.3. Избор на тягов електродвигател.....	54
2.2.4. Определяне на предавателно число на механичен редуктор.....	56
2.3. Резултати от скоростно-теглителното изчисление.....	57
3. Основни изводи.....	62
4. Предимства на автомобили с електрическо задвижване пред такива с ДВГ.....	63
5. Заключение.....	63

Въведение.

Една от възможностите за преодоляване на последствията от нарастване цената на горивата, опростена конструкция и високи енергийно-икономически показатели в транспортните средства, е прилагането на електрическа енергия за задвижване на автомобилите. Проблемите със замърсяването на околната среда с всяка изминала година придобива по-голяма актуалност. Отделянето на вредни емисии от автомобилния транспорт заема значителен дял от общите излъчвания на всички източници. За намаляване на негативното въздействие на транспортните средства върху околната среда непрекъснато се търсят решения за създаване на автомобили с високи екологични показатели. Понастоящем една от възможните алтернативи за подобряване на екологичните и енергийно-икономически проблеми на конвенционалните автомобилни средства е преминаването на автопарка към електрическо задвижване.

Целта на дипломната работа е да запознае аудиторията с предимствата на електрическите автомобили, тяхното значение в техническото развитие на техниката и тяхното екологично предимство. Няма за цел да противопостави един срещу друг вид транспорт.

Дипломната работа съдържа три глави, 6 таблици, 25 фигури и 94 формули.

В първа глава от дипломната работа е изяснено понятието транспорт като основен икономически отрасъл. По географски признак са изброени видовете транспорт и тяхното значение. Направена е кратка историческа справка на етапите на развитие на видовете транспорт в Република България. Разгледани са видовете електрически транспорт, системите за електрическо захранване, както и използваните електрически транспортни средства, техните предимства и недостатъци.

Втора глава от дипломната работа е насочена към Теория на автомобила. В нея са разгледани съпротивителни сили на автомобила, скоростно-теглителна характеристика и силов баланс. Във всяка една от темите са приложени фигури и математическа обосновка.

Трета глава от дипломната работа е насочена върху принципа на работа и изчисляването на електрически двигател, скоростно-теглителна характеристика на електрически автомобил по зададени технически параметри, време, път и ускорение. Направени са изводи за предимствата на електрическите автомобили пред тези автомобили, използващи ДВГ за задвижване. Сравнителният анализ е на база скоростно-теглителна характеристика и силов баланс.

Глава I

1. Значение на транспорта.

Думата „транспорт“ има латински произход, като съчетание от думите *trains* (чрез) и *portare* (нося) и ознячава процеса по превозване на хора или товари от едно място на друго. Транспортът е процес на пространствено преместване на хора и стоки във времето, в който не се създава нова продукция в натурално веществена форма, а само се увеличава стойността на транспортирания обект. Той е един от най-важните отрасли на икономиката, изпълняващ функцията на особена кръвоносна система в комплексния организъм на страната.

Развитието на транспорта през вековете е история за еволюцията на транспортните технологии, които са ускорили развитието на човешката цивилизация чрез откриване на колелото. Тази еволюция е превърнала нашата огромна планета в един малък свят. Различни места, които се намират на хиляди километри едно от друго, могат да бъдат достигнати в рамките на един и същи ден. Прегледът на развитието на транспорта показва неумолимите човешки усилия за минимизиране на времето в условията за пътуване на големи разстояния.

Археолозите предполагат, че около 4000-3500 г. пр. н. е. човекът е направил първите си опити за изобретяване на транспортно средство в Месопотамия или Азия. Историята на транспорта започва с откриването на колелото. Следващата логична стъпка е изобретяването на каруците и колесниците. С този по-ефективен транспорт, хората са били способни да достигат по-далечни дестинации. Тяхната любознателност подхранва желанието им да опознаят повече непознати земи и това водело до еволюция на транспортните технологии. Резултатът е, че в днешно време човекът лети в космоса с ракети, а през океаните – със свръхзвуков Конкорд.

Увеличаването на скоростите, а с това и скъсяването на разстоянията във времето и нуждата от по-големи удобства за пътниците, са наложили по-висока организация на обществения транспорт.

Благодарение на интензивното използване на инфраструктурата, транспортният сектор е изключително важен компонент за икономиката и често се използва за нейното развитие. Този ефект се засилва още повече, когато погледнем глобално на нещата, където икономическите възможности са свързани с мобилността на хората, стоките и информацията. Мобилността е една от основните и важни характеристики на икономическата активност, тъй като задоволява базовите потребности като транспортиране и преминаване от една локация на друга. Тази нужда може да се отнася както за пътници, така и за пренос на стоки, услуги или информация. Не всички икономически отрасли или региони имат еднакво ниво на мобилност, тъй като повечето от тях са в различен етап на своето развитие.

Във всяко съвременно общество нивото на икономическо развитие е пропорционално на количеството и качеството на транспортната инфраструктура. Добре развитата транспортна мрежа изгражда добри бизнес и търговски връзки, което пък от своя

страна, осигурява икономически и социални ползи за обществото под формата на по-лесен достъп до световните пазари, по-добра работна ръка и възможност за повече допълнителни инвестиции.

Значението на транспорта като основен отрасъл от икономиката се определя от следните функции:

- Икономическа функция – тя се изразява в осъществяването на икономически връзки между отделните предприятия (структури), региони и отделни държави. Количеството на тази функция се изразява чрез разходите за транспорт на съответното ниво (предприятие, регион);
- Социална функция – количествено тя се изразява чрез икономията на време от ускоряване на доставката на стоките, респективно времепътуването на пътниците;
- Военно-отбранителна функция – транспортът като стратегически отрасъл;
- Политическа функция;
- Културна функция.

В съвременни условия транспортът сполучливо оприличаван на кръвоносна система на държавата, има много по-голямо значение. Той поддържа единството на държавата, връзката между всички части на нейната територия и подпомага и международните връзки и комуникации с други страни, с хора от различни части на планетата.

2. Видове, етапи и тенденции в развитието на транспорта.

2.1. Видове транспорт.

Транспортните отрасли се класифицират според вида на товарите, вида на транспортните средства, средата, предназначението транспортните услуги и др.

Основен критерий за определяне на видовете транспорт по географски признак е пространството, което се преодолява – суша, въздух и вода. Прилагайки този критерий, транспортът се разделя на следните видове:

- сухоземен транспорт (железопътен, автомобилен и тръбопроводен);
- воден транспорт (морски и речен);
- въздушен.

Железопътният транспорт е една от основните подсистеми на националната транспортна система. Той включва транспортни средства (локомотиви и вагони) съобщителна, товаро-разтоварна и друга техника, обслужваща превоза на пътници и товари по специален железен път. Той е основен вид транспорт, използван и рентабилен при превоз на масови товари на средни и дълги разстояния. Средно превозно разстояние на железния транспорт в България е около 220 км. Железопътният транспорт осигурява евтин, редовен (по твърдо разписание) и удобен превоз на пътници. Той е по-слабо зависим в сравнение с другите видове транспорт от природните условия. Железопътният транспорт има по-ниска

себестойност на преводите в сравнение с автомобилния и по-висока в сравнение с водния транспорт.

В България железопътният транспорт възниква след Кримската война. Първата железопътна линия е Русе – Каспичан – Варна с дължина 223 км. Пусната е в експлоатация през 1866 г. В следосвобожденската епоха и до 1944 г. се засилва стремежът на железопътни линии и се формира съвременната железопътна мрежа на България. Сега в България железопътната мрежа е сравнително гъста, макар, че през последните години се намалява общата дължина на жп. линиите. Съвременната железопътна мрежа се състои от 9 основни жп линии и 33 отклонения.

Автомобилният транспорт е подсистема на националната транспортна система. Той е сухопътен, механизирен, безрелсов транспорт, извършващ превози на пътници и товари с автомобили. В сравнение с жп. транспорта, автомобилният транспорт е по-гъвкав и по-динамичен. Отличава се с голяма маневреност, стабилност, висока скорост и оперативност в превозването на товари и пътници, предимно на къси разстояния. Може да допълва и взаимодейства с железопътния и водния транспорт. Развитието на автомобилния транспорт зависи от гъстотата и състоянието на пътно-шосейната мрежа в България. Има най-висок относителен дял в превоза на пътници в страната и се използва предимно за превоз на товари и пътници на къси и средни разстояния. Автомобилните превози имат по-висока цена от железопътните. Автомобилите силно замърсяват атмосферния въздух.

Основата на шосейната мрежа в България е положена още през прокарването на трасетата на коларските пътища по времето на римляните („VIA MILITARIS“). В България автомобилният транспорт възниква в началото на XX век. Първият автомобил е внесен през 1902 г. През 1909 г. е открита и първата междуселищна автобусна линия София – Самоков. През 1913 г. в страната се движат 112 пътнически и 5 товарни автомобили.

Към настоящия момент България разполага с голяма постоянно развиваща се автомобилна пътно-транспортна мрежа. Друга характерна особеност на автомобилния транспорт е, че през последните години съществена промяна настъпи в броя на возилата. Броят на товарните автомобили се увеличава от 37 830 през 1990 г. на 237 000 през 2000 г., а в края на 2010 г. на 304 436. Според справка от КАТ 3 003 214 през 2020 г. регистрирани МПС. Броят на автобусите в началото на периода се увеличава от 13 000 бр. през 1990 г. на 42 000 бр. през 2000 г., но намалява през 2010 г. на 23 800 бр. Това се дължи на увеличаване на броя на личните автомобили и самостоятелно пътуване с тях, както и на въвеждането в експлоатация на многоместни автобуси.

През последните години автомобилният транспорт отстъпва водещото си място при превоз на товари, но запазва лидерството си при превоз на пътници.

Тръбопроводният транспорт е специализиран в превоза на течни и газообразни товари в тръби под налягане. Той се отличава с голяма пропускателна способност, надеждност и безконфликтност на пренасянето на товар и то на ниска цена. Това е транспорт, който не зависи от природните условия, не замърсява околната среда и използва по-малко енергия. Той свързва един пункт (добивен или преработващ център) с множество други

пунктове. Основните му недостатъци са опасностите, които крие от аварии и замърсяване на почвата в дълбочина.

За началото на развитието на тръбопроводния транспорт се приема пускането в действие на газопровода от находището в с. Чирен до циментовия завод в с. Бели извор през 1964 – 1965 г., а след това и до фирма „Химко“ във Враца. През 1974 г. е пуснат в действие магистралният газопровод от Русия през Румъния за България и връзка със съседни страни. В България е построен газопревозен пръстен. Газопроводната мрежа на България има обща дължина от 2 500 км. Тя има връзка с газопроводите на Турция, Гърция и Северна Македония. Изградени са нови реверсивни газопревозни връзки на България с Румъния, Гърция и Турция. В България са изградени и функционират и други видове тръбопроводи. Петролопроводът от Бургас за София се използва за пренос на горива.

Морският транспорт заема важно място в транспортния комплекс на страната. Той има за предмет на дейност експлоатацията на товарни, пътнически и други кораби, превоз по море на товари и пътници. Чрез него се осъществява предимно външноикономическите връзки на България с други морски държави. Използват се пристанищни съоръжения на брега на Черно море. Морският транспорт се използва предимно за превоз на масови товари на дълги и средни разстояния. Негови преимущества са, че не се строят и поддържат пътища, а корабите имат значително по-голяма товароподемност от вагоните и автомобилите. Използва се по-малка теглителна сила. Себестойността на морските превози е най-ниска, тя е няколко пъти по-ниска от железопътните. Морският транспорт има един основен недостатък – ниска скорост на превозването на товарите. У нас чрез морски транспорт се внасят въглища, нефт, кокс, руди, дървен материал, захар и др. Изнасят се цимент, минерални торове, зърнени храни и др.

За начало на развитието на българския морски транспорт се приема 1862 г., когато в Цариград е създадено параплувното дружество „Провидение“. След Втората световна война в България има оцелял само един кораб. Следва период на закупуване на нови кораби и създаване на параходство „Български морски флот“. Промяната в ролята и мястото на морския транспорт в извършваните от него превози и работа води и до промяна на броя и водоизместимостта на корабите. За товарни кораби се използват специализирани кораби – танкери, въглевози, рудовози, контейнеровози, кораби за насипни товари и др.

По-нататъшното развитие на морския транспорт е в пряка зависимост от бързината на обработването на товарите в българските пристанища. Сега основните товаропотоци преминават през пристанищата Варна, Варна-Запад, Бургас и нефтеното пристанище край Бургас. По-малко се използват другите пристанища.

В последните години много силно намалява броят на морските пътнически кораби. Спадът на броя и местата на пътническите кораби се дължи на намаляване на пътниците. Сега по българското черноморско крайбрежие няма редовни пътнически линии и по същество няма пътнически трафик. Наличните кораби се използват предимно за туристически цели.

Речният транспорт е подсистема на националната транспортна система, вид воден транспорт. Той включва дейностите по превоз с кораби, шлепове и др. на товари и пътници по речни пътища. В България този вид транспорт се развива само по река Дунав. Чрез речния транспорт се осъществяват външноикономически връзки на България с редица европейски страни, предимно от Централна Европа. Той е около два пъти по-евтин от железопътния транспорт, но е значително по-скъп от морския транспорт, понеже във водните пътища се изграждат специални съоръжения като шлюзи за преодоляване на разлика във височините, канали и т. н. Речният транспорт има строго определен маршрут, зависим от конфигурацията на реката. И поради това не е гъвкав като морския транспорт. В речното корабоплаване по река Дунав има трудности, породени от силното колебание на водното ниво. При много ниски води се спира корабоплаването, както и при зимния ледоход. Сериозна трудност са честите зимни мъгли.

Началото на българското параходно плаване по река Дунав поставя основаното в Свищов през 1868 г. „Дунавско морско дружество“, което разполага с 1 параход и 3 шлепа. В периода от 1895 г. до 1912 г. се изграждат повечето дунавски пристанища – Видин, Свищов, Лом, Сомовит. През 1935 г. се поставя началото на държавното корабоплаване по река Дунав с три малки пътнически парахода. Пред 1940 г. се създава параходство „Български речно плаване“.

Развитието на речния транспорт се свързва с редица други форми на превози по река. От 1950 г. е пуснат в експлоатация фериботният комплекс „Видин – Калафат“, а пред 1994 г. „Оряхово – Бекет“. Фериботната връзка функционира и между Русе и Джурджу (за превоз на тежки автомобили) както и между Силистра и Калараш.

В периода след 1989 г. намаляват превозите на товари и пътници по река Дунав по много причини, включително и войната на НАТО в бивша Югославия. Поради това непълноценно се използват възможностите, които предоставя канала „Реюн – Меюн – Дунав“, свързващ чрез евтин воден път 13 европейски държави.

Пред развитието на българския речен транспорт стоят за решаване проблеми, които са сходни с тези на морския транспорт – приватизиране на съдовете, подмяна на техниката, строителство на нови пристанищни съоръжения, опазване на водите и др.

Въздушният транспорт е сравнително нов вид транспорт, специализиран за превоз на пътници и товари и поща със самолети и вертолети. Той се отличава с голяма бързина на превозите, движение на летателните апарати най-къс път. Същевременно въздушният транспорт е най-скъп. Поради това по него приоритетно се превозват пътници, поща и съвсем в ограничени размери и товари и то предимно бързо развалящи се.

Началото на въздушният транспорт в България се поставя през 1927 г. Тогава се открива международната линия Париж – Белград – София – Истанбул от френска авиокомпания. През 1934 г. са закупени първите два български пътнически самолета. През 1947 г. се открива първата българска въздушна линия София – Бургас, след което се открива и линията София – Варна. След 1962 г. започва модернизацията на самолетния парк и разширяване на летищния комплекс София. Изграждат се нови граждански летища край

Варна, Бургас, Пловдив, Горна Оряховица, Силистра, Търговище, Стара Загора, Видин и др. Силно се развива селскостопанската авиация.

Във въздушния транспорт на България има специализация на вътрешни и външни превози, на пътнически и товарни превози. Товарната авиация се занимава ограничено с превоз предимно на бързо развалящи се хранителни продукти, плодове, зеленчуци и др. Селскостопанската авиация извършва дейности по борба с вредителите в растениевъдството, торене с минерални торове, опрашване и др. Основната дейност на въздушния транспорт са превозите на пътници. През последните години дължината на въздушните превози се задържа около 150 000 км. Леко се увеличава дължината на международните линии, а се намалява дължината на вътрешните.

2.2. Етапи на развитие на транспорта.

Съвременният транспорт на България е свързан с историческото минало и по същество води началото си от 19 век. Обобщени са четири етапа: Доосвободенски, Следосвободенски, след Втората световна война и преходен.

Доосвободенски етап.

До Освобождението на България (1878 г.) основният вид транспорт по българските земи е коларският. Преобладаващата част от пътищата са без настилка. Натуралното стопанство, ограничената размяна на стоки и ограничените връзки между селищата предопределят слабото развитие на транспорта по нашите земи. По-значим превоз има само по пътищата, водещи към големите центрове като Истанбул, Солун, София, Белград, Русе, Скопие и др. След Кримската война се поставя началото на речния транспорт по река Дунав, морски и железопътен транспорт. През 1866 г. е построена първата железопътна линия по нашите земи Русе – Каспичан – Варна. След това се строи и железопътната линия от Одрин през Пловдив до Белово и отклонението от Симеоновград за Нова Загора и Ямбол.

Следосвободенски етап.

В периода след Освобождението и особено след Първата световна война, транспортът в нашата страна се развива много по-ускорено. Изглежда се основната част от железопътната мрежа на страната, големите пристанища Варна, Бургас, Русе и др., летище София, множество пътища с твърда настилка, Започва развитието на автомобилния и въздушния транспорт. Основните транспортни връзки се реализират по посока на северозапад-югоизток поради силното влияние на австро-унгарските и германски интереси. През този период транспортът е все още слабо развит, бавен, несигурен и много скъп.

След Втората световна война (социалистически етап).

След Втората световна война транспортната политика на държавата е насочена към формиране на единна транспортна система в страната, качествени промени в превозите и надеждни връзки между различните видове транспорт. Увеличава се пропускателната и превозна възможност на железопътните линии, започва електрификацията на железопътната мрежа. Реконструира се и се модернизира материално-техническата база.

Бързо се развива автомобилният транспорт, изгражда се автомобилва пътна мрежа, започва изграждането на магистрален пръстен. Въвеждат се в употреба по-голямогабаритни возила – бордови коли и ремаркета, тежки самосвали и т. н., разширява се мрежата от междуселищни автобусни линии. Морският и речен флот се увеличават с нови специализирани кораби. Развива се мрежата от летища, увеличават се самолетните превози. Развива се тръбопроводният транспорт, изграждат се първите въжени лифтове, силно се развива градският пътнически транспорт.

Преходен етап.

През преходния етап настъпват съществени промени и в транспорта в България. Променя се структурата на собствеността. Въздушният и автомобилният транспорт се развиват в частния сектор. Поради спада в производството в българското национално стопанство и обедняването на населението, силно намалява обема на превозните товари и пътници и извършената работа. В същото време много силно се развива автомобилният транспорт, обновява се и се разнообразява автомобилният парк, създава се подземна железница (Метрополитен) в София. Много нараства броят на личните автомобили, предимно втора употреба. Забавянето на изграждането на пътната инфраструктура и лошото стопанисване на републиканската пътна мрежа формират нови проблеми в развитието и функционирането на българската транспортна система.

2.3. Тенденции в развитието на транспортните системи.

През годините в развитието на транспортните превози се наблюдава тенденция към използване и увеличаване на мултимодалните превози. При тях участват най-малко два вида транспорт, единият от който е активен и доставката се реализира от един оператор, който носи отговорност за нейното осъществяване с един единствен документ по време по протежение на целия маршрут. Възможностите за развитие на тези превози зависи от степента на развитие на транспортната инфраструктура в държавата, от териториалната конфигурация на стокопотоците и от вида на естеството на превозваните стоки. Комбинираните превози се налагат в конкуренцията с конвенционалните видове транспорт, тъй като обединяват техните предимства и намаляват недостатъците им. В основата на развитието им са комбинираните транспортни технологии, съществена част от които представляват контейнерите, позволяващи осъществяването на превода без прекъсване на логистичната верига от вход до изход и улесняват взаимодействието между различните видове транспорт. Развитието на комбинираните превози изисква уеднаквяване на правилата за тяхното осъществяване, както и хармонизация на формите им в световен мащаб.

В рамките на Европейския съюз комбинираният транспорт се счита за политически важна алтернатива за извършването на превози на товари, като целта е да се намалят чисто автомобилните превози, да се възстанови дялът на железопътният транспорт и в по-нов аспект да се засили влиянието на речния транспорт. Основните проблеми пред комбинирания транспорт са недостатъчната инфраструктурна осигуреност на отделните

региони и липсата на координация между националните железопътни компании в Европейската общност.

В България е осигурен свободен достъп на всички превозвачи до различните видове транспортна инфраструктура, с изключение на пътническите превозвачи по железопътната инфраструктура. У нас започват да оперират и частни железопътни товарни оператори, в резултат на което появилата се конкуренция е довела до повишаване нивото на услугите, намаляване на цените, а от там се създадат условия за прехвърляне на товари от автомобилния трафик към железопътния. Въвеждането в действие на правила на ЕС за автомобилния транспорт, като ограничения на времето за шофиране и товарни ограничения, също може да увеличи атрактивността на железопътните превози, тъй като товарните операции с автомобилен транспорт ще стават все по-скъпи, ако се извършват легално.

Изискванията за опазване на околната среда също стават много важни за България, което прави използването на железопътния транспорт по-атрактивно.

Въздушните товарни превози са предмет на по-дългосрочни тенденции, които означава, че те ще нарастват с относително стабилни темпове. Това се дължи на продължаващата глобализация на индустрията и очакване за намаляване на оперативните разходи за въздушни товарни паркове, което ще помогне на световния въздушен карго трафик да се стабилизира към норми от около 3 % дългосрочен растеж на година.

Оценката на настоящите нива на контейнерните превози в България показва ниско ниво в сравнение със съседните държави. Основните региони, където се обработват контейнерни товари са пристанищата – особено Варна, поради естеството на трафика преминаващ през пристанището. Растеж на контейнерните товари се очаква в регионите със съществуваща добра инфраструктура, особено София, където изграждането на нови железопътни товарни терминали ще има положителен ефект върху развитието на интермодалните (комбинираните) превози.

Изхождайки от направения задълбочен анализ за състоянието на транспортния сектор в Република България, са определени следните стратегически приоритети за нейното развитие:

- Ефективно поддържане, модернизация и развитие на транспортната инфраструктура;
- Интегриране на българската транспортна система в европейската;
- Осигуряване на адекватно финансиране за функциониране и развитие на транспортния сектор. Ефективно усвояване на средствата от европейските фондове;
- Ограничаване негативното въздействие на транспорта върху околната среда и здравето на хората;
- Постигане на висока степен на безопасност и сигурност на транспорта;
- Осигуряване на качествено и лесно достъпен транспорт във всички райони на страната;

- Устойчиво развитие на масовия обществен транспорт.

Геостратигическото разположение на България, която се намира на кръстопът на активни транспортни коридори, е от съществена важност за привличане на товарен и пътнически трафик. На територията на нашата страна са одобрени за включване в картата на трансевропейската транспортна мрежа (TEN-T) интермодални възли в София, Пловдив, Варна, Бургас, Русе, Лом, Видин, Драгоман, Свиленград и Горна Оряховица. Те е трябвало да са изградени до 2020 г., и да бъдат поредната сериозна стъпка в осъществяването на европейските принципи за екосъобразен и безопасен транспорт. Според експерти терминалите са свързващо звено между автомобилния, железопътния и водния транспорт, без което страната ни не може да предложи конкурентни условия за превоз на стоките, които могат да минат през нея. Те са пресечните точки, генериращи големи товаропотоци с оглед осигуряване на добри логистични връзки в услуга на бизнеса. Всичко това, както и поддръжката от основните световни политически и икономически сили и не на последно място финансовата и експертна подкрепа и помощ от нашите партньори от ЕС, ще спомогне за изграждането на развита транспортна инфраструктура в България.

3. Електрически транспорт.

3.1. Общи сведения за електрическия транспорт.

Зараждането и бързото развитие на електротехниката през XIX век е последвано от използването на електрическа тяга в различните транспортни средства – кораби, железници и автомобили. Отначало се е използвал постоянен ток, а в следствие след изобретяването на трифазния електродвигател от Доливо-Доброволски – и променлив ток. Отначало се внедрява захранване на тяговите електродвигатели от акумулаторни батерии, а в следствие след развитието на електроснабдителните системи – от контактна мрежа. Подаването на електрическа енергия при това се осъществява по проводници или по релси, като по този начин са преодолявани главните недостатъци на автономните енергийни системи за задвижване на транспортните средства – малък капацитет на източниците на енергия и ограничена скорост и пробег.

Тъй като отначало при електрическия транспорт се използва постоянен ток, се налага да се използват преобразователни станции, поради факта, че електростанциите са произвеждали променлив ток. Първите преобразователи от променлив в постоянен ток представлявали двигателно-генераторни уредби, състоящи се от синхронни електродвигатели и генератори за постоянен ток с обща котва.

Едновременно със създаването на електрическите локомотиви се внедряват транспортни средства със задвижване от дизелови двигатели. Тогава се създават дизелово-електрически локомотиви, при които дизеловият ДВГ задвижва електрически генератор, енергията на които се подава на тягови електродвигатели. Такова задвижване е разпространено и в морския транспорт.

3.2. Развитие на електрическия транспорт.

Днес не можем да си представим развитието на човешката цивилизация без транспорт. Транспортът удовлетворява потребностите от бързо придвижване на близки и далечни разстояния, а също така от прехвърляне на разнообразни товари. Нивото на транспортно обслужване се превърна в един от най-важните критерии за развитието на обществото и неговата ефективност.

Развитието на транспорта доведе до неговата диверсификация (разнообразие). Вече бе споменато за видовете транспорт, които са в основата на следните отрасли: железопътен, автомобилен, морски, авиационен, речен, тръбопроводен. По характера на пренасяния товар, транспортът може да бъде разделен на товарен, пътнически и промишлен.

Техническата основа на транспорта представляван подвижните транспортни средства и осигуряващата работа им инфраструктура, включваща системи за управление и информационно осигуряване. Дълго време развитието на средствата за транспорт се оценяваше по скоростта на превозването, икономичността им и по комфорта на превозването на пътници. През последните години особено внимание започна да се обръща на консумираната енергия и влиянието на транспорта върху околната среда.

Развитието на транспорта доведе почти до повсеместното използване на двигатели с вътрешно горене, поради високата концентрация на енергия в течното гориво. Освен течното гориво, в транспорта се използва електроенергия и газообразно гориво. Използваната в транспорта енергия представлява значителна част от общата използвана енергия: 14 % - Нидерландия, 19 % - Франция, 27 % - САЩ. При това от тази енергия огромната част се използва в автомобилния транспорт, а в железопътния транспорт се използва 1 %, въпреки, че обемът на превозите в него е равен на този в автомобилния. Техническият прогрес може да понижи използването на енергия в автомобилния транспорт в границите на $25 \div 35$ %, а в железопътния – $30 \div 40$ %.

Използването на течното гориво в транспорта довежда до много голямо неблагоприятно въздействие на околната среда. Транспортът заема второ място след промишлеността по антропогенно, т.е. зависещо от човешката дейност, замърсяване на околната среда. Замърсяването на въздуха в повечето градове на $70 \div 80$ % се определя от изхвърлянията от автомобилния транспорт. Освен изхвърлянето на продукти от окисляването на течното гориво в атмосферата се изхвърлят стотици отровни продукти, влияещи отрицателно на живата природа и човека. Освен това двигателите с вътрешно горене са един от най-големите потребители на кислород.

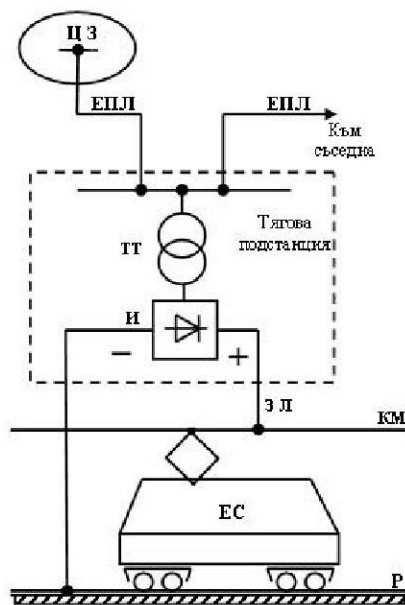
Различните видове електрически транспорт в значителна степен са лишени от недостатъците на транспорта с двигатели с вътрешно горене. Получавайки енергията от проводници или автономно, електрическият транспорт я преобразува в механична работа по придвижване на пътници и товари. При това електродвигателите не изхвърлят във въздуха никакви замърсяващи вещества. Отделяната топлина от електрическите двигатели е много по-малка от двигателите на другите видове транспорт. Шумовото въздействие на електрическия транспорт е съпоставимо с това на автомобилния и е много по-малко от въздушния. Инфраструктурата на транспорта изисква големи територии, от които

железниците използват няколко процента. При сравнението на изхвърлените вредни вещества в околната среда, трябва да се отчита и изхвърлянията на електростанциите, произвеждащи електрическа енергия. Обаче намаляването на изхвърлените вещества в стационарните уредби (електростанциите) е много по-ефективно от подвижните транспортни средства.

При железопътния транспорт използващ дизели, изхвърлянията са по-малки и имат по-висок КПД, т.к. се използва електрическа тяга, която позволява дизелът да работи в оптимален режим, а скоростта да се регулира по електрически път. Освен това, т.к. транспортът се характеризира с поредица спиращо ускоряващи режими, то при електрическата тяга има възможност да се рекуперира енергия при спиращ режим.

3.3. Видове електрически транспорт.

По вида на получаване на електроенергията електрическият транспорт може да бъде контактен и автономен. Най-разпространеният контактен електрически транспорт получава енергия от контактен проводник. За това се използва специална система за електроснабдяване, включваща контактна мрежа, подстанции и система за управлението им. Захранването на подстанциите се извършва от електроенергийната система (ЕЕС) чрез съответните подстанции. Захранването на тяговите подстанции се извършва чрез електропроводи на 110 kV и 220 kV. Тяговите подстанции на градския транспорт се захранват по кабелни линии с напрежение 6 kV и 10 kV. Тяговите подстанции преобразуват електрическата енергия по вида на тока и по ниво на напрежение за захранване на електрическия подвижен състав (ЕПС). От тяговата подстанция по захранващите линии токът се подава в контактната мрежа и чрез токоприемника (токоснемател), плъзгащ се по контактния проводник, протича към електрическия двигател. Чрез релсите или чрез контактен проводник се осъществява втората връзка с подстанцията. Общата схема на захранване на ЕПС е показана на фиг. 1.



Фиг. 1 Захранване на ЕПС

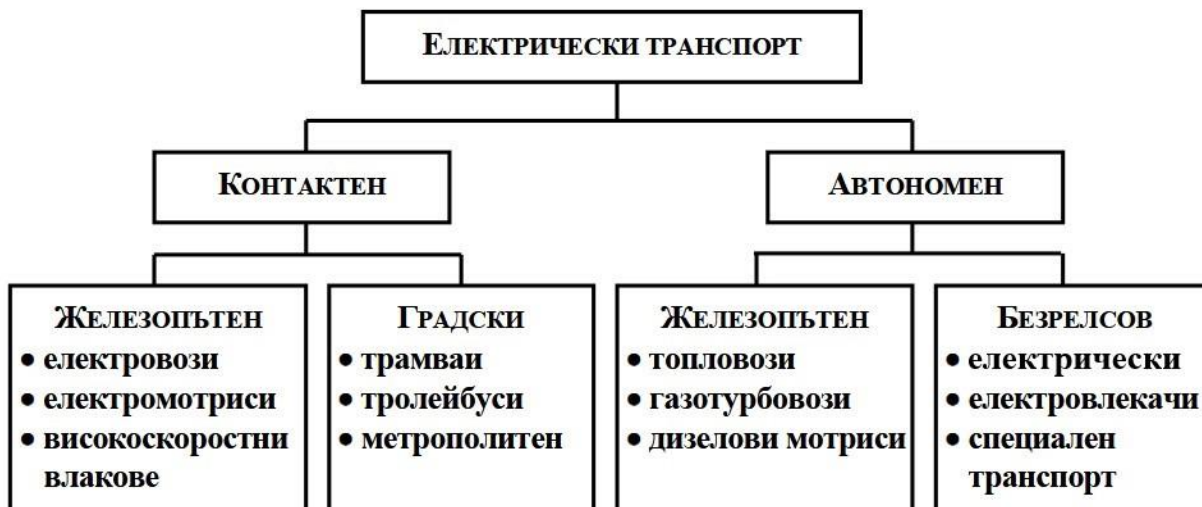
За електрификация на транспорта в различните страни се използват системи за постоянен и за променлив ток. Системите за постоянен ток – трифазния ток със стандартна честота се преобразува в тяговите подстанции в постоянен ток с напрежение, което е равно на напрежението, използвано за захранване на тяговите електродвигатели в ЕПС. Най-разпространена в железопътния транспорт е системата за постоянен ток 3 000 V. За релсов промишлен транспорт и на някои железници се използват и напрежения 1 500 V и 750 V. В градския наземен транспорт заради безопасността се използват и напрежения 550 V и 750 V, а в Метрополитен 850 V и 750 V. Увеличаване на нивото на напрежението в контактната мрежа е изгодно поради снижаване на загубите и поради увеличаване на разстоянията между тяговите подстанции. Обаче въвеждането на по-високо напрежение усложнява създаването на тягово електрообзавеждане на подвижен състав.

Система за еднофазен ток с промишлена честота (50 Hz) – трифазният ток с промишлена честота се преобразува от тяговите подстанции чрез трансформатори до необходимото ниво на напрежение и се подава в контактната мрежа като еднофазен ток. Най-разпространено е напрежение 25 kV, което на ЕПС се понижава чрез трансформатор и изправя чрез изправител, захранващ постояннотоковите тягови двигатели. В някои страни се използва и напрежение 15 kV или 50 kV. Не са получили широко разпространение еднофазните колекторни електродвигатели, а така също преобразуването на еднофазен в трифазен за захранване на асинхронни тягови двигатели. Автотрансформаторните системи 2 x 25 kV могат да се разглеждат като разновидност на еднофазното напрежение 25 kV. Тези системи имат по-малки загуби и не използват високото ниво на изолация на подвижния състав като при системата 50 kV.

Система на еднофазен ток с понижена честота – в мрежата се подава еднофазен ток с понижена честота ($16\frac{2}{3}$ Hz), а на ЕПС се използват еднофазни колекторни тягови двигатели, които са по-надеждни и по-прости от еднофазните двигатели с честота 50 Hz.

Система за трифазен ток – контактната мрежа е двупроводна, а релсите служат за трети проводник. В подстанциите напрежението се понижава до необходимото ниво, а на ЕПС се използват трифазни асинхронни двигатели.

Автономният електрически транспорт изработва необходимата за неговото движение електроенергия с помощта на ДВГ, който осигурява работата на електрически генератор. Генерираната от генератора електрическа енергия, захранва тяговите електродвигатели. Електрическият генератор, тяговите електродвигатели и апаратите за тяхното регулиране и управление се наричат електрическа предавка (електрическа трансмисия). Най-често като ДВГ се използва дизелов такъв, но се използват и газови турбини или друг вид ДВГ. Използването на акумулаторни батерии като източник на енергия за автономния електрически транспорт не получава широко разпространение поради малкия си капацитет, а оттам и ограничени скорост и пробег. Могат да се използват и други бордови източници на енергия като горивни клетки, слънчеви батерии и др.



Фиг. 2 Класификация на електрическият транспорт

На фиг. 2 е показана класификация на електрическия транспорт. Най-развит е най-разпространен и контактният електрически транспорт, който има най-голямо значение при железопътния и градски пътнически транспорт. При железниците силовото тягово средство, движещо влаковете се нарича локомотив.

Локомотив, захранван с електрическа енергия от контактната мрежа се нарича електровоз. Товарните електровози са предназначени за тежки товарни влакове и те имат по-голема сила на тягата, но не високи максимални скорости – $100 \div 110$ км/ч. Пътническите електровози имат по-малка сила на тягата, но по-високи максимални скорости – $160 \div 200$ км/ч. Разликата в теглителните усилия идва от различното предавателно число в агрегатите за предаване на въртящия момент (редукторите).

Електровозите са за постоянен, променлив ток и многосистемни. Многосистемните се използват при необходимост влакът да минава през участъци с различни тягови системи, без да се налага смяна на локомотива. Механичната част на локомотива има корпус и механична част, състояща се от двусни или триосни талиги. От двете страни на електровоза има кабинни за машиниста. Тяговите електродвигатели са разположени на талигите и чрез зъбчат редуктор, предават въртящия момент на колелата. Редукторът позволява да се използват високоскоростни електродвигатели, което намалява масата и габаритите на двигателите. Габаритите на тяговия електродвигател, от които зависи мощността му, са ограничени от диаметъра на колелата и ширината на разстоянието между релсите. Затова използването на по-високоскоростни електродвигатели позволява да се получи по-висока сила на тягата. Най-често всеки двигател задвижва една колоос (двойка колела, съединена с ос) – индивидуално задвижване. Понякога се използва и групово задвижване, при което един двигател задвижва две или три оси.

Поради движението на влака взаимното положение на двигателя и водещите колела се изменя в определени граници, поради което се използват еластични елементи за връзка

(муфи, карданни валове и др.). На талигите са разположени механични спирачки и ресорно окачване. Останалото електрическо и механично обзавеждане е разположено в корпуса на електровоза. Контактните устройства с мрежата и част от обзавеждането са разположени на покрива.

За увеличаване на силата на тяга (теглителни усилия) се използва съединяването на два или повече електровоза, управляване от една кабина на машиниста. За спиране на електровоза се използва електрическо (реостатно, рекуперативно) и механично спиране, като с последното са снабдени всички ЕПС, независимо от наличието на електрическо спиране. Освен магистрални електровози се използват и маневрени, работещи в промишлените предприятия, на сортировъчните гари, а също така и минни електровози, работещи в мините под земята.

В техническите характеристики на ЕПС мощността и силата на тягата е указана при часови режим на работа. Температурата на нагряване е ограничаващият параметър на тяговото обзавеждане. При работа на ЕПС ограничение по нагряване обикновено първо се достига в тяговите електродвигатели, което зависи от мощността и продължителността на работа. Часовата мощност на двигателя е максималната мощност, при която за 1 час на работа не се превишава максималната температура на нагряване. Силата на тягата (въртящ момент), ток, скорост, КПД на двигателя, съответстващи на часовата му мощност се наричат часови.

Освен часови режим има определение и за продължителен режим на работа, съответно и продължителна мощност. Продължителна мощност на тяговия двигател е максималната мощност, при която двигателят може да работи неограничено време. Съотношението на часовата и продължителната мощност се наричат претоварваща способност на двигателя.

Максималната скорост на ЕПС се нарича конструктивна. Използването на това понятие се обяснява с това, че тя се определя от максималната скорост на въртене на двигателя по условията на закрепване на намотката на котвата (пластините на колектора и челните части).

Диапазонът на мощност на съвременните магистрални електровози в часови режим е $6\,000 \div 10\,000\text{ kW}$ при сила на тягата пътнически електровози $200 \div 300\text{ kN}$, а на товарните до 800 kN . Най-голяма тяга електровозите развиват при тръгване.

Електрическата мотриса представлява железопътен ЕПС, състоящ се от моторни и пътнически вагони, получаващи захранване от контактна мрежа и предназначени за превоз на хора. Обикновено те се използват за превоз на къси разстояния със скорост от $120 \div 130\text{ км/ч}$, а при междуградски превози – до 250 км/ч . Увеличението на мощността на тяговите електродвигатели до $220 \div 240\text{ kW}$ и увеличението на броя на моторните вагони, увеличава сумарната мощност на влака до $5\,000\text{ kW}$, осигурявайки по този начин голямо ускорение и високи скорости, което е много важно при този тип електрически транспорт. Освен това благодарение на рекуперативното спиране при тези влакове се спестяват до 30 % от електрическата енергия.

Високоскоростните железници са се появили с построяването на първата линия Токио – Осака (Япония) през 1964 г. През 2001 г. в 15 държави функционираха повече от 5 000 км високоскоростни магистрали. При тези железници се използват специални железни пътища и специални подвижни състави, позволяващи превоз на пътници със средна скорост по-голяма от 200 км/ч. Във Франция се експлоатира най-голямата мрежа от високоскоростни магистрали и е постигнат рекорд на максимална скорост 515 км/ч. Високоскоростните магистрали са електрифицирани като правило променлив еднофазен ток с понижена честота $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ и напрежение на контактната мрежа 15 kV. За увеличаване разстоянието на тяговите подстанции и намаляването на броя им се използва система за променлив ток $2 \times 25 \text{ kV}$ с междинни автотрансформатори. На някои магистрали се използва постоянен ток с напрежение 1,5 kV или 3 kV. Обикновено в тези влакове се използват два електрически локомотива, разположени в началото и края на влака. Сумарната мощност на електровозите е в границите на $6\,300 \div 9\,600 \text{ kW}$.

Трамвай – вид градски релсов транспорт с електрическа тяга, получаващ електроенергия от контактен проводник. При това релсите са част от мрежата, т.к. по тях се осъществява връзката с подстанцията. Тяговите електродвигатели са разположени на талигите, обикновено по един на всяка ос. При повече от един вагон на трамвая мотор-вагоните могат да бъдат само част от тях. Захранването при трамваите е с постоянен ток с напрежение $550 \div 750 \text{ V}$, като мощността на тяговите двигатели е $45 \div 80 \text{ kW}$. Обикновено се използват постояннотокови двигатели, но в последно време се внедряват безколекторни асинхронни двигатели. Максималната скорост на трамваите е $75 \div 90 \text{ км/ч}$. Внедряват се и високоскоростни трамваи за относително дълги разстояния, свързващи градовете с околните населени места. При тях се осигурява пресичане на различни ниво с трасетата на другите видове транспорт. Скоростният трамвай е по-евтин от метрото, но има по-малък капацитет.

Тролейбус – електрически безрелсов транспорт, получаващ електрозахранване от контактна мрежа с два проводника, т.е. няма релси за втора връзка с подстанцията. Устройството на токоприемника на тролейбуса се състои от две щанги, позволяващи на тролейбуса да се отклонява от оста на контактната мрежа за избягване на препятствия по пътя. По маневреност тролейбусите превъзхождат трамвая, но отстъпват на автобусите. Захранващото напрежение е 550 V . По конструкция тролейбусът прилича много на автобуса и в частност – ходовата част. За разлика от трамвая тролейбусът е изолиран от земята от гумите си на колела, за това изискванията към изолацията на електрическата част и нейния контрол и защита от появата на напрежение по корпуса на тролейбуса, са големи. Мощността на тяговите електродвигатели е $90 \div 170 \text{ kW}$. Двигателите са постояннотокови колекторни или асинхронни. Максималната скорост на тролейбусите е 70 км/ч .

Най-съвършен и удобен вид обществен пътнически транспорт е **метрополитенът** (от френски език – *métropolitain* - столичен), който представлява извън уличната железница за масов превоз на пътници. Икономически е изгодно използването му при поток на пътниците по-голям от 20 000 човека на час, което се среща в градовете с население по-голямо от 1 000 000 жители. Най-често метрото е подземно, въпреки, че се срещат участъци

на земята или на естакади. Захранването на влаковете се извършва чрез захранваща мрежа, състояща се или от контактна релса, или от контактен проводник. Поради ограничения в габаритите на тунела контактната релса е положена от едната страна по дължината на основната релса на определена височина. Плъзгащият контакт на моторните вагони се намира на талигата, като той се намира отдолу на контактната релса и се притиска към нея с пружини, снемайки ток с високо напрежение. Отгоре и отстрани контактната релса е изолирана с изолационен каучук. Въздушната контактна мрежа може да се използва при преминаване на метро влакът на обикновена железопътна линия. Захранването на влака се използва постоянен ток с напрежение $600 \div 1\,000\text{ V}$. Мощността на тяговите електродвигатели е 110 kW . Максималната скорост на метро влаковете е $80 \div 100\text{ км/ч}$. Пълната обособеност на метрото позволява интервалът между влаковете да е в границите на $20 \div 30\text{ сек.}$, което изисква високо ниво на автоматизация, но осигурява по този начин голям капацитет на превоза на пътници.

Най-разпространени от автономния електрически транспорт са **топловозите**. Топловоз е автономен локомотив с ДВГ, най-вече дизел. Тяговата предавка трябва да реализира мощността на ДВГ при различни скорости на движение. Ограничената мощност на двигателя и неговата малка претоварваща способност предявяват много високи изисквания към предавката. За пълното използване на мощността на двигателя е необходимо той да работи при незначително изменение скоростта на въртене на колянвия му вал, а регулирането на скоростта на движение v и силата на тягата F се осигурява чрез регулиране на тяговата предавка, като се поддържа $F \cdot v = \text{const.}$

Тяговите предавки могат да бъдат механични, хидравлични и електрически. Механичните предавки са подобни на тези на автомобилите и те не са намерили широко използване. Регулируемата хидравлична предавка, изменяща предавателното число за сметка на хидропомпите и хидротурбини, се използват по-рядко от електрическата, главно в маневрените и промишлените топовози. Електрическата предавка е най-универсална и широко се използва при топовозите, газотурбовози и дизеловите мотриси. Тя се състои от електрически генератор, тягони електрически двигатели и устройства за регулиране на скоростта и силата на тягата (спирането). Електрическият генератор, обикновено синхронен, се върти от първичния двигател (дизелов или друг вид ДВГ). Генерираната от него енергия се подава на двигателите, които въртят двигателните колела на локомотива.

Електромобили - в тях се използва електродвигател, захранван с енергия от бордови източници, най-често акумулаторни батерии. Основно предимство на електромобилите са високия КПД, опростена конструкция и възможността при спиране да се рекуперира механичната енергия обратно в акумулаторните батерии. В последно време се разработват и акумулиращи кондензатори с голям капацитет и с големи допустими токове на разреждане и зареждане. Основен недостатък е ниският капацитет на акумулаторните батерии, с които се ограничава пробегът и максималната скорост. Усъвършенстването на електромобилите до разработката и внедряването на хибридна силова схема, съчетана с бордови източник на електроенергия и ДВГ с електрически генератор. По този начин значително се увеличава пробегът с едно зареждане. Намаляват се и вредните емисии

изхвърляни в атмосферата по сравнение с автомобилите. Такава хибридна система се използва и в автобусите-тролейбуси. На автобус се монтира тягово задвижване на тролейбус с двигател за постоянен или променлив ток, захранван от контактна мрежа. Има и дизелов ДВГ със синхронен генератор на един вал. При отсъствие на контактна мрежа се стартира дизеловият ДВГ и тяговият двигател се захранва с електричество, произведено от генератора. За съхранение на енергията от рекуперация при спиране и за подобряване на ускорението при пуск се използват акумулаторни батерии.

Електрическите автомобили съществуват от много дълго време. Те се появяват много преди тези с ДВГ и техните поддръжници никога не са спирали да се опитват да ги превърнат в ефективно превозно средство, както за лична употреба на пътя, така и като бизнес предложения. Изобретяването на първото електрическо превозно средство се преписва на няколко души. През 1828 г. унгарския свещеник и физик Аньош Йедлик изобретява примитивен електрически двигател и създава модел на автомобил, задвижван с подобно устройство.

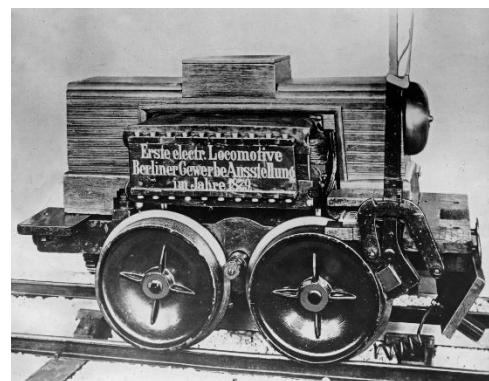


Между 1832 и 1839 г. шотландският изобретател Робърт Андерсън също изобретява своята „електрическа карета“, а през 1835 г. професор Сибрандус Стратинг от Грьонинген, Холандия (днешна Нидерландия) и неговият асистент Кристофър Бекер от Германия, създават малка електрическа кола, задвижвана от първични клетки без презареждане.

Долу-горе по същото това време се появяват и първите електрически локомотиви. През 1834 г. ковачът от Върмонт Томас Дейвнпорт построява подобна машина, която работи на къса електрифицирана писта.

Първият известен електрически локомотив е построен през 1837 г. в Шотландия от химика Робърт Дейвидсън от Абърдийн. Той се захранва от галванични клетки. Дейвидсън по-късно построява по-голям локомотив на име Galvani, който е представен на изложбата на Кралското шотландско общество на изкуствата през 1841 г.

Седемтонното превозно средство има два двигателя с директно задвижване, които работят с фиксирани електромагнити, действащи върху железни пръти, прикрепени към дървен цилиндър на всяка ос и прости комутатори. Той може да превозва товар от 6100 килограма с 6,4 км/ч на разстояние от 2,4 километра.



Локомотивът е тестван на железопътната линия между Единбург и Глазгоу през септември 1842 г., но ограниченото захранване от батериите се оказва пречка за общата му употреба. По-

късно той е унищожен от железопътни работници, които виждат в него заплаха за работните си места.

Акумулаторните батерии, които осигуряват възможност за съхранение на електричество, се появяват чак през 1859 г. с изобретяването на оловно-киселинната батерия от френския физик Гастон Планте.

Камил Алфонс Форе – друг френски учен, значително подобрява дизайна на батериите през 1881 г. и увеличава капацитета им, с което става възможно и производството им в индустриален мащаб.

Първото електрическо превозно средство със собствен бордови източник на енергия е тествано по улиците на Париж през април 1881 г. от френския изобретател Гюстав Труве. През 1880 г. Труве подобрява ефективността на малък електрически двигател, разработен от Siemens, използвайки наскоро разработената акумулаторна батерия, монтира го на английска триколка на Джейм Старли. Така се появява първото в света електрическо превозно средство.



Въпреки, че то е успешно тествано, на 19 април 1881 г. по улица Валоя в центъра на Париж, Труве така и не успява да го патентова. Той бързо адаптира захранвания с батерии двигател за морско задвижване и за да улесни пренасянето му от и до работилницата си до близката река Сена, Труве проектира двигателя, така че да е преносим и да може да се сваля от лодката. По този начин той разработва и изобретява мотор.

На 26 май 1881 г. прототипът на 5 метровата лодка, наречена Le Téléphone достига скорост от 3,6 км/ч нагоре по течението и 9 км/ч надолу по течението на Сена.

Английският изобретател Томас Паркър, който е отговорен за електрифицирането на лондонското метро и надземните трамваи в Ливърпул и Бирмингам, построява първата си електрическа кола в Улвърхемптън през 1884 г. Единствената документация за нея обаче е една снимка от 1895 г.



Дългогодишният интерес на Паркър към конструирането на по-икономични превозни средства го кара да експериментира с електрическото задвижване. Производството на автомобила е възложено на компанията Elwet-Parker, създадена през 1882 г. за конструиране и продажба на електрически трамваи.

Франция и Обединеното кралство са първите държави, които подкрепят развитието на електрическите превозни средства, но германският инженер Андреас Флокен създава първият истински електрически автомобил през 1888 г.



Първият електрически автомобил в Съединените щати е разработен през 1891 г. от Уилям Морисън от Де Мойн, Айова. Превозното средство представлява вагон за шестима пътници, способен да достигне скорост от 23 км/ч.

Едва през 1895 г. обаче потребителите започват да обръщат внимание на електрическите превозни средства, след като А. Л. Райкър представя първите електрически триколки в САЩ.

Интересът към моторните превозни средства се увеличава значително в края на 90-те години на XIX и началото на XX век. Електрическите таксита задвижвани от батерии, се появяват в края на XIX век.

В Лондон Уолтър Бърси проектира флотилия такива таксита и ги представя по улиците на Лондон през 1897 г. Скоро те получават прякора „Колибрита“, заради шума, който създават. През същата година в Ню Йорк Samuel's Elektric Carriage and Wagon Company пуска 12 електрически таксита, като продължава да работи до 1898 г., а флотилията и се разраства до 62 автомобила.

Електрическите превозни средства по онова време имат редица предимства пред своите бензинови конкуренти. При тях липсват вибрациите, миризмата, шума, свързани с ДВГ.

Електромобилите не изискват и смяна на предавки. Колите с парно задвижване също имат това предимство, но пък страдат от друго неудобство – дългото време за стартиране, което в особено студените сутрини достига до 45 минути.

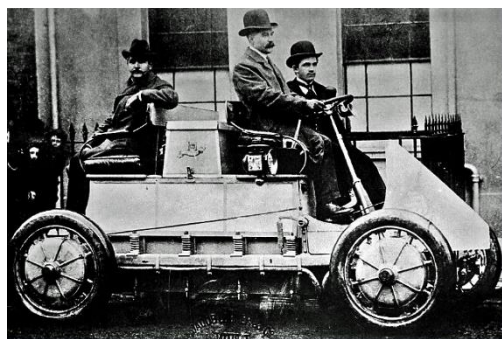


Електрическите превозни средства са предпочитани и защото не изискват ръчно усилие за стартиране, както бензиновите автомобили, чиито двигатели в онези години се стартирали с ръчна манизела.

Електрическите автомобили са много популярни сред заможните клиенти, които ги използват като градски автомобили. В населените места ограниченият пробег на електрическите батерии не е кой знае какъв недостатък.

Разпространението на електрическите автомобили първоначално е възпрепятствано от липсата на енергийна инфраструктура. В САЩ в началото на XX век 40 % от автомобилите са задвижване с пара, 38 % - с електричество и едва 22 % - с бензин.

Любопитна подробност е, че първият автомобил, който успява да премине границата от 100 км/ч, е електрически, а не бензинов. Става въпрос за автомобила La jame Contente на белгийския състезател Камил Йенаци, който успява да постигне тази скорост през 1899 г.



Забележителни са дизайнът и конструкцията на електрическия автомобил на Фердинанд Порше, задвижван от отделен двигател във всяко колело. Той също поставя рекорд в ръцете на своя собственик Е. У. Харт.

Повечето ранни електрически превозни средства обаче не са особено спортни, а по-скоро масивни, богато украсени карети, предназначени за клиенти от висшата класа.

Те се отличават с луксозен интериор и са пълни със скъпи материали. Електрическите превозни средства често се продават като луксозни коли за жени, което пък им създава не особено престижен имидж сред предубедените потребители от силния пол.

Продажбите на електрически автомобили достига своя връх в началото на 1910 г. По това време в САЩ съществуват над 300 производители на подобни превозни средства, като част от тях продължават дейността си чак до началото на Втората световна война през 40-те години на миналия век.

След огромния успех, на който се радва в началото на XX век, електрическият автомобил постепенно започва да губи позициите си на пазара. Техническият прогрес до голяма степен допринася за това развитие.

До края на 20-те години на миналия век пътната инфраструктура съкращава времето за пътуване, създавайки необходимост от превозни средства с по-голям пробег от този, предлаган от електромобилите.

Откриването на големите петролни запаси през първите десетилетия на XX век пък осигуряват достъпни и евтини горива, които правят бензиновите автомобили по-евтини за употреба на дълги разстояния.

Електрическите автомобили остават ограничени за градска употреба поради ниската скорост (25-30 км/ч) и малък пробег (максимум около 60 километра). Постепенно бензиновите автомобили започват да пътуват по-надалеч и по-бързо от своите електрически конкуренти.

Освен това ДВГ преодоляват голяма част от своите първоначални недостатъци с изобретяването на електрическия стартер, който извежда от употреба манивелата. Изобретяването на шумозаглушителя от Милтън и Маршал Рийас през 1897 г. значително намалява шума на тези машини до приемливи нива.

И не на последно място, масовото производство на превозни средства от компанията на Хенри Форд намалява цената им драстично. За разлика от тях, цената на идентичните електрически превозни средства продължава да расте.

През 1912 г. един електромобил се е продавал почти двойно по-скъпо, в сравнение с бензиновия си конкурент, който имал подобни и дори по-добри технически характеристики.

Повечето производители на електрически автомобили спират производството си до началото на 20-те години. Електрическите превозни средства остават популярни единствено за определени специализирани приложения, където техният ограничен пробег не създава големи проблеми.

В Европа и Обединеното кралство камионите за доставка на мляко се захранват с електричество и през по-голямата част от XX век. Електрическите колички за голф са произведени от Lektro през 1954 г. част от автопарка на германските пощенски служби през 50-те и 60-те години също се движат на ток.



Но така или иначе през 20-те години на миналия век разцветът на електрическите автомобили остава в историята, а десетилетие по-късно индустрията на електромобилите на практика изчезва.

Интересът към тях периодично се възражда през годините, особено по време на петролните кризи след края на Втората световна война и през 70-те години.

Легендарният завод „Ikarus“ – гр. Секешфехервар, Унгария, произвежда няколко тестови електрически автобуса на база модел 260 през 1975 г.



Истинският ренесанс на електромоделите обаче настъпва през новото хилядолетие, когато компанията Tesla правят истинска революция с помощта на литиево-йонните батерии.



Борбата с климатичните промени изтласква на преден план необходимостта от замяна на изкопаемите горива с възобновяеми енергийни източници, което се оказва мощен тласък за развитието на електрическите превозни средства.

Днес повечето автомобилни гиганти разполагат с по няколко електрически модела в своите каталози, като намеренията на водещите играчи в сектора предвиждат до средата на XXI век продажбите на автомобили с бензинови и дизелови

ДВГ да са останали в историята.

Ако тези планове се реализират, те ще изиграят ролята на своеобразно „отмъщение“ за битката, която електромоделите губят преди 100 години. Защото те днес изглеждат абсолютни победители.

Изводи от Глава I:

1. С откриване на електричеството започват и първите опити за използване на електрическата енергия за задвижване на превозните средства.

2. Идеята за електрически автомобил с автономно електрическо захранване се използва и за конструиране на локомотиви с ДВГ, които преобразуват механичната енергия в електрическа за тяхното задвижване. Този принцип на работа е заложен и в съвременните хибридни електрически автомобили.

3. Електрическите автомобили в миналото са били алтернатива на автомобили, използващи ДВГ. Безшумни, неотделящи вредни емисии, опростена конструкция, бързо стартират и др. Остават най-ефективните превозни средства и до днес.

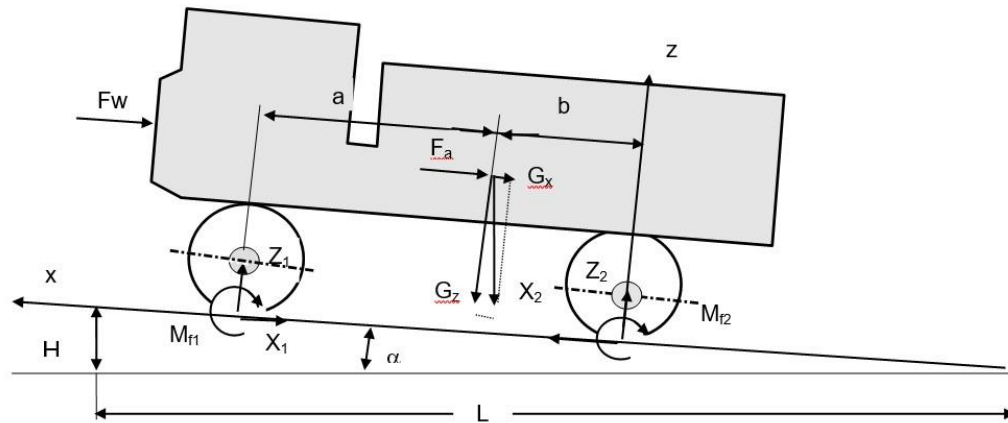
4. Търсенето на технологии за преодоляване на ограничението в капацитета на акумулаторните батерии, пряко свързано с изминатия пробег, остава основният проблем за разрешаване пред учени и конструктори.

Глава II

1. Съпротивителни сили на автомобила.

1.1. Сумарна съпротивителна сила.

Под сумарна съпротивителна сила на автомобила се разбира сборът от външните и вътрешните съпротивителни сили. За изясняване същността на съпротивителната сила и факторите, които я обуславят, се разглежда праволинейно движение на автомобил с колесна формула 4x2 по път с надлъжен наклон α . В даденият момент машината притежава скорост v и ускорение dv/dt (фиг. 3).



Фиг. 3

В центъра на тежестта е приложена силата от теглото G , насочена перпендикулярно на хоризонта и се разлага на: $G_z = G \cos \alpha$ - нормална на опорната повърхност и $G_x = G \sin \alpha$ - успоредна на пътя. В центъра на тежестта е приложена още инерционната сила на постъпателно движещи се маси $F_a = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$, а в челната част – съпротивителната сила на въздуха F_w . От страна на пътя върху машината действат реакциите на задвижваните колела X_1 и Z_1 , а в задвижващите X_2 и Z_2 . От условието за равновесие на силите по оста x следва че,

$$X = X_2 - X_1 = G_x + F_w + F_a$$

След изравняване на стойността на движещата сила:

$$\frac{M_d i_0 i_k \eta_T}{r_k} - \frac{J_m i_0^2 i_k^2 \eta_T}{r_k^2} \frac{dv}{dt} - n \frac{J_k}{r_k^2} \frac{dv}{dt} - G_z f = G_x + F_w + F_a$$

Сборът от събираемите в дясната страна на уравнението изразява стойността на външната съпротивителна сила. Физическият смисъл на първото събираемо от лявата страна на равенството е сумарната периферна сила върху задвижващите колела F_n , която се получава за сметка на приведения към задвижващите колела въртящ момент на двигателя. Останалите членове от лявата страна на равенството имат отрицателен знак, поради което

играят ролята на съпротивителни сили. Сборът от тези сили е вътрешната съпротивителна сила на автомобила.

След прехвърляне от лявата страна на уравнението на всички членове с отрицателен знак се получава уравнение на равновесието между периферната сила и сумарната съпротивителна сила.

$$F_n = \frac{M_d i_0 i_k \eta_T}{r_k} = F_c = G_z f + G_x + F_w + \frac{J_M i_0^2 i_k^2 \eta_T}{r_k^2} \frac{dv}{dt} + n \frac{J_k}{r_k^2} \frac{dv}{dt} + \frac{G}{g} \frac{dv}{dt}$$

Първото събираемо от дясната страна характеризира съпротивлението при търкаляне на всички колела и представлява сила на съпротивлението от търкаляне F_f . Проекцията на силата от търкалянето $G_x = G_{\sin \alpha}$ е сила на съпротивлението от наклона F_i . Всички останали събираеми, съдържащи ускорението dv/dt изразяват инерционната сила F_a .

В съответствие с въведените обозначения за сумарна съпротивителна сила се получава:

$$F_c = F_f + F_i + F_w + F_a$$

Анализът на компонентите на съпротивителната сила позволяват да бъдат направени и други обобщения. Така например сборът от първите три сили $F_f + F_i + F_w$ характеризира съпротивлението на околната среда, което съществува винаги, докато останалата част я има само при неустановен режим $dv/dt \neq 0$. От своя страна съпротивлението на околната среда включва в себе си сила на съпротивление от пътя $F_\psi = F_i + F_f$ и сила на съпротивление от въздуха.

Въз основа на въведените нови обозначения уравнението за съпротивителната сила добива вида:

$$F_c = F_\psi + F_w + F_a$$

Ще се изясни подробно значение на всяка една от силите.

1.1.1. Сила на съпротивление от пътя.

Според въведените обобщения силата на съпротивление от пътя е сбор от съпротивителните сили при търкаляне и наклона.

Силата на съпротивление при търкаляне се изразява като:

$$F_f = (Z_1 + Z_2)f = G_z f = G f_{\cos \alpha}$$

При този извод се допуска, че коефициентите на съпротивление при търкаляне на всички колела имат еднакви стойности, което е оправдано в случаите, когато машината се движи по твърд път, тъй като условията на търкаляне се различават несъществено. При това

условие коефициентът на съпротивление при търкаляне на отделното колело и на цялата машина се обозначават с един символ.

При движение на колесната машина по мека почва смисълът на коефициента f е друг, тъй като отделните колела се движат в различни условия (предните утъпкват коловозите, а задните се движат частично в тях и ги разширяват). Ето защо определянето на f за цялата машина по таблични стойности за отделното колело е неиздържано.

Силата на съпротивление от наклона се определя от израза:

$$F_i = \pm G \sin \alpha$$

Често пъти наклонът на пътя е зададен с отношение между изменението във височината H към хоризонталната му проекция, което се нарича наклон на пътя (фиг. 3).

$$\frac{H}{L} = i, i \cdot 100 = i\%$$

При малки ъгли $0 \leq \alpha \leq 6^\circ$, $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = i$. Следователно:

$$F_i = \pm Gi$$

По аналогия с коефициента на съпротивление при търкаляне наклонът на пътя i е прието да се нарича коефициент на съпротивление от наклона.

Ако във формулата за съпротивителната сила на пътя заместим стойностите на останали две сили се получава:

$$F_\psi = Gf \cos \alpha \pm G \sin \alpha = G(f \cos \alpha \pm \sin \alpha)$$

Изразът в скобите зависи само от характеристиката на пътя и се нарича коефициент на съпротивление то пътя.

$$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha$$

При малки ъгли $0 \leq \alpha \leq 6^\circ$, $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = i$. Следователно:

$$\psi \approx f \pm i$$

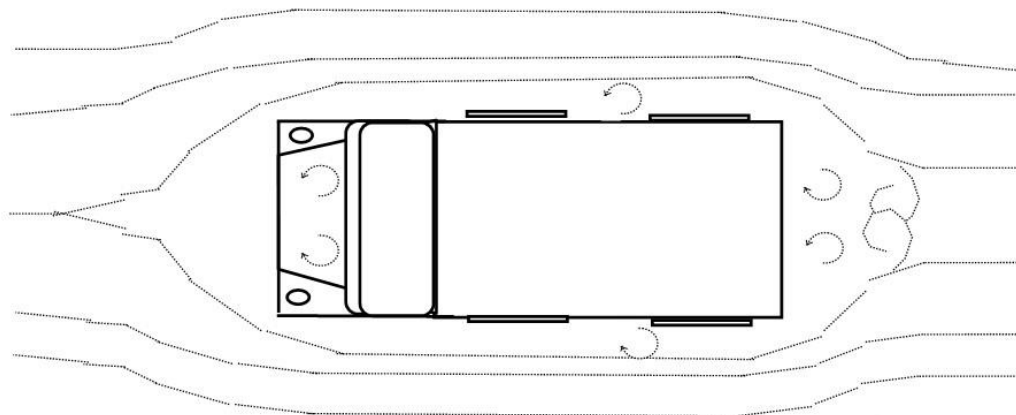
Въз основа на този анализ се стига до следната опростена формула за силата на съпротивлението от пътя:

$$F_\psi = G\psi$$

1.1.2. Сила на съпротивление от въздуха.

Всяко тяло, движещо се в плътна среда, изпитва съпротивлението на тази среда. Освен с пътната повърхност при движението си автомобилът контактува и с въздуха, изпитвайки по този начин неговото съпротивление. Това съпротивление се обуславя от следните три причини: челно съпротивление, предизвикано от уплътняването на въздуха в предната част, триенето на въздуха при обтичане стените на машината и вихрообразуването

(главно в задната част), вследствие на освобождаването на пространство и падането на налягането (фиг. 4).



Фиг. 4 Схема на въздушните потоци, обтичащи автомобила

При скоростите, с които се движат съвременните автомобили, силите на триене са незначителни, поради което основна роля играят челното съпротивление и михрообразуването в задната част. По тази причина съпротивлението на въздуха може да се представи като произведение от разликата в налягането и максималното напречно сечение на машината S :

$$F_w = S\Delta p = S(p_1 - p_2)$$

Разликата от наляганята Δp зависи от плътността на средата (за въздуха $\rho = 1,27 \text{ kg/m}^3$), формата на машината и скоростта на движение. Експериментално е установено, че тези величини са свързани помежду си $\Delta p = \frac{c}{2} \rho v^2$. Следователно:

$$F_w = \frac{c}{2} \rho S v^2$$

където c е коефициентът, характеризиращ формата на машината.

За автомобили, които притежават еднаква форма, произведението $\frac{c}{2} \rho = k_w$ е константна величина, наречена коефициент на обтекаемост. По аналогични съображения за конкретна машина, произведението $k_w S = w$ е неизменно и се нарича фактор на обтекаемост.

Силата на съпротивление от въздуха се изразява със следните две зависимости:

$$F_w = k_w S v^2 \text{ и } F_w = w v^2$$

Изведените зависимости показват, че конструктивните фактори, характеризиращи съпротивлението на въздушната среда, са формата и размерите на автомобила. От аеродинамиката е известно, че най-нисък коефициент на обтекаемост притежава тяло с преден край във формата на полуелипсоид с постепенно стеснение към задната част, като максималното напречно сечение се намира на разстояние $2/3$ от задната част. Това условие

влиза в противоречие с някои други изисквания, като условие за ергономичност, разположение на центъра на тежестта и др. Ето защо към близки на тази форма се придържат конструкторите на състезателните автомобили и на леки автомобили, докато товарните автомобили и колесните машини с военно предназначение получават форма, обоснована от ергономични съображения.

Ориентировъчните стойности на коефициента на обтекаемост се намират в следните граници:

- за леки автомобили $(1,5 \div 3)10^{-4}kNs^2/m^4$;
- за автобуси и бронетранспортъри $(3 \div 5)10^{-4}kNs^2/m^4$;
- за товарни и специални автомобили $(5 \div 7)10^{-4}kNs^2/m^4$.

Челната площ на машината се определя изцяло от условията за ергономичност и ориентировъчно може да се изчисли по формулите

- за леки автомобили

$$S = 0.78 AH$$

- за всички останали

$$S = BH$$

където A и H са габаритната ширина и височина на машината;

B е коловозът на машината, m .

При движение на автоvlak основното съпротивление изпитва влекачът, но процепът увеличава завихрянето. Ето защо факторът на обтекаемост се завишава с около $20 \div 30 \%$.

1.1.3. Инерционна сила.

Силата на инерционното съпротивление се образува от сумарното действие на всички инерционни съпротивления:

$$F_a = F'_a + F''_a$$

където $F'_a = \frac{G}{g} \frac{dv}{dt}$ е силата на съпротивление от ускорение на постъпателно движещите се маси, kN , а

$F''_a = \left(\frac{J_M i_0^2 \eta_T}{r_k^2} i_k^2 + n \frac{J_k}{r_k^2} \right) \frac{dv}{dt}$ – силата на съпротивление от ускоряването на въртящите се маси, kN .

Сумарната стойност се изразява с уравнението:

$$F_a = \left(\frac{G}{g} + \frac{J_M i_0^2 \eta_T}{r_k^2} i_k^2 + n \frac{J_k}{r_k^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

Изразът в скобите има размерност – маса. Реалната маса на машината е само първото събираемо, а останали две изразяват фиктивното нарастване на масата. Общият сбор е

приведена маса. Като се изнесе реалната маса пред скобите, в тях остава израз, характеризиращ влиянието на въртящите се маси върху приведената маса.

$$F_a = \frac{G}{g} \left(1 + \frac{J_M i_0^2 g \eta_T}{r_k^2 G} i_k^2 + \frac{n J_M g}{r_k^2 G} \right) \frac{dv}{dt}$$

Установено е, че дробните изрази, изразяващи конструктивните съотношения, са почти неизменни, относително устойчиви величини, за транспортни средства, поради което се полага:

$$\sigma_1 = \frac{J_M i_0^2 g \eta_T}{r_k^2 G} \text{ и } \sigma_2 = \frac{n J_k}{r_k^2 G}$$

като σ_1 отразява влиянието на маховика, а σ_2 влиянието на колелата върху стойността на приведената маса. Стойностите на тези коефициенти са близки помежду си и варират в граници $0,03 \div 0,05$.

Като се вземе предвид това обстоятелство, за коефициента, отчитащ влиянието на въртящите се маси, се получава:

$$\delta_B = 1 + \sigma_1 i_k^2 + \sigma_2$$

По-малките стойности за σ_1 се отнасят за колесни машини с многоцилиндрови двигатели, където маховиците са с по-малки размери, а σ_2 се избира в зависимост от броя на колелата. Освен това посочените стойности важат за колесна машина с пълен товар. Когато машината притежава друго тегло G_k , стойността на δ_B се определя чрез изрза

$$\delta_B = 1 + \sigma_1 i_k^2 \frac{G}{G_x} + \sigma_2 \frac{G}{G_x}$$

Участието на i_k^2 във формулата отразява значителното влияние на предавателното число на предавателната кутия върху стойността на произведената маса. На ниски предавки приведената маса може да надхвърли неколкостранно реалната маса на машината.

Като се вземат под внимание въведените обозначения, инерционната сила се определя по формулата

$$F_a = \frac{G}{g} \delta_B \frac{dv}{dt}$$

За съпротивителна сила на автомобила следва да се използва зависимостта:

$$F_c = G\psi + wv^2 + \frac{G}{g} \delta_B \frac{dv}{dt}$$

Уравнението съдържа в себе си всички конструктивни и експлоатационни фактори, характеризиращи съпротивлението при движение на колесната машина.

2. Скоростно-теглителна характеристика на автомобила.

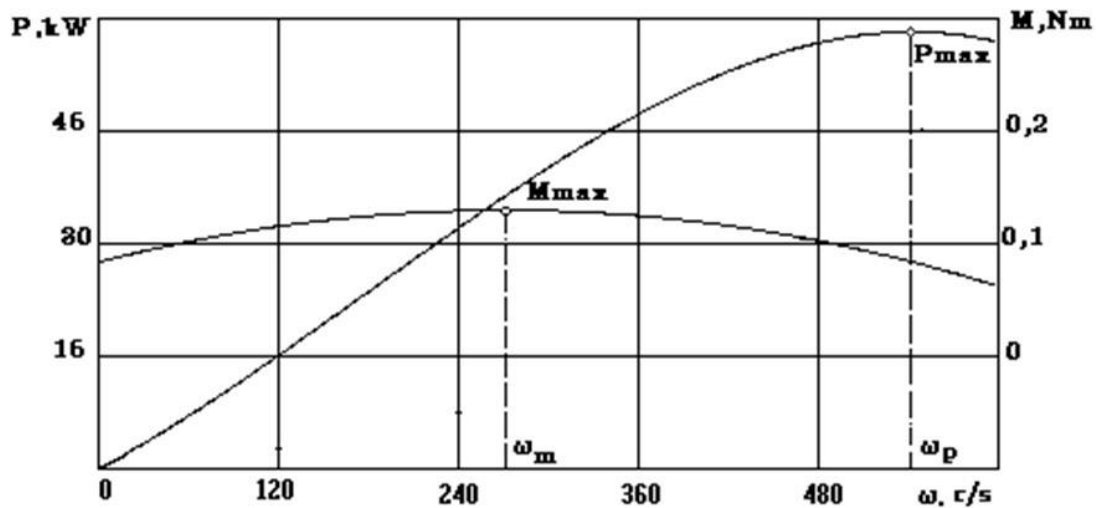
При анализа на сумарната съпротивителна сила от движението на автомобила се доказва, че тя се уравновесява от периферната сила върху задвижващите колела.

$$(1) \quad F_n = \frac{M_d i_0 i_k \eta_T}{r_k}$$

Въртящият момент M_d е елемент на скоростната характеристика на двигателя и се мени в зависимост от ъгловата скорост на колянвия вал и подаването на гориво. Влиянието на ъгловата скорост $\omega_{дв}$ върху M_d означава, че и периферната сила върху задвижващите колела е функция на $\omega_{дв}$, следователно и на скоростта на движение.

2.1. Скоростно-теглителна характеристика.

Зависимостта на периферната сила върху задвижващите колела от скоростта на движение се нарича скоростно-теглителна характеристика на автомобила. За разкриване на тази характеристика се изхожда от външната скоростна характеристика на двигателя с вътрешно горене предвид това, че са най-разпространения източник на енергия за транспортните машини от разглеждания тип. На фиг. 5 са изобразени външните скоростни характеристики мощност и въртящ момент за конкретен двигател. За тях са съществени две характерни точки с координати P_{max} и ω_p , определяща режима на максимална мощност и точки с координати M_{max} и ω_m дефинираща режима на максимален въртящ момент.



Фиг. 5 Външна скоростна характеристика на двигател с вътрешно горене

Външните скоростни характеристики на мощността и въртящият момент могат да бъдат апроксимирани чрез степенен ред по известни стойности за P_{max} и ω_p :

$$(2) \quad P_d = P_{max} \left(c_1 \frac{\omega}{\omega_p} + c_2 \frac{\omega^2}{\omega_p^2} - c_3 \frac{\omega^3}{\omega_p^3} \right); \quad M_d = P_{max} \left(c_1 \frac{1}{\omega_p} + c_2 \frac{\omega}{\omega_p^2} - c_3 \frac{\omega^2}{\omega_p^3} \right)$$

В това уравнение, познато като уравнение на Лейдерман, c_1, c_2 и c_3 са константи, характеризиращи типа на двигателя. Те могат да бъдат определени точно за всеки конкретен двигател чрез несложна математическа обработка на експериментални данни, но при липса на такава възможност се избират от следната таблица.

Вид на двигателя	c_1	c_2	c_3
Карбураторен	1	1	1
Дизелов двутактен	0,87	1,13	1
Дизелов четиритактен	0,53	1,56	1,09

Ако в уравнение (2) се замени ъгловата скорост на двигателя $\omega = \frac{v i_k}{r_k}$, а полученият резултат в (1), за периферната сила върху задвижващите колела ще се получи:

$$F_n = c_1 \frac{P_{max} i_0 \eta_T}{\omega_p r_k} i_k + c_2 \frac{P_{max} i_0^2 \eta_T}{\omega_p^2 r_k^2} i_k^2 v - c_3 \frac{P_{max} i_0^3 \eta_T}{\omega_p^3 r_k^3} i_k^3 v^2$$

Дробните изрази в уравнението са константни величини за транспортното средство с определни конструктивни параметри, които се полагат съответно на a , b и c . По този начин уравнението добива вида:

$$(3) \quad F_n = c_1 \cdot a \cdot i_k + c_2 \cdot b \cdot i_k^2 \cdot v - c_3 \cdot c \cdot i_k^3 \cdot v^2$$

Полученият израз е уравнение на скоростно-теглителната характеристика на колесна машина, в която константите a , b и c са свързани в съотношение $b/a = c/b$.

Посредством изрази (2) и (3) се извършва задълбочен анализ за влиянието на конструктивните параметри и условия на движение върху стойността на периферната сила. Един от най-важните въпроси е разкриване на режима, при който силата достига максимална стойност. За целта се търси максимумът на функцията (3).

$$\frac{dF_n}{dv} = c_2 \cdot b \cdot i_k^2 - 2c_3 \cdot c \cdot i_k^3 \cdot v = 0$$

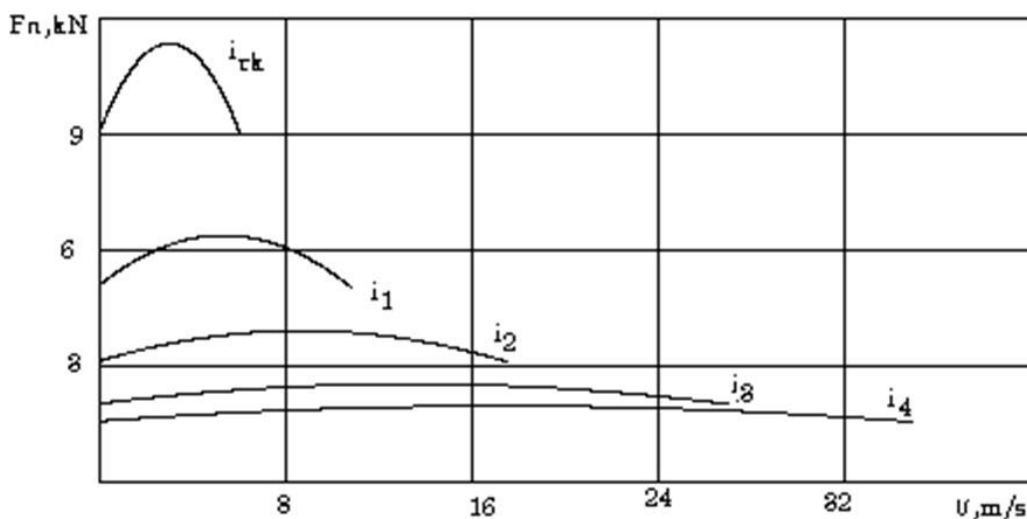
Решението на това уравнение е:

$$(4) \quad v = v_{kp} = \frac{c_2 b}{2c_3 c i_k} \text{ или } v_{kp} = \frac{c_2 a}{2c_3 b i_k}$$

При тази стойност на скоростта периферната сила достига максимум. След заместване на (4) в (3) и извършване на необходимите преобразувания се стига до излаза:

$$(5) \quad F_{n \max} = \left(c_1 + \frac{c_2^2}{4c_3} \right) a i_k = \left(c_1 + \frac{c_2^2}{4c_3} \right) \frac{P_{max} i_0 \eta_T}{r_k \omega_p} i_k$$

Уравнението на скоростно-теглителната характеристика е квадратична форма и графиката и е парабола, обърната надолу. При различни стойности на предавателните числа в предавателната и разпределителната кутия се получава семейство от параболи (Фиг. 6).



Фиг. 6 Скоростно-теглителна характеристика на лек автомобил с повишена проходимост

Скоростно-теглителната характеристика на автомобила се оценява с оглед на качеството на движение, което обуславя. Пълна оценка е възможна след съпоставянето и със съпротивленията, определени от условията на експлоатационната среда.

2.2. Периферна сила по условие за сцепление на колелата с пътя.

Скоростно-теглителната характеристика на автомобила определя диапазона за изменение на периферната сила при условие, че между задвижващите колела и пътя има достатъчно сцепление.

Максималната периферна сила на отделното колело $F_{n\varphi i}$, ограничена от сцеплението му с пътя, има стойност:

$$F_{n\varphi i} = Z_i f + Z_{i\varphi} = (f + \varphi) Z_i$$

Сборът от тези сили на задвижващите колела определя периферната сила по условие за сцепление на колелата с пътя на цялата машина:

$$F_{n\varphi} = \sum_{i=1}^n F_{n\varphi i} = (f + \varphi) \sum_{i=1}^n Z_i$$

където n е броят на задвижващите колела.

Сборът от вертикалните реакции на задвижващите колела

$$\sum_{i=1}^n Z_i$$

се нарича сцепно тегло на автомобила - $G_{\text{зац}}$. Следователно:

$$(6) \quad F_{n\varphi} = (f + \varphi)G_{\text{зац}}; F_{n\varphi} \approx \varphi G_{\text{зац}}$$

Движението на автомобила без буксуване на задвижващите колела е възможно при спазване на условието $F_{n\varphi} < \varphi G_{\text{зац}}$.

За колесна машина 4x2:

$$(7) \quad G_{\text{зац}} = \frac{b}{L}G, F_{n\varphi} = \frac{b}{L}G\varphi$$

За колесни машини от типа 4x4, 6x6, 8x8

$$(8) \quad G_{\text{зац}} = G \cos \alpha, F_{n\varphi} = G\varphi \cos \alpha$$

Сравнението между (7) и (8) показва, че пълноприводните автомобили позволяват да се реализира значително по-голяма движеща сила $F_{n\varphi} = G\varphi \cos \alpha$. Това не е възможно при останали, тъй като сцепното тегло при тях се използва в по-малка степен.

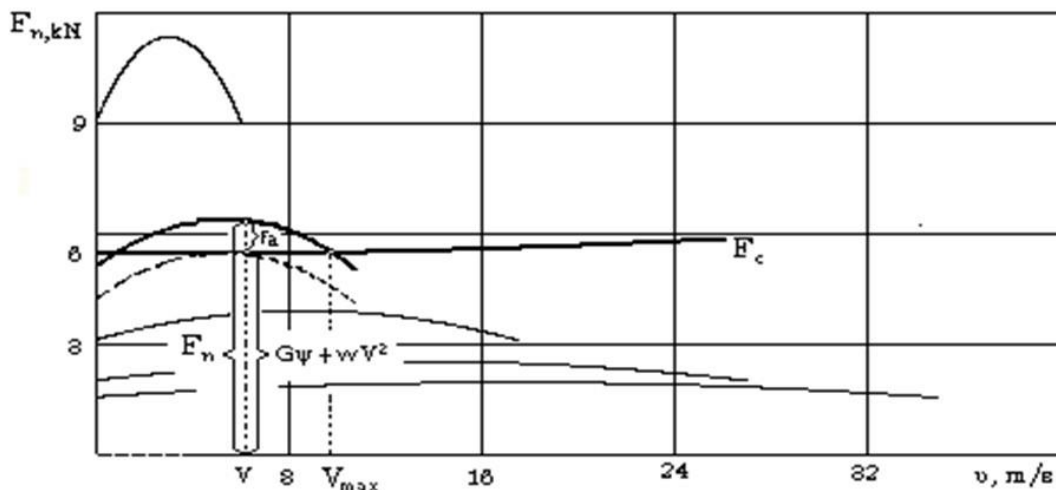
3. Силов баланс на автомобила.

3.1. Уравнение на силов баланс.

При анализа на сумарната съпротивителна сила беше установено, че тя се преодолява от пълната периферна сила върху задвижващите колела:

$$(1) \quad F_n = G\psi + wv^2 + \frac{G}{g}\delta_B \frac{dv}{dt}$$

Това уравнение се нарича уравнение на силов баланс, тъй като изразява разпределението на периферната сила за преодоляването на съпротивленията при движение. В графична форма силовият баланс е представен на фиг. 7. В този вид уравнението за силов баланс е изображение на съпротивителните сили и скоростно-теглителната характеристика в една и съща координатна система. Силата от съпротивлението от пътя F_ψ и нейните съставни G и ψ почти не зависят от скоростта на движение, графиката и е права, успоредна на абсцисната ос, докато съпротивителната сила от въздуха $F_w = wv^2$ е парабола, което означава нарастващата стойност на функцията с увеличение на скоростта. За разлика от останалите сили, графиката на инерционната сила не се изобразява, тъй като е резултативна величина $F_a = F_n - wv^2$ и допълва баланса на силите, които се формират под непосредственото въздействие на външната среда.



Фиг. 7 Графична интерпретация на силов баланс.

С промяната на скоростта се изменя и разпределението на силите. На фиг. 7 е посочено разпределението на съпротивителните сили на машината при определена, текуща скорост v .

Наличието на инерционна сила F_a означава, че скоростта е моментна, тъй като машината се движи с ускорение. С нарастване на скоростта периферната сила намалява стойността си, а силата на съпротивление на външната среда $F_\psi + F_w$ расте, поради въздушното съпротивление. Това означава, че във времето инерционната сила е монотонно намаляваща функция, която приема нулева стойност при изравняване на останалите сили:

$$F_n = F_\psi + F_w$$

В този момент автомобилът преминава към движение в стационарен режим и скоростта е максимална $v = v_{max}$ при тези условия на движение.

Равномерното движение със скорост $v < v_{max}$ е възможно при изкуствено създаване на равенство между силите F_n и $F_\psi + F_w$, което може да се осъществи чрез преминаване към режим на частично подаване на гориво. Всъщност, силата на съпротивление от пътя F_ψ и нейните съставни G и ψ почти не зависят от скоростта на движение, графиката и е права, успоредна на абсцисната ос, докато съпротивителната сила на въздуха $F_w = wV^2$ е парабола, което означава нарастващата стойност на функцията с увеличение на скоростта. За разлика от останалите сили, графиката на инерционната сила не се изобразява, тъй като е резултативна величина $F_a = G\psi + wV^2$ и допълва баланса на силите, които се формират под непосредственото въздействие на външната среда по този начин се избира подходяща текуща скорост. Като изменя позицията на лостовата система на дроселовата клапа, водачът изменя стойността на периферната сила, следователно мени баланса и като резултат на това – текущата скорост.

3.2. Диференциално уравнение на праволинейно движение.

Уравнението на силов баланс е непосредствен израз на диференциалното уравнение за движение, тъй като съдържа в себе си независимата променлива скорост v и нейната производна dv/dt . Ако в (1) периферната сила бъде изразена с уравнението на скоростно-теглителната характеристика се получава

$$c_1 a i_1 + c_2 b i_k^2 v - c_3 c i_k^3 v^2 = G \psi + w v^2 + \frac{G}{g} \delta_B \frac{dv}{dt}$$

Като отчетем влиянието на скоростта върху съпротивлението при търкаляне $f = f_0(1 + k_f v^2)$ и се приведе уравнението във форма на Коши, се стига до извода:

$$(2) \quad \frac{dv}{dt} = \frac{g}{G \delta_B} \{ [c_1 a i_k - G(f_0 + i)] + c_2 b i_k^2 v - (c_3 c i_k^3 + w + k_f G f_0) v^2 \}$$

Полученият израз е диференциално уравнение на принуденото движение на автомобила при достатъчно сцепление на колелата с пътя. То съдържа в себе си информация за преходните процеси, които се осъществяват и е условие за решаване на задачи на динамика на праволинейното движение.

3.3. Устойчивост на праволинейно движение.

Въпросът за устойчивостта на движението заема централно място при изследване на динамиката на системите изобщо. Главният принос в теорията за устойчивост на механичните системи принадлежи на бележития руски учен Лялунов.

Движението на механичната система е устойчивост по Лялунов, когато появата на незначително смущаващо въздействие параметрите на функциониране се изменят незначително и възбуденият преходен процес е бързо затихващ. След премахване на въздействието параметрите на функциониране се възстановяват.

За да се осъществи това изискване, необходимо е балансът на силите да се измени така, че след появата на смущението притокът на движещата сила да се преодолява пред потока на съпротивителната сила, формирана от следата, или:

$$(3) \quad dF_n - dF_c > 0$$

След определяне на диференциалите на силите и заместване в (3) се стига до неравенството:

$$c_2 b i_k^2 > 2(c_3 c i_k^3 + w)v$$

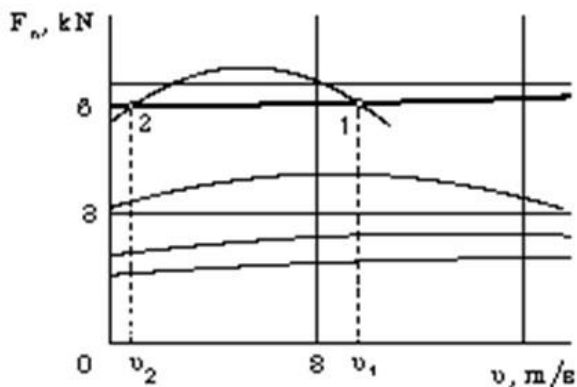
Следователно условието за устойчивост на праволинейно движение е:

$$(4) \quad v > \frac{c_2 b i_k^2}{2(c_3 c i_k^3 + w)}$$

Най-малката стойност на скоростта, при която се нарушава неравенството, се нарича критична скорост.

Когато движението се осъществява със скорост по-малка от критичната, движението е неустойчиво, двигателят губи честотата си и спира.

Устойчивостта на праволинейното движение може да се обясни и чрез анализ на графиките на силовия баланс (Фиг. 8).

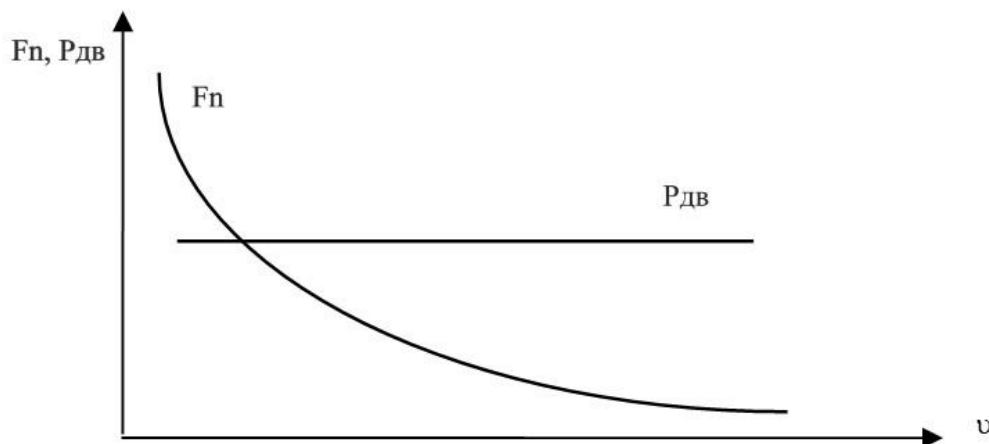


Фиг. 8 Графичен анализ на устойчивостта на праволинейно движение

От фигурата се вижда, че графиките на F_n и F_c се пресичат в точки 1 и 2, които характеризират равномерно движение и равенство на силите. Ако машината се движи със скорост v_1 и съпротивлението нарастне от $F_c = G_\psi + wv^2$ на $F_c + \Delta F_c$, след време Δt отново ще настъпи изравняване на силите и скоростта ще се установи при стойност $v < v_1$. След премахване на смущаващото въздействие ΔF_c в резултат на нарушеното равновесие между силите $F'_n > F'_c$ се появява инерционна сила ΔF_a , което означава, че машината преминава в режим на ускорение до момента, в който скоростта и нарастне до v_1 . Тенденцията към запазване на параметрите на движението се запазва и в случая, когато смущението е с обратен знак.

При анализ на движението в точка 2, се установява, че смущаващото въздействие въвежда машината в нестационарен режим, който се запазва дори след неговото премахване. В зависимост от посоката на въздействието, скоростта може да падне до $v = 0$ или да приеме стойност v_1 . Това означава, че движението в точка 2 е неустойчиво. От фиг. 8 се вижда, че зоната на устойчивото движение се ограничава от критичната скорост, а това е скорост, близка до скоростта при максимална периферна сила. Следователно за неустойчивостта е падащия характер на левия клон на кривата.

Наличието на неустойчива зона в скоростно-теглителната характеристика е приемлив, но нежелан недостатък. Условието за осигуряване на устойчиво движение в целия скоростен диапазон на машината се свежда до получаване на характеристика, която е монотонно намаляваща с нарастване на скоростта. Тези условия се удовлетворяват от уравнението на равномерната хипербола, чиято характеристика се приема за идеална.



Фиг. 9 Графика на идеална скоростно-теглителна характеристика

Условията за осигуряване на този вид характеристики се свеждат до осигуряване на постоянна мощност във функция от скоростта, като по този начин скоростно-теглителната характеристика се задава с уравнението:

$$F_n = \frac{P_d \eta_T}{v}$$

Това изискване се постига по два начина: чрез двигатели с аналогични външни скоростни характеристики и посредством осигуряване на променливо предавателно число на силовото предаване.

Известни са двигатели, мощността на които се запазва с изменение скоростта на въртене на изходния им вал. Това са двигателите на парната машина, газовата турбина и на серийния правотоков двигател.

Поради недостатъци, свързани с производството на пара, повишена опасност и други недостатъци, парната машина вече не се използва като двигател за транспортни машини. Серийният правотоков електродвигател се прилага изключително при електрическия транспорт (локомотиви, трамваи, тролейбуси и електрически автомобили).

Наред с предимствата си серийният електродвигател притежава съществен недостатък да преминава трудно в генераторен режим на работа, което означава лоша спирачна характеристика. По тази причина на практика се използват електродвигатели със смесено възбуждане, което е за сметка на качеството на характеристиката. Газотурбинният двигател има почти линейна, падаща характеристика, което осигурява устойчива работа при малки скорости и високи натоварвания, но на този етап приложението му в транспортните машини има само експериментален характер, тъй като притежава висок специфичен разход на гориво и лоша спирачна характеристика.

За осигуряване на устойчиво движение на автомобилите се използва променливото предавателно число на силовото предаване. Ако в уравнение (4) се пренебрегне влиянието на фактора на обтекаемост, за критичната скорост се получава:

$$(5) \quad v_{кр} \approx v_M = \frac{c_2 B}{2c_3 c i_k}$$

От тази зависимост следва, че критичната скорост е величина, която подлежи на управление, тъй като с увеличаване на предавателното число нейната стойност намалява. Това не означава обаче, че проблемът се решава само с подбиране на едно по-голямо предавателно число на силовото предаване, тъй като с това се ограничава максималната скорост. Ето защо предавателното число трябва непрекъснато да се изменя в зависимост от съпротивлението на движението. В конструктивно отношение тази задача е решена до два способа, чрез използване на безстепенни предавателни кутии и посредством степенни предавателни кутии.

Безстепенното изменение на предавателното число се постига чрез използване на хидродинамични, хидростатични и електрически предавки. Проблемите, свързани с тяхното внедряване се свежда до това, че диапазонът на изменение на предавателното число е ограничен от приемливите стойности на техния КПД поради което се налага да работят съвместно със степенна предавателна кутия, а това усложнява конструкцията.

Степенното изменение на предавателното число се реализира чрез механични предавателни кутии, които притежават висок КПД. При тях предавателните числа на отделните предавки се подбират специално с оглед на критичните скорости на по-висшите предавки да бъдат покрити от скоростния диапазон на по-нисшите предавки. По този начин цялата скоростно-теглителна характеристика притежава неустойчива зона само в диапазона $0 \leq v \leq v_{1кр}$, който е сравнително тесен и се преодолява при потегляне от място за сметка на буксуването в съединителя. В неустойчив режим на движение може да се влезе и когато при повишаване на пътното съпротивление не се премине своевременно на по-нисша предавка или когато двигателя работи на такъв частичен режим, при който се поддържа скорост, по-малка от критичната.

3.4. Максимална скорост.

Когато машината се движи равномерно, ускорението $\frac{dv}{dt} = 0$. По този начин изразът в скобите на (2) се нулира и квадратното уравнение, решено спрямо v , определя възможните скорости за равномерно движение:

$$(6) \quad v_{1,2} = \frac{c_2 b i_k^2 \pm \sqrt{c_2^2 b^2 i_k^4 + 4(c_3 c i_k^3 + w + G f_0 k_f)[c_1 a i_k - G(f_0 + i)]}}{2(c_3 c i_k^3 + w + G f_0 k_f)}$$

Наличието на два корена означава две стойности на стойностите за равномерно движение. Не е трудно да се докаже, че малката от тях v_2 , определена при използването на знака (-), е по-малка от $v_{кр}$, следователно по-голямата от тях v_1 се намира в устойчивата

зона на скоростно-теглителната характеристика и е максимална скорост за движение в тези пътни условия.

3.5. Максимален наклон.

Когато машината преодолява значително пътно съпротивление, след определено време, движението и става равномерно. Ако пренебрегнем съпротивителната сила на въздуха, стига се до там, че максималната периферна сила се изразходва за преодоляване на съпротивителната сила от пътя. Следователно:

$$F_{n\max} = G(f_0 + i_{\max})$$

След заместване с

$$F_{n\max} = \left(c_1 + \frac{c_2^2}{4c_3}\right) ai_k = \left(c_1 + \frac{c_2^2}{4c_3}\right) \frac{P_{\max} i_0 \eta_T}{r_k \omega_p} i_k$$

за максимален наклон се получава:

$$(7) \quad i_{\max} = \left(c_1 + \frac{c_2^2}{4c_3}\right) \frac{P_{\max} i_0 \eta_T}{Gr_k \omega_p} i_1 - f_0$$

Когато сцеплението между колелата с пътя е недостатъчно, максималната периферна сила от двигателя не може да бъде реализирана, тогава максималният наклон се ограничава от условието:

$$i_{\max} = \frac{G_z}{G} \varphi$$

Изводи от Глава II:

1. За да се оцени качеството на движение на един автомобил, трябва да се направи задълбочен анализ между функцията периферна сила/скорост на движение и съпротивленията, определени от условията на експлоатационната среда.

2. Търсенето на технически решения за преодоляване на неустойчива зона в скоростно-теглителната характеристика е важен момент за използване на електрическо задвижване в автомобилите.

3. Използването на механичен редуктор в едно с електрически двигател повишава КПД на електрическият автомобил, като значително опростява конструкцията на трансмисията.

Глава III

1. Електрически машини и приложението им в електрическите автомобили.

Електрическите машини са устройства, които преобразуват електрическата енергия в механична. За съвременните електрически автомобили, големите производители разработват променливотокови задвижващи системи с асинхронни, синхронни и реактивни двигатели.

1.1 Асинхронни електрически двигатели.

Асинхронните електрически двигатели са променливотокови машини, които работят с въртящо се магнитно поле. Състоят се от ротор и статор. В електрическите автомобили се използват асинхронни двигатели с накъсо съединен ротор (кафезен ротор).



Фиг. 10 Статор на асинхронен електрически двигател
1 - статор; 2 - канали на статорна намотка; 3 - част от статорна намотка.

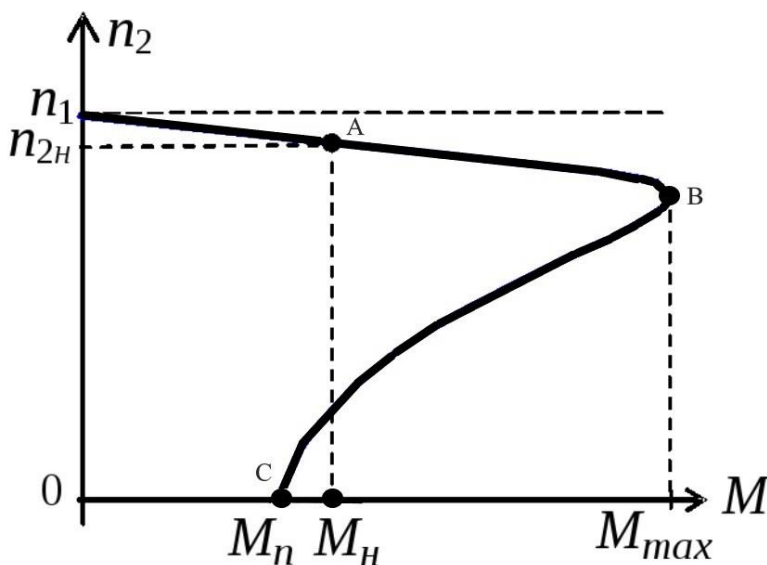


Фиг. 11 Накъсо съединен ротор на асинхронен електрически двигател
а) - схема; б) - устройство

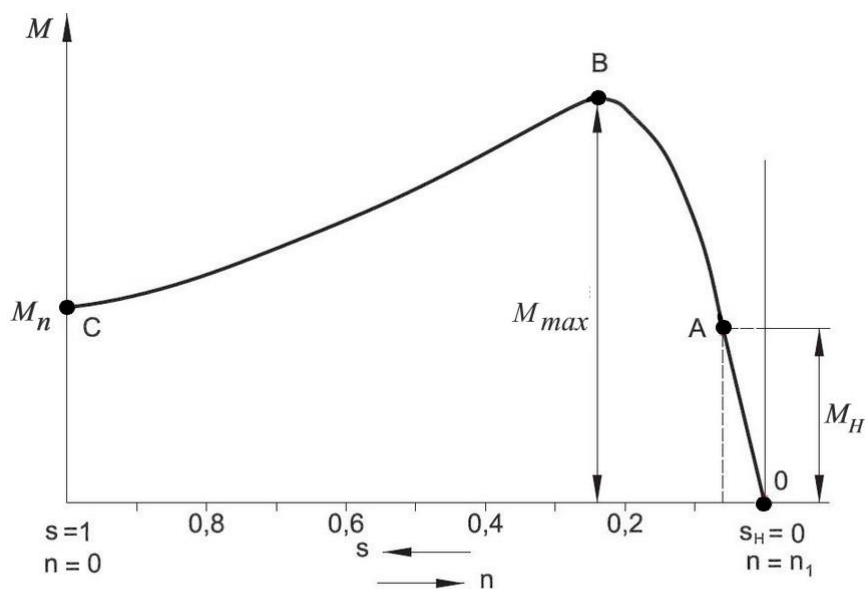
1 - роторен пакет; 2 - вал на ротора; 3 - челен диск; 4 - алуминиеви или медни пръти; 5 - ламела на роторния пакет.

При протичане на трифазен променлив ток, в статорната намотка се възбужда въртящо се магнитно поле, магнитните силови линии на което пресичат роторната намотка и индуцират в нея електродвижещо напрежение. Токът, който протича в роторната намотка създава свое магнитно поле, което взаимодейства със статорното магнитно поле и от взаимодействието на двете полета се създава въртящ момент, който завърта ротора по посока на въртящото се магнитно поле.

Честотата на въртене на магнитното поле и на ротора е различна, като честотата на въртене на ротора при постоянна честота на захранващото напрежение зависи от натоварването.



Фиг. 12 Зависимост между честота на въртене на ротора и въртящ момент на асинхронен електрически двигател



Фиг. 13 Зависимост на въртящият момент M от хлъзгането S

Предимствата на асинхронните двигатели са по-малки габаритни размери и маса при еднакви мощности в сравнение с постояннотоковите, липсва колектор и четки, по-висок КПД, лесна поддръжка и др.

Недостатък е сложното управление.

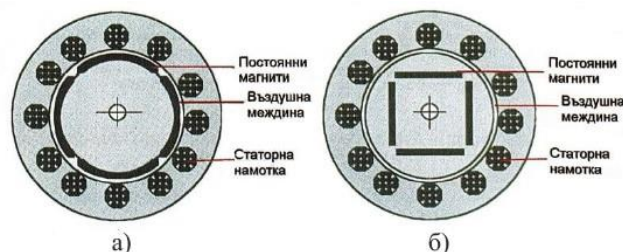
1.2. Синхронни електрически двигатели.

Синхронните електрически двигатели са променливотокови машини, при които ротора се върти със синхронна честота, т.е. честотата на въртене на ротора е равна на честотата на въртене на магнитното поле ($n = n_1$).

Статорната намотка е трифазна като при асинхронните машини. Захранването е с трифазен променлив ток със синусоидална форма. Ротора е изработен от феромагнитен материал и в него са поставени възбудителна намотка или постоянни магнити с пускова кафезна намотка.

Работата на синхронната машина се основава на взаимодействие между въртящо се магнитно поле създадено от статорната намотка и магнитното поле създадено от възбудителната намотка или постоянните магнити в ротора.

В съвременните електрически автомобили най-голямо приложение намират двигателите с постоянни магнити (PMSM), тъй като са доста по-ефективни от асинхронните и нямат вторични намотки на роторите си. Поради синхронната работа почти изцяло се елиминират електрическите и магнитните загуби на ротора. Също така нямат колектори, което опростява конструкциите и намаляват загубите във веригата на възбуждане.



Фиг. 14 Променливотокови синхронни електрически двигатели с постоянни магнити
а) - с разположени постоянни магнити по повърхността на ротора;
б) - с разположени постоянни магнити във вътрешността на ротора.

Повечето съвременни синхронни двигатели с постоянни магнити се конструират на базата на неодимови магнити. Те представляват постоянни магнити, изработени от сплав на неодим, желязо и бор ($Nd_2Fe_{14}B$). Използват се и постоянни магнити от типа: самарий-кобалт ($SmCo_5$; Sm_2Co_{17}), AlNi, Alnico и Ticonal.

Неодимовите магнити са много мощни за масата си, но са крехки и най-мощните видове губят магнетизма си при температури над 80°C . Обикновено повърхността им е облицована с никел. По-термоустойчивите видове могат да работят при температура до

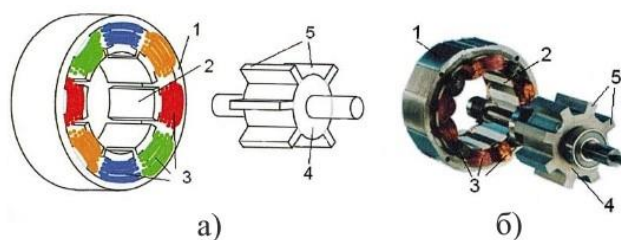
250°C. Силата на термоустойчивите неодимови магнити е приблизително равна на самариево-кобалтовите ($SmCo_5$; Sm_2Co_{17}) магнити, които могат да запазят магнетизма си до по-висока температура.

Предимствата на PMSM са компактната конструкция, малък инерционен момент на ротора и бързата реакция при промяна режима на работа, работят по-добре от четковите постояннотокови при висока честота на въртене в сравнение с асинхронните, имат по-добри енергитични показатели и по-гъвкави регулировъчни характеристики.

Недостатъците им се свеждат до това, че са чувствителни към изменение на температурата и натоварването при високи честоти на въртене, поради загряване, постоянните магнити губят свойствата си.

1.3. Електрически двигатели работещи на реактивен принцип.

Роторът на електрическия двигател е от магнитно мек материал (електротехническа стомана) и няма нито постоянни магнити, нито роторна намотка. Когато се подаде захранване на статорната намотка, в резултат на появилото се магнитно поле възникват сили на привличане и момент, който завърта ротора така, че да се минимизира въздушната междина.



Фиг. 15 Основни части на SR електрически двигател а) - тип 8/6; б) - тип 12/8;
1 - статор; 2 - полюси на статора; 3 - статорна намотка; 4 - ротор; 5 - гребен на ротора.

Създаваният въртящ момент и въртенето на ротора на елементарния SR електрически двигател са значително неравномерни. Неравномерността може да се намали, ако се поставят повече полюси на статорната намотка, а роторът се изработи с такава форма, че да има няколко изпъкнали надлъжни гребена (т. нар. изпъкнали полюси). Броят на гребените обикновено е с 2 по-малко от полюсите на статора. Възможни комбинации като 6/4, 10/4, 12/8 и др.

Намотките на полюсите на статора се захранват и изключват последователно в строго определен момент и ред, така се поддържа въртенето на ротора. Честотата на въртене може да се контролира чрез продължителността на времето, през което се подава захранване на полюсната намотка. Контролерите са с просто устройство, защото не е нужно да се сменя посоката на тока в полюсите на статорната намотка – нужен е само микроконтролер и няколко електронни ключа.

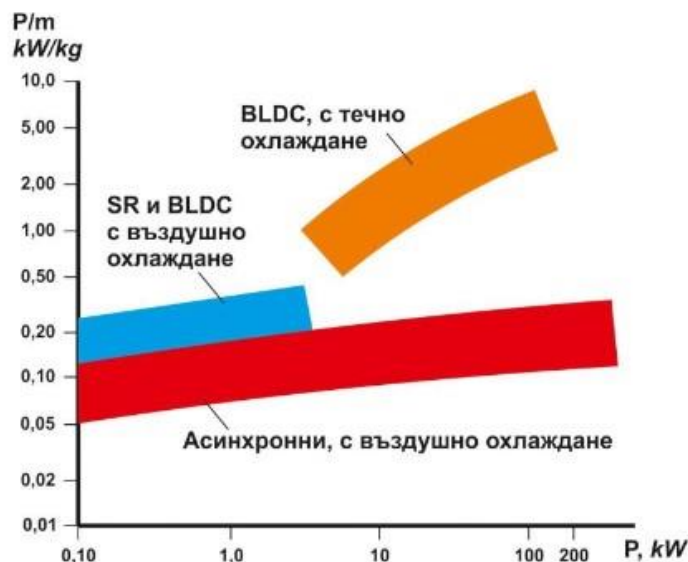
Тъй като роторът не е постоянен магнит не се генерират противофазно електродвижещо напрежение и тези електрически двигатели работят добре при висока честота на въртене. Въпреки, че КПД на SR електрическите двигатели е малко по-нисък от

този на безчетковите постояннотокови електрически двигатели (BLDC), те поддържат висок КПД в широк диапазон.

Предимствата на *SR* електрическите двигатели са: проста и евтина конструкция, заради липсата на роторна намотка или постоянни магнити; не е нужно реверсиране на захранващия ток, което прави по-просто управлението; загряването на статора, което е по-лесно за охлаждане на машината; механичната характеристика може да бъде по-лестно пригодена към изискванията на задвижваната машина, отколкото при асинхронните или BLDC; голям стартов момент; възможна по-висока температура на ротора, заради отсъствието на магнити; малък инерционен момент на ротора, възможна работа с висока честота на въртене в широк диапазон на изменение на мощността; индивидуално захранване на пълусните намотки и възможна работа дори при загуба на захранването на една или няколко от двойките полюсни намотки.

Недостатъци. Неравномерността на създадения въртящ момент и по-високото ниво на шум; високи изисквания към крайните връзки и контролера, което осъбява използването им; възможностите за регенериране на енергия от този тип електрически двигатели са по-малки, тъй като ротора няма постоянни магнити или намотка.

На фиг. 16 е показана енергонаситеността на различните типове електрически двигатели в зависимост от мощността им. Областите показват препоръчителните възможности за приложение в електрическите автомобили, според вида на електрическия двигател и типа на охлаждането.

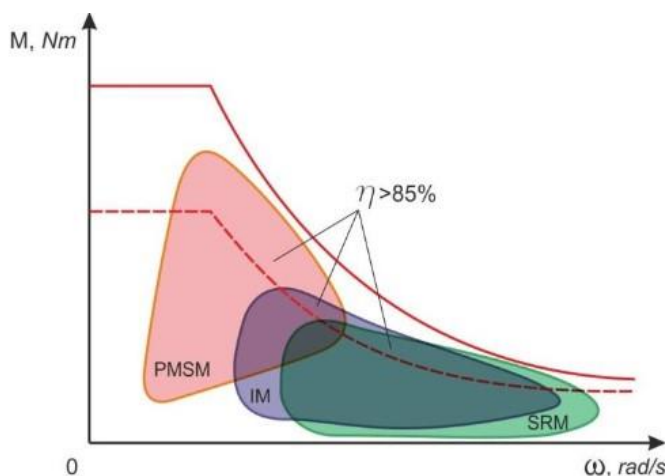


Фиг. 16 Специфична мощност на различните видове електрически двигатели

Тяговите електрически двигатели на електрическите автомобили работят в тежки условия. Това налага поставянето на много изисквания към тях, по-важните от които са: да понасят значителни претоварвания (максималната стойност на въртящия момент да е до 2,

3 пъти по-голяма от номиналната); да изменят въртящия момент и честота на въртене в достатъчно широки граници; широк скоростен диапазон на работа с постоянна мощност; да развиват еднаква мощност при въртене на ротора и в двете посоки; голяма специфична мощност, при малки габаритни размери и маса, малък инерционен момент на въртящите се части, което подобрява ускорителните свойства; по възможност цялата маса на електрическият двигател да е окачена, за да не създава динамични натоварвания; корпусът на двигателя да бъде достатъчно здрав, да не допуска проникване на прах и влага; изолацията да е с добри електрически, механични и термични свойства, ниско ниво на шум, лесно обслужване и ниска цена.

При съпоставяне на областите с КПД над 85 % за тези електродвигатели се вижда, че част от зоната на синхронните електрически двигатели с възбуждане от постоянни магнити е разположена под областта с максимален въртящ момент (при ниска честота на въртене), докато зоните на трифазни и променливотокови работещи на реактивен принцип електрически двигатели са предимно под областта с максимална мощност.

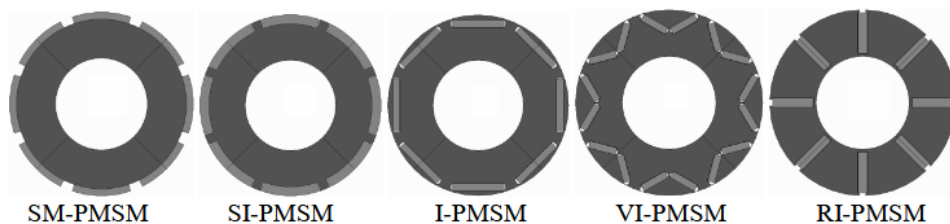


Фиг. 17 Съпоставяне разположението на зоните с енергийна ефективност над 85 % за трите типа електрически двигатели:

PMSM - синхронни електродвигатели с възбуждане от постоянни магнити; SRM - електродвигатели, работещи на реактивен принцип; IM - трифазни променливотокови електродвигатели

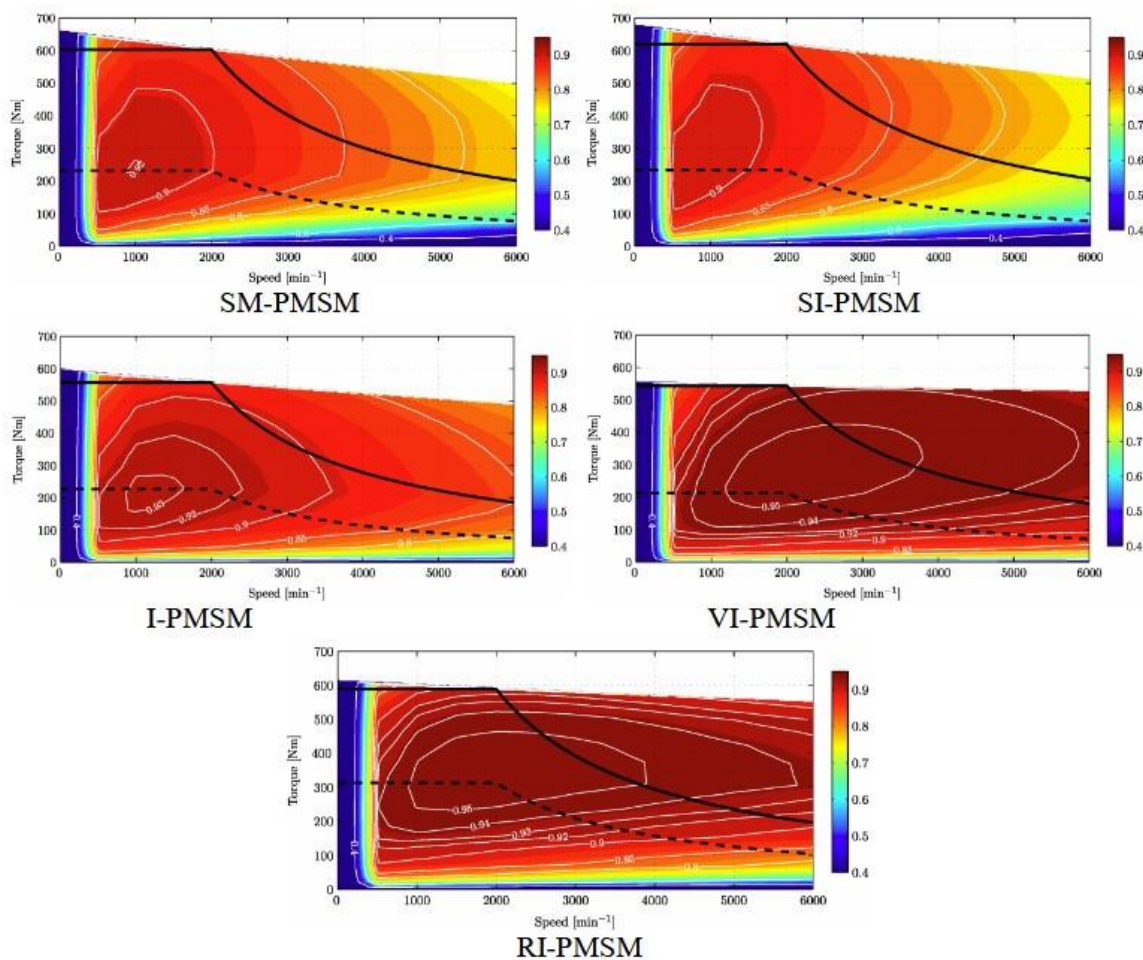
Изборът на електрическият двигател зависи от потребностите на електрическия автомобил. Основен критерий е пълен обхват и възможно най-висок КПД в желан скоростен диапазон за движение.

Различното разположение на постоянните магнити в ротора при електрически двигатели с възбуждане от постоянни магнити (фиг. 18) води до различно разположение на КПД зоните на електродвигателя. TOYOTA използва в своите системи THS (Toyota hybrid system) версии I и II съответно разположения на магните I-PMSM и VI-PMSM.



Фиг. 18 Различни разположения на постоянните магнити в ротора на електродвигател с постоянно възбуждане от електромагнити:
SM-PMSM - с външни повърхностни магнити; **SI-PMSM** - с вътрешни повърхностни магнити;
I-PMSM - с вътрешни магнити; **VI-PMSM** - с V-образни вътрешни магнити; **RI-PMSM** - с радиално разположени вътрешни магнити

Чрез компютърна симулация са получени резултати за предполагаеми зони на КПД на електрическия двигател при различните разположения на магнитите в ротора.



Фиг. 19 Теоритично разположение на КПД на електрически двигатели с различно разположени магнити

От фиг. 19 се вижда, че при различните разположения на постоянните магнити в ротора се променя зоната на КПД над 85 % както по форма и размер, така и по разположение спрямо честотата на въртене и големината на въртящия момент. При някои от разположенията е ясно изразена преобладаващата зона на КПД над 85 % под областта с максимален въртящ момент, а при други зоната с висок КПД над 85 % се разширява и обхваща значително областта с максимална мощност на електрическият двигател. В някои от случаите зоната с КПД над 85 % обхваща почти целия скоростен диапазон на електрическия двигател.

В таблица 2 са дадени технически параметри и характеристики на най-широко разпространените електрически автомобили.

От 10 електрически автомобили, 8 са с PMSM електрически двигатели. Само един от електрическите автомобили е със синхронен електрически двигател с възбудителна намотка. Очевидно конструкторите използват такъв двигател за да избегнат използването на редкоземни магнити, с каквито не разполагат всички производители. Също така само един от всички разгледани електрически автомобили използва асинхронен електрически двигател. Това не е съществено предимство, освен ако не се разглеждат задвижвания с голяма мощност. Такива задвижвания се използват при тролейбуси, електрически автобуси, електрически товарни автомобили, електрически локомотиви и др. Асинхронните електрически двигатели могат да бъдат с много голяма мощност, каквато не може да се достигне при променливотоковите електрически двигатели с редкоземни магнити.

Таблица 2. Технически параметри и характеристики на широко разпространените електрически автомобили.

Общи данни	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-Производител	Nissan	KIA	Volkswagen	Volkswagen	BMW	Hyundai	Mercedes-Benz	Renault	Tesla	Toyota
-Модел	Leaf	Soul EV	e-Golf	e-Up	i3	Ioniq	B-klasse	Zoe	Model S 75	Prius
-Страна производител	Япония	Корея	Германия	Германия	Германия	Корея	Германия	Франция	САЩ	Япония
- Година на производство	2013	2014	2017	2016	2013	2016	2015	2016	2016	2017
Масови параметри	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Собствена маса – mс, kg	1474	1465	1485	1129	1220	1420	1625	1403	2075	1530
- Маса на полез.товар–mт, kg	471	495		401	455	460	545	563	515	325
+ бр. пътници(без водач)–n	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4
+ брой места	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1
- Пълна маса – m, kg	1945	1960		1530	1675	1880	2170	1966	2590	1855
Геометрични параметри	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Габаритни размери(Lr, Bг, Hг), m	4445, 1770, 1550	4140, 1800, 1593	4255, 1799, 1452	3600, 1645, 1492	3999, 1775, 1578	4470, 1820, 1450	4359, 1786, 1557	4084, 1730, 1562	4970, 1964, 1445	4645, 1760, 1470
- Междуосово р-ние–L, m	2700	2570	2637	2421	2570	2700	2699	2588	2960	2700
- Колея (следа) B, m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
+ предна ос	1540	1576	1549	1412	1571	1555	1552	1511	1662	1531
+ задна ос	1535	1585	1520	1408	1576	1564	1549	1510	1700	1534
Минимален радиус на завой	10,4		10,9	9,8	9,9	10,3	11	10,6	11,3	
Двигател	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Тип: синхронен, асинхронен	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с постоянни магнити	Синхронен с роторна намотка	Асинхронен	Синхронен с постоянни магнити
- Pе, max; kW	80	81	100	60	125	88	132	68	235	53
- Мe, max; Nm	254	285	290	210	250	295	340	220	440	163
- n, max; min-1	10390		12000		11400		14500	11300	18000	
- η, max	0,97		0,95	0,95	0,97			0,9	0,88	
- Захранващо напрежение, V	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
- Брой полюси	8				6				4	
- Разположение (пр./задно; надл./напр.)	Предно	Предно	Предно	Предно	Задно	Предно	Предно	Предно	Задно	Предно
Батерия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Вид	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion polymer	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
- Капацитет - kWh	24	27	35,8	18,7	33,2	28	28	22	75	8,8
- Маса; kg	294	277	317		204	267	290	290	530	120
- Напрежение - V	345	360	323	374	353	360	300	400	375	351,5
Трансмисия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- ю	7,94		9,71		9,67	7,41	9,73	13,5	9,7	3,218
Експлоатационни параметри	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Максимална скорост Vmax, km/h	144	145	150	130	150	165	160	135	225	138
- Време за ускоряване до V=100km/h	11,5	11,2	9,1	12,4	7,3	9,9	7,99	14,5	5,5	11
- Разход на енергия (kWh/100km)	15	14,7	11,9	11,7	12,6	11,5	17,6	13,3	20	
Каросерия	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Пътническа, товарна	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа	Пътническа
- Брой врати	4+1	4+1	4+1	4+1	3+1	4+1	4+1	4+1	4+1	4+1
Гуми	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Предни	205/55R16	205/60R16	195/65R15	165/65R15	155/60R20	205/55R16	205/55R16	185/65R15	245/45R19	195/65R15
- Задни	205/55R16	205/60R16	195/65R15	165/65R15	175/55R20	205/55R16	205/55R16	185/65R15	245/45R19	195/65R15

2. Особености на скоростно-теглително изчисление на автомобил с електрическо задвижване.

. 2.1. Състояние на проблема – анализ.

Идеята за използване на електрическо задвижване в транспортните средства не е нова. Както бе разгледано в Глава I от дипломната работа, производството на електрически автомобили и такива, използващи ДВГ е започнало почти едновременно в края на XIX и началото на XX век. През последните 20-30 години на XX век, във връзка с възникналите енергийни кризи и екологични проблеми, създадени от автомобилния транспорт, се увеличава производството и използването на електрически автомобили основно за движение в градски условия. От началото на XXI век се забелязва значително нарастване на интереса към електрическите автомобили и тяхното перспективно използване.

Основна част от последните разработки, посветени на електрическите автомобили са свързани с проблеми на задвижването и източниците на електрическа енергия. В тях обикновено се представя сравнителен анализ на параметрите и характеристиките на различни типове тягови електродвигатели и видовете акумулаторни батерии. Напоследък за задвижване на електрическите транспортни средства се прилагат специално произведени за тази цел електродвигатели.

Поради особеностите в задвижването на електрическите автомобили не е установена единна методика за извършване на скоростно-теглително изчисление на автомобил с електрическо задвижване. Целта на разработката е, като се отчитат особеностите на електрическото задвижване, да се определят показателите на скоростно-теглителните свойства при проектно изчисление на електрически автомобил. За реализиране на целта, следва последователно да бъдат изпълнение следните задачи:

- 1- Предварително проучване на подобни конструкции автомобили и избиране на параметри, необходими за провеждане на скоростно-теглително изчисление;
- 2- Определяне на необходимата мощност за движение на автомобила, обосновка и избиране на тягом електродвигател;
- 3- Определяне на предавателно число на механичния редуктор за задвижване на задвижващите колела;
- 4- Построяване на теглително-скоростната, динамичната и характеристиката на ускоряването на автомобила;
- 5- Определяне на времето и пътя за ускорение.

2.2. Същност на провеждане на скоростно-теглително изчисление.

За обект на пресмятане е избран лек автомобил, изходните параметри на който са представени в таблица 3.

Таблица 3. Изходни данни за проектирания автомобил.

№ по ред	Наименование на изходните параметри	Означение
1.	Тип на автомобила	лек
2.	Брой на превозваните пътници	4+1
3.	Колесна формула	4x2
4.	Тип на задвижване	електрическо
5.	Максимална скорост на движение $V_{max}, km/h$	148
6.	Максимален преодоляван наклон на пътя $i_{max}, \%$	32

На базата на проведено предварително проучване на съществуващи конструкции автомобили с електрическо задвижване е избран прототип на проектирания. Техническите параметри на прототипа са посочени в таблица 4. Някои от стойностите на параметрите на прототипа са близки до зададените в техническото задание за проектиране на електрически автомобил.

Таблица 4. Технически данни за прототипния автомобил.

№ по ред	Наименование на основни параметри	Означение
1.	Марка и модел на автомобила	Hyundai IONIQ Electric
2.	Брой на превозваните пътници	4+1
3.	Максимална скорост на движение $V_{max}, km/h$	165
4.	Време за ускоряване до скорост $V = 100 km/h$	10,2 s
5.	Мощност на тяговия електродвигател P_e, kW	88
6.	Максимална честота на въртене на вала n_e, min^{-1}	9000
7.	Максимален въртящ момент на тяговия електродвигател $M_{e max}, Nm$	295
8.	Капацитет на тяговата акумулаторна батерия $Q_{аб}, kWh$	28
9.	Мощност на тяговата акумулаторна батерия $P_{аб}, kW$	98
10.	Трансмисия	безстепенна, редукторна
11.	Тип окачване предно/задно	независимо/независимо
12.	Типоразмер на пневматичните гуми	205/55 R 16 T
13.	Спирачна уредба	хидравлична

В таблица 5 са посочени избираемите параметри, необходими за провеждане на изчисленията.

Таблица 5. Избираеми параметри, необходими за провеждане на изчисленията.

№ по ред	Наименование на параметъра	Стойност
1.	Базов коефициент на съпротивление при търкаляне f_0	0.010
2.	Коефициент на обтекаемост $K_w, (N \cdot s^2)/m^4$	0.24
3.	Коефициент на запас по мощност P_0	1.2
4.	КПД на механичния редуктор η_T	0.97
5.	Маса на тяговата акумулаторна батерия m_0, kg	250
6.	Напрежение на тяговата акумулаторна батерия $U_{аб}, V$	360
7.	Капацитет на тяговата акумулаторна батерия $Q_{аб}, kWh$	28
8.	Маса на един пътник kg	70
9.	Маса на водача $m_в, kg$	70
10.	Маса на багажа, принадлежаща на един пътник и водача kg	10

За провеждане на изчислителната процедура предварително са избирани параметри, стойностите на които са в съответствие с тенденциите за изчисление, отнасящи се за съвременни автомобилни транспортни средства.

2.2.1. Определяне на масовите и геометрични параметри на автомобила.

При определяне на собствената маса на електрическия автомобил са взети предвид препоръките на правило № 101 от Европейската икономическа комисия към организацията на обединените нации (ИКЕ - ООН). В съответствие с тези препоръки от зависимостта:

$$(1) \quad m_c = m_k + m_6$$

където m_k е конструктивната маса на автомобила, в случая $m_k = 1170 kg$; $m_6 = 250 kg$ – маса на служебната и тягова акумулаторна батерия и зарядно устройство.

Пълната маса е:

$$m = m_c + m_B + m_T = 1420 + 70 + [(4.70) + 10(4 + 1)] = 1820 kg$$

Разпределението на пълната маса е както следва:

- преден мост $m_1 = 873,6 kg$;
- заден мост $m_2 = 946,4 kg$.

На базата на най-натовареният мост на автомобила от каталог на фирма „DAYTON“ са избрани пневматични гуми от типоразмер 205/55 R 16 T. Основните параметри на гумите са: нормално натоварване $G_K = 615 kg$, вътрешно налягане $P_B = 0,22 MPa$, максимална скорост $V_{ПГ} = 190 km/h$, статичен радиус $r_{СТ} = 0,291 m$.

Геометричните размери на проектирания автомобил са приети както на прототипа, т.е. дължина $L_a = 4,47 m$, широчина $B_a = 1,82 m$ и височина $H_a = 1,45 m$.

2.2.2. Определяне на мощността за движение на автомобила.

Необходимата мощност за движение на автомобила с максимална скорост върху хоризонтален път с асфалтбетонно покритие се определя от формулата:

$$(2) \quad P_{k,v} = P_{f,v} + P_{w,v} = f_v G V_{max} + k_w F_H V_{max}^3$$

където $G = mg = 17,854 \text{ kN}$ е пълното тегло на електрическия автомобил, $f_v = f_0(1 + 4,41V_{max}^1) = 0,010(1 + 4,41 \cdot 41,2^2) = 0,0175$ – коефициент на съпротивление при търкаляне и $F_H = 0,78B_a H_a = 2,06 \text{ m}^2$ – челна площ (Миделово сечение) на автомобила.

След заместване на числените стойности на отделните величини в израз (2) за мощността се получава $P_{k,v} = 47,41 \text{ kW}$.

Най-малката допустима мощност на двигателя за движение на автомобила с максимално зададена скорост се определя от изказа:

$$P_{e,v}^* = \frac{P_{k,v}}{\eta_T k_\rho} = \frac{47,41}{(0,97 \cdot 0,955)} = 51,17 \text{ kW}$$

където $k_\rho = 0,955$ е корекционният коефициент, отчитащ условията на работа на тяговия електродвигател върху автомобила за разлика от работата му по стендова характеристика.

Тяговият електродвигател на проектирания електрически автомобил при ъглова скорост на вала $\omega_{e,v}$ трябва да развива мощност $P_{e,v} \geq P_{e,v}^*$, т.е. с отчитане на коефициента на запас $P_{e,v} = p_v P_{e,v}^* = 1,25 \cdot 51,17 = 61,4 \text{ kW}$.

2.2.3. Избиране на тягов електродвигател.

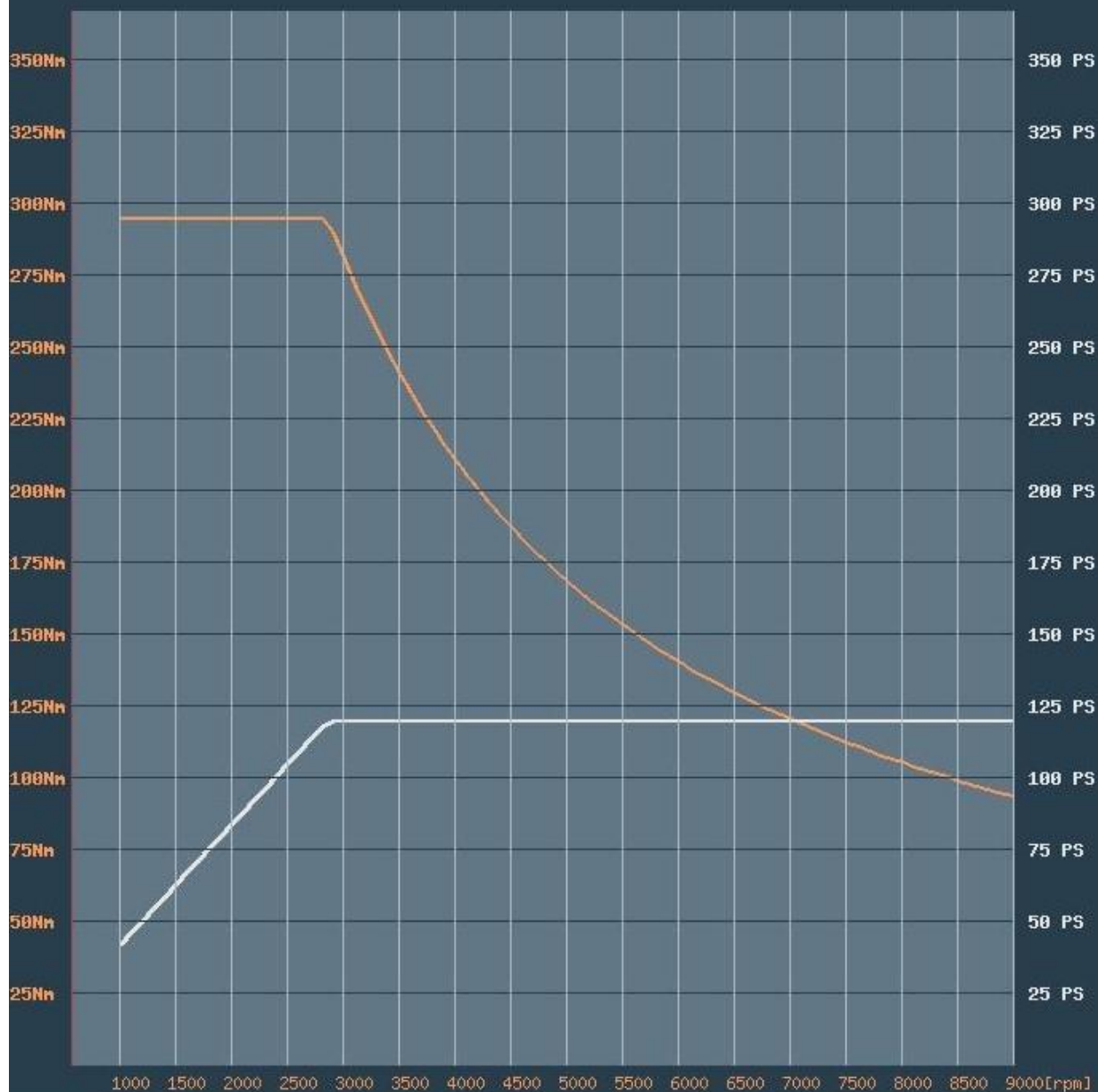
Като се отчитат изискванията за висока икономичност, подходяща теглителна характеристика в широк диапазон на изменение на честотата на въртене на вала, възможност за преодоляване на временни претоварвания, просто и евтино обслужване, за задвижване на проектирания автомобил е избран променливотоков синхронен електродвигател. Заводската стендова характеристика на избрания електродвигател е показана на фиг. 20.

Horsepower and Torque Curve www.automobile-catalog.com
ProfessCars(TM) approximation

2018 Hyundai Ioniq Elektro

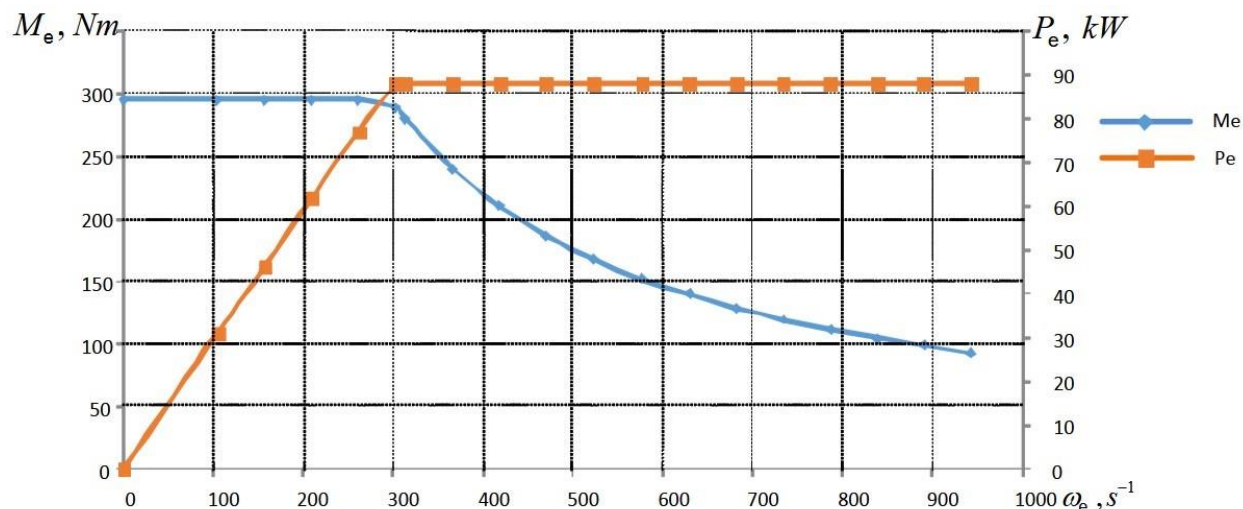
electric power - BEV Electric Vehicle 0 cm³ / cui

88 kW / 120 PS / 118 hp (ECE) / 3000 - 10000 295 Nm / 218 ft-lb / 0 - 2800



Фиг. 20 Заводска механична характеристика на избрания тягов електрически двигател

На фиг. 21 е представена работната характеристика на електродвигателя, построена в зависимост от изменението на ъгловата скорост на въртене ω_e на вала на ротора.



Фиг. 21 Работна механична характеристика на тяговия електрически двигател

2.2.4. Определяне на предавателното число на механичния редуктор.

Предаването на въртящият момент от тяговия електродвигател към задвижващите колела на автомобила е прието да се осъществява посредством механичен редуктор с постоянно предавателно число. Стойността на предавателното число се определя от две условия. Първото условие е автомобилът при ъглова скорост на въртене на вала на електродвигателя $\omega_e = \omega_{e,v} = 942 s^{-1}$ да достигне предписаната максимална скорост на движение върху хоризонтален път, т.е.

$$(3) \quad u_{e,v} = \frac{\omega_{e,v} r_T}{V_{max}}$$

където $r_T \approx r_{CT} = 0,291 m$ е радиусът на търкаляне на ходовите колела.

Второто условие е за преодоляване на зададеното максимално пътно съпротивление. За целта трябва да бъде изпълнено неравенството:

$$(4) \quad u_{p,\psi} \geq \frac{(\psi_{1,max} Gr_d)}{(M_{e,max} \eta_T)}$$

където $\psi_{1,max} = i_{max} + f_\psi = 0,32 + 0,02 = 0,34$; $M_{e,max} = 295 Nm$ – максималният въртящ момент на електродвигателя при ъглова скорост на вала $\omega_{e,M} = 200 s^{-1}$.

Следователно, задачата се свежда до избор на оптимално предавателно число на редуктора между граничните стойности $u_{p,opt} = u_{p,v} \div u_{p,\psi}$.

Като се избере предавателно число на редуктора, близо до $u_{p,v}$, електрическият автомобил ще развива зададената максимална скорост V_{max} , но може да загуби динамиката на ускоряването. От друга страна, ако се избере предавателно число със стойност $u_{p,\psi}$, автомобилът ще преодолява зададения максимален наклон на пътя, но ще трябва да се коригира максималната му скорост на движение.

След изравняване на задвижващата сила F_k при движение на автомобила с максимална скорост V_{max} , скоростта V чрез ъгловата скорост на въртене на вала ω_e и съответните преобразувания, се получава кубично уравнение от вида:

$$(5) \quad M_e \eta_T u_p^3 - f G u_p^2 r_T - k_w F_H \omega_e^2 r_T^3 = 0$$

Решаването на уравнението е извършено чрез прилагане формулата на Кардано. За предавателно число на редуктора е получено стойност $u_{p,опт} = 6,857$, с която е извършено скоростно-теглителното изчисление на електрическия автомобил.

2.3. Резултати от скоростно-теглителното изчисление.

Проектното скоростно-теглително изчисление е извършено за движение на автомобила върху хоризонтален път. Пресмятанията са проведени на компютър с използване на програмен продукт Excel. Резултатите от изчисленията са показани във вид на графични зависимости.

Силовият баланс, необходим за построяване на скоростно-теглителната характеристика се изразява с уравнението:

$$(6) \quad F_k = F_f + F_w$$

където $F_k = \frac{(M_e u_T \eta_T)}{r_d}$ е задвижващата сила, F_f – съпротивителната сила от търкаляне, F_w – сила от въздушното съпротивление.

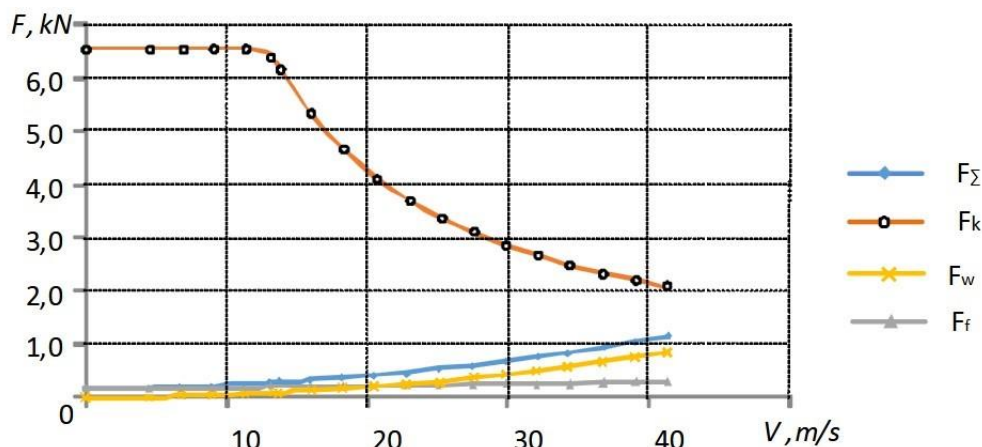
Сумарната съпротивителна сила при движение на автомобила е:

$$(7) \quad F_{\Sigma} = F_f + F_w = f G + k_w F_H V^2$$

За изчисляване на текущите стойности на скоростта на движение се използва изразът:

$$(8) \quad V = \frac{(\omega_e r_d)}{u_T}, m/s.$$

На фиг. 22 е показан видът на получената скоростно-теглителна характеристика на проектирания електрически автомобил.

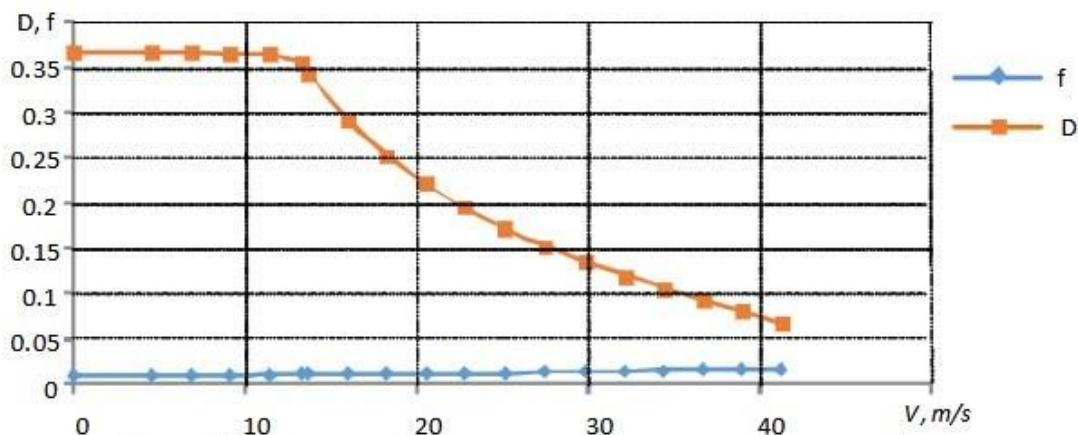


Фиг. 22 Скоростно-теглителна характеристика на лек автомобил с електрически задвижване

Динамичната характеристика на автомобила изразява изменението на динамичния фактор от скоростта на движение. Безразмерна величина динамичен фактор се определя от формулата:

$$(9) \quad D = \frac{(F_k - F_w)}{G}$$

Графиката на динамичната характеристика е представена на фиг. 23.



Фиг. 23 Динамична характеристика

Ускоряемостта на автомобила характеризира способността му бързо да увеличава скоростта си на движение. Оценъчни показатели за ускоряемостта са ускорението, времето и изминатият път за ускоряване до зададена скорост. При определяне на показателите се приема, че автомобилът се движи праволинейно върху хоризонтален път с асфалтбетонно покритие без буксуване на задвижващите колела.

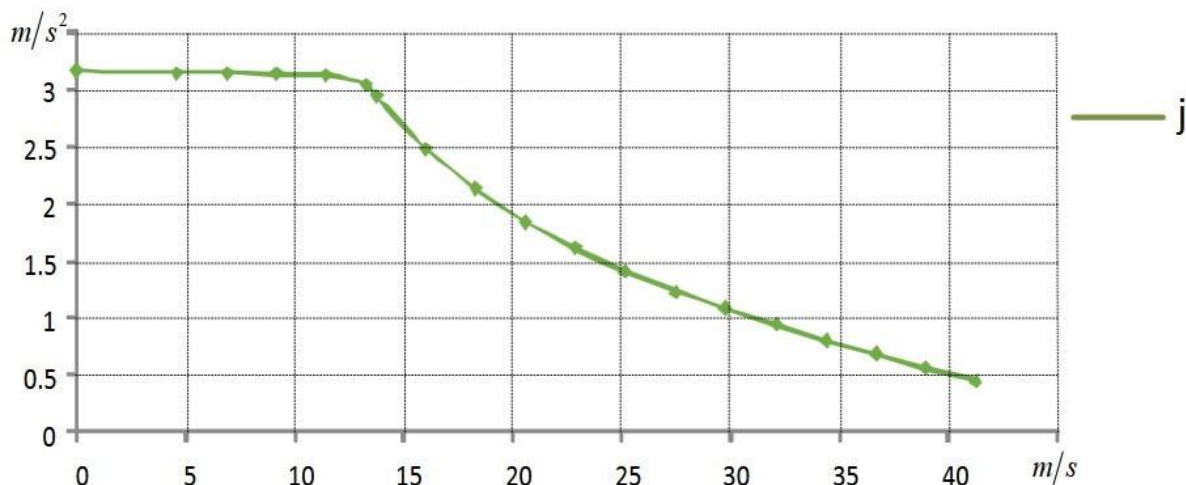
Ускорението за различни стойности на скоростта на движение се изчислява от израза:

$$(10) \quad j = (D - f) \frac{g}{\delta_{\text{BM}}}$$

където $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ е земното ускорение; δ_{BM} – коефициентът, характеризиращ влиянието на въртящите се маси върху автомобила.

При определянето на коефициента, характеризиращ влиянието на въртящите се маси се отчита обстоятелството, че редукторът в трансмисията на електрическият автомобил е с постоянно предавателно число. Тогава $\delta_{\text{BM}} = 1 + \sigma_1 + \sigma_2$, където $\sigma_1 = 0,025$ и $\sigma_2 = 0,035$. Получава се $\delta_{\text{BM}} = 1,06$.

На фиг. 24 е показана графиката на ускорението на електрическият автомобил.



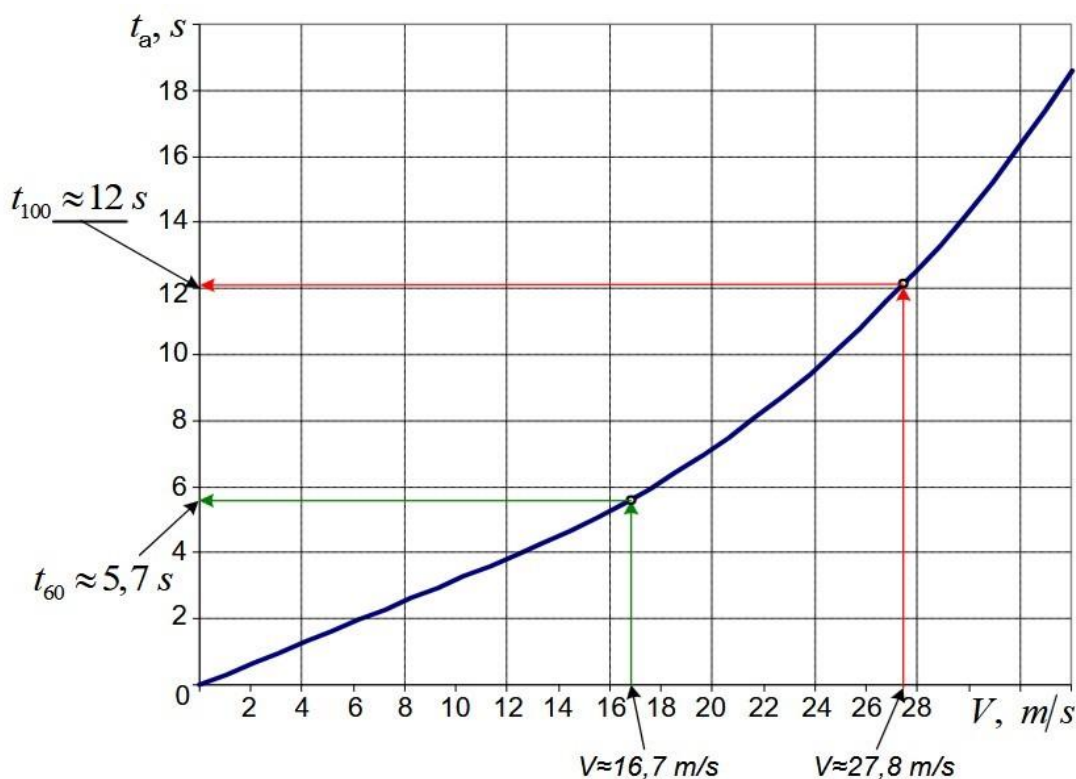
Фиг. 24 Графика на ускорението на автомобила

Времето за ускоряване на автомобила до зададената скорост на движение се определя чрез решаването на интеграла:

$$(11) \quad t = \frac{1}{j} \int_{v_1}^{v_2} dv, s$$

За решаването на интеграла (11) е приложен числен метод, като е използвана графиката на ускорението на автомобила от фиг. 24.

Графиката на времето за ускорение е представена на фиг. 15. Върху графиката са показани времената за ускорение на автомобила с електрическо задвижване до скорости $V = 100 \text{ km/h}$ ($V \approx 27,8 \text{ m/s}$) и $V = 60 \text{ km/h}$ ($V \approx 16,7 \text{ m/s}$).



Фиг. 25 Графика на времето за ускоряване на автомобила

В таблица 6 за сравнение са представени стойностите на основни параметри и показатели на скоростно-теглителните свойства на проектирания автомобил с електрическо задвижване и избрания прототип. От приведените данни в таблицата е видно, че при почти еднакви масови параметри и еднаква специфична мощност (енергозапасеност) на проектирания електрически автомобил и прототипа е получена разлика във времената за ускоряване. Времето за ускоряване до скорост $V = 100 \text{ km/h}$ на проектирания автомобил е приблизително с 2 s по-голямо от времето на прототипа. Вероятно разликата във времената се дължи на точността на аналитичните пресмятания или измерването на времето при експерименталното изпитване на прототипа.

Таблица 6. Сравнение на основните параметри и показатели на проектирания автомобил и прототипа.

№ по ред	Наимановане на параметрите и показателите	Проектиран автомобил	Прототип – марка и модел Hyundai IONIQ Electric
1.	Пълна маса m, kg	1820	1880
2.	Типоразмер на пневматичните гуми	205/55 R 16 T	205/55 R 16 T
3.	Параметри на тяговия електродвигател; тип - максимална мощност $P_{e,max}, kW$; - номинален въртящ момент при състояние „покой“ $M_{e,H}, Nm$; - максимална честота на въртене n_e, min^{-1}	променливотоков, синхронен 88 295 9000	променливотоков, синхронен 88 295 9000
4.	Специфична мощност (енергозапасеност) $E, kW/kg$	0,048	0,046
5.	Тягова акумулаторна батерия: - капацитет Q_{AB}, kWh ; - мощност P_{AB}, kW	28 98	28 98
6.	Трансмисия	безстепенна, редукторна	безстепенна, редукторна
7.	Максимална скорост на движение $V_{max}, km/h$	148	165
8.	Време за ускоряване до скорост $V = 100 km/h$	12 s	10,2 s

Предложеният метод за аналитично определяне показателите на скоростно-теглителните свойства на автомобил с електрическо задвижване на етап проектиране е приложим и за практиката проектиране на нови конструкции електрически автомобили или конвертиране на автомобили, задвижвани от ДВГ в електрическо.

Изводи от Глава III:

1. За постигане на високи енергийни показатели, в електрическите автомобили се използват различни видове електрически двигатели.

2. Като най-ефективни са синхронните променливотокови електрически двигатели, с възбуждане от постоянни магнити, но недостатъците им налага използване на такива с възбуждане от допълнителни намотки.

3. От графиката на СТХ на електрически автомобил е видно широкия скоростен деапазон с постоянна мощност, което е основното предимство на автомобилите с електрическо задвижване.

4. Подбирането на подходящо предавателно число за механичния редуктор е от съществено значение, за да се запази динамиката на движение при зададени параметри, без да се налага да се правят корекции на стойности на максимална скорост и наклон на пътя.

3. Основни изводи.

1. Транспортът е основен икономически отрасъл, основа на всяка национална система;

2. С откриване на електричеството започват и първите опити за създаване на екологично чист, високо ефективен и опростен по конструкция електрически транспорт за превоз на товари и пътници;

3. Взаимстването на технически решения от електрически автомобили към разработването на локомотиви е забавило в значителна степен използването им в началото на XIX век, но днес това се е променило, тъй като големите петролни и екологични кризи се задълбочават, а с това се търсят и ефективни решения за тяхното преодоляване;

4. Електрическите автомобили основно са се използвали в градски условия, но днес се изграждат зарядни станции и по основните магистрали, т.е. използването им вече излиза извън територията на градовете;

5. Съвременните технологии са в основата за преодоляване на съществените недостатъци на електрическите автомобили, като днес с един цикъл заряд/разряд могат да бъдат изминати до около 500 км. пробег;

6. Видно от представената функция на периферна сила и скорост на движение на електрически автомобил, ползите от използването на електрически автомобили са големи. Високата енергийна ефективност, съчетана с опростена конструкция намаляват експлоатационните разходи, като част от наложените данъчни ставки не важат за електрическите автомобили.

4. Предимства на автомобили с електрическо задвижване пред такива с ДВГ.

При разглеждането на устойчивост на праволинейно движение в Глава II бе установено, че наличието на неустойчива зона в скоростно-теглителната характеристика на автомобил с ДВГ е приемлив но нежелан недостатък. Избягването на това явление и постигането на устойчиво движение в целия скоростен диапазон се свежда до получаване на характеристика, която е монотонно намаляваща с нарастване на скоростта, при автомобили с електрическо задвижване.

Условията за осигуряване на този вид характеристика се свеждат до осигуряване на постоянна мощност във функция от скоростта.

Подобно изискване притежават променливотокови/постояннотокови асинхронни и синхронни електрически машини, недостатъците на които в генераторните им режими могат да бъдат пренебрегвани или да се търси компромисен вариант.

Предимствата на електрическите автомобили пред тези, които използват двигатели с вътрешно горене, могат да се обобщят в следното:

1 – монотонно намаляваща функция при увеличаване на скоростта на движение;

2 – широк скоростен диапазон при запазване стойността на мощността;

3 – избор на електрически двигател от конструктивни изисквания на електрическият автомобил. Основен критерий е пълен обхват и възможно най-висок КПД в желан скоростен диапазон за движение;

4 – поради големите си предимства производителите на електрически автомобили се насочват основно към синхронни електрически двигатели с възбуждане от постоянни магнити;

5 – различното разположение на постоянните магнити в ротора променят зоната с КПД над 85 % както по форма и размер, така и по разположение спрямо честотата на въртене на електрическият двигател;

6 – при различните разположения на магнитите ясно е изразено преобладаване на зоната на КПД над 85 % под областта с максимален въртящ момент, а при други зоната с КПД над 85 % се разширява и обхваща значително областта с максимална мощност на електрическият двигател. В някои от случаите зоната с КПД над 85 % обхваща почти целия скоростен диапазон на електрическият двигател.

7 – към момента електрическите двигатели с възбуждане от постоянни магнити представляват основен интерес, но не бива да се пренебрегват и качествата на асинхронните и реактивни двигатели, в случаите където е необходима голяма мощност.

5. Заключение.

Търсенето на решение на енергийната криза от миналия век и замърсяването на въздуха от автомобилния транспорт се е превърнал в основен приоритет на автомобилните производители и поднови интересът към производство на електрически автомобили.

През последното десетилетие се наблюдава функционална промяна в начина, по който правителствата на държавите, подписали Рамковата конвенция на ООН по изменение на климата, обръщат внимание на въпросите, свързващи енергетиката и околната среда. В следствие на взетите мерки автомобилната индустрия претърпява драстични промени заради повишените изисквания към генерираните от транспорта парникови газове и намаляване на залежите на петрол.

Все повече производители на автомобили започват серийно производство на хибридни автомобили, които се явяват естествен преход към електрическите автомобили. Наред с това са отправени огромни предизвикателства към учените и индустрията – необходими са все по-ефективни акумулаторни батерии, които да осигуряват по-добра автономност от хибридните автомобили и електрическите автомобили, както и по-ефективни електрически двигатели.

Използвана литература

1. Бербиренков И. А., Лохнин В. В., Тяговые двигатели на постоянных магнитах в электроприводе электромобиля. Известия Томского политехнического университета. 2011, т. 318, № 4. стр. 148-150.
2. Гурьянов Д. И., Пионтковская А. С., Петленко Б. А., Методика расчета передаточного числа трансмиссии электромобиля. Автотракторное электрооборудование. 2004, № 2. стр. 22-24.
3. Джагаров Ф. Н., Бонев Б. М., Электрически транспорт. ТУ Варна, 2011. стр. 2-9
4. Евтимов И., Иванов Р., Електромобили. Русе, 2011.
5. Йотков Е. Т., Лекции по Теория на БТР и автомобиля. НВУ „В. Левски“, В. Търново, 2004.
6. Косев К. П., Николова Н. Д., Електромобили. София, 1979, стр. 133.
7. Козлова Т. А., Разработка методики расчета и выбор рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля. Диссертация, Нижний Новгород, 2017.
8. Миневски И., Риск при транспортиране на опасни товари със сухоземен транспорт. НВУ „В. Левски“, В. Търново, 2018. стр. 5-20
9. Мигаль В. Д., Двадненко Я. В., Выбор электродвигателей для электромобилей и гибридных автомобилей. Вестник ХНАДУ, вып. 75, 2016, стр. 116-119.
10. Петков П. Ц., Ръководство за курсово и дипломно проектиране по автомобилна техника – първа част. ВТУ „Т. Каблешков“, София, 2011, стр. 137.
11. Подлубко С. Н., Белевич В. А., Адашкевич И. В., Ходовой макет электромобиля: этапы создания и первые результаты. Маханика машин, механизмов и материалов, 2017, № 4 (41), стр. 7-14.
12. Стоилковски Д., Петков Ц., Особенности на теглително-скоростното изчисление на автомобил с електрическо задвижване. ВТУ “Т. Каблешков“, ISSN 2367-6612, т.7, бр. 1, София, 2018.
13. Шабанов А. В., Ломакин В. В., Характеристики электромобилей и тенденции развития электропривода. Журнал автомобильных инженеров, № 3 (86), 2014, стр. 38-43.
14. Ютт В. Е., Строганов И. В., Электромобили и автомобили с комбинированой энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик. Москва, МАДИ, 2016, стр. 108.

References

1. CO_2 Emissions from fuel combustion, International energy agency, 2014.
2. Eshami M., Gao Y., Emadi A., Modern electric, Hybrid electric and fuel cell vehicles – fundamentals theory and design (Second editions). Taylor&Francis, 2010, 534p., ISBN 978-1-14200-5398-2.
3. Finker T., Hameyer K., Desing of electric motors for hybrid and electric-vehicle Applications.
4. Finker T., Hombitzer M., Hameyer K., Study and comparison of several Permanent-Magnet excited rotor types regarding their applicability in electric vehicle.
5. Larminie J., Lowry J., Electric vehicle technology Explained John Wiley&sons LTD, 2012, 314p. ISBN 978-1-119-94273-3.
6. Liu J., Peng H., Filipi Z., Modeling and analysis of the Toyota hybrid system. California, USA, 2005, IEEE 0-7803-9046-6/05/\$20.00

Неофициални източници

1. Заводска стендова механична характеристика на избран електродвигател за проектирания електрически автомобил - https://www.automobile-catalog.com/car/2018/2453840/hyundai_ioniq_elektro.html#gsc.tab=0
2. Изображения от Глава I – Internet съвместно с Google.