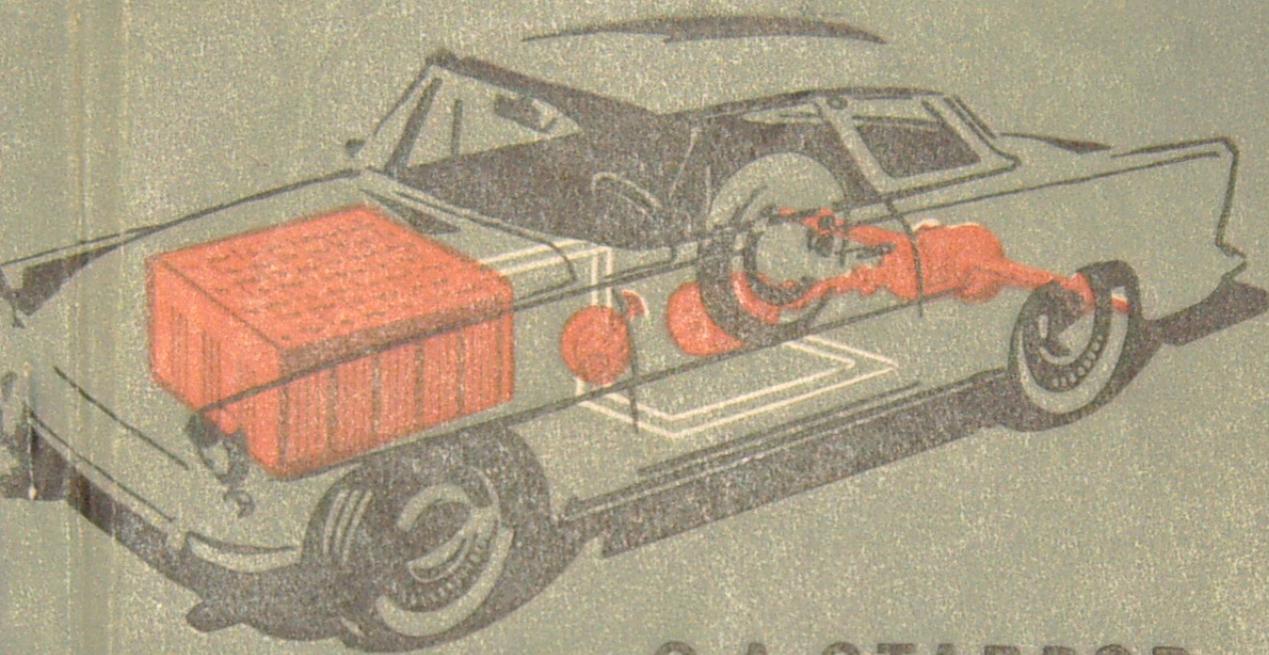


~~629.113~~
~~6-75~~



О. А. СТАВРОВ

Электромобили

445457 ~~#10~~

О. А. СТАВРОВ

628.13
075

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

ДНС4С7
84
H

Республиканская
библиотека
Удмуртской АССР
им. В. И. ЛЕНИНА
Ижевск, ул. Советская, 11



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТРАНСПОРТ»

Москва 1968

40

Электромобили. Ставров О. А. Изд-во «Транспорт», 1968 г., II—104.

В книге рассматриваются аккумуляторные электромобили и электромобили на топливных элементах, их преимущества и перспективность. Приводятся сведения о применении аккумуляторных электромобилей в нашей стране и за рубежом. Подробно рассматриваются технические параметры, конструкция и эксплуатационные свойства современных электромобилей. Дается оценка последних достижений науки и техники, способствующих дальнейшему развитию применения аккумуляторных электромобилей и электромобилей на топливных элементах. Анализируется целесообразность применения электромобилей. Книга рассчитана на инженерно-технических работников автомобильного транспорта. Рисунков 38, таблиц 23, библиографий 19.

ВВЕДЕНИЕ

Автомобили являются основными потребителями продуктов переработки нефти — бензинов и дизельного топлива. Мировой автомобильный парк быстро растет. Численность его на 1 января 1967 г. уже достигла почти 190 млн. единиц и продолжает возрастать на 10—12 млн. единиц в год. Соответственно с каждым годом увеличивается потребление топлива автомобилями.

Одним из основных недостатков современных автомобилей, снабженных преимущественно двигателями внутреннего сгорания и механической трансмиссией, является малый коэффициент полезного действия двигателя, составляющий 8—10% в нормальных эксплуатационных условиях и достигающий 28—30% при режимах полной нагрузки.

Автомобильные двигатели внутреннего сгорания практически уже в значительной мере исчерпали свои возможности по увеличению коэффициента полезного действия. Поэтому радикальное улучшение использования химической энергии топлив надо ожидать от автомобилей, снабженных другими видами преобразователей энергии.

Одним из таких перспективных типов автомобилей и являются электромобили.

Под термином «электромобиль» имеется в виду автомобиль, у которого для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока — аккумуляторной батареи или батареи топливных элементов. Принципиальная схема электромобиля, у которого источником энергии является аккумуляторная батарея, представлена на рис. 1.

Электрический привод на тяговые колеса возможен и при использовании других силовых установок (двигатели внутреннего сгорания, механические аккумуляторы — гироскопы, различные преобразователи солнечной

энергии в электрическую, магнитогидродинамические генераторы и т. д.). Такие автомобили иногда также называют электромобилями. Однако правильнее в этом случае является применение более общего термина «автомобиль» с последующим уточнением: «имеющий электрический привод и такой-то источник энергии».

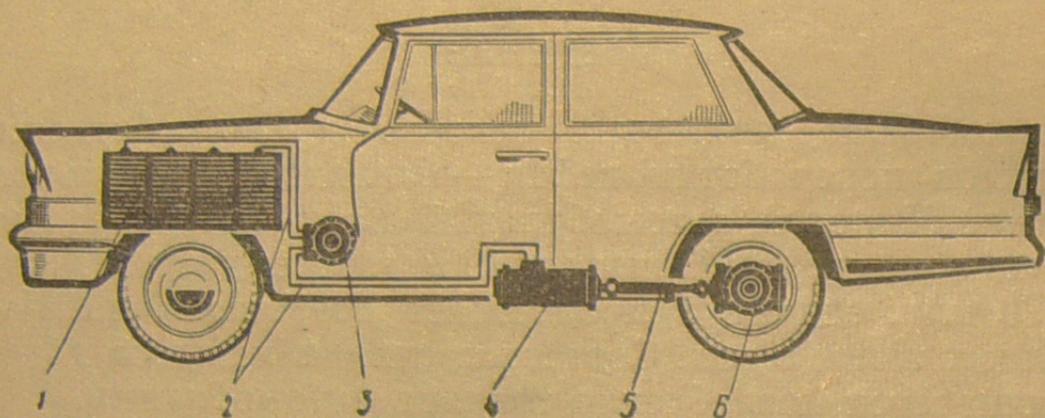


Рис. 1. Схема аккумуляторного электромобиля:

1 — аккумуляторная батарея; 2 — силовая электропроводка; 3 — система регулирования тягового электродвигателя; 4 — тяговый электродвигатель; 5 — карданный вал; 6 — главная передача

Замена двигателя внутреннего сгорания химическим источником тока позволяет коренным образом устранить основной недостаток современных автомобилей: загрязнение атмосферного воздуха отработавшими газами. С каждым годом, по мере увеличения интенсивности движения, этот недостаток современных автомобилей ощущается все сильнее.

Согласно данным доклада, представленного в сенат США, автомобильный транспорт этой страны в течение года (1962 г.) выделяет в атмосферу, т:

окись углерода	90,0 млн.
углеводороды	12,0 »
окислы азота	4,5—13,5 млн.
альдегиды	150,0 тыс.
соединения серы	150,0—300,0 тыс.
органические кислоты	60,0 тыс.
копоть	9,0 »

Для Москвы (в пределах кольцевой автомобильной дороги) результаты расчета выделения вредных веществ за сутки представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1 за 10 лет выделение вредных веществ автомобилями в Москве возросло примерно в

Таблица 1
Количество вредных веществ (т), выделенных автомобилями в Москве в течение суток

Наименование веществ	1954 г.	1964 г.
Окись углерода	258,0	861,0
Углеводороды	93,3	312,0
Окислы азота	2,3	7,5

3,5 раза, что объясняется ростом количества автомобилей и увеличением их суточного пробега.

В СССР, так же как и в других странах, ведутся работы по уменьшению загрязнения атмосферного воздуха автомобилями путем обеднения рабочей смеси, поступающей в двигатель при работе без нагрузки, введением контроля за техническим состоянием двигателя, применением устройства для дожигания окиси углерода в выпускном трубопроводе и др. Однако все эти меры могут лишь частично уменьшить загрязнение атмосферного воздуха и радикальными не являются. Поэтому зарубежные исследователи полагают, что электромобили в ближайшее время должны найти широкое применение. Согласно отдельным сообщениям применение автомобилей с двигателем внутреннего сгорания в городах США будет запрещено примерно через 25 лет. К этому времени предполагается, что численность мирового парка электромобилей достигнет 30 млн. единиц.

С каждым годом, по мере увеличения интенсивности движения автомобилей, все более острый характер приобретает и проблема устранения уличного шума.

Задача определения степени воздействия шума на организм человека является весьма сложной и разработана она далеко не полностью. В настоящее время главными показателями вредного действия шума считается его громкость и частота.

Зарубежные исследования показывают, что громкость шума, создаваемого автомобилями с двигателем внутреннего сгорания, значительно выше, чем громкость шума, создаваемая электромобилями. Приводимые в иностранной литературе данные по замеру шума автомобилей и электромобилей представлены на рис. 2. Если

сравнивать среднюю громкость шума в единицах громкости (единицы громкости показывают, во сколько раз на слух один звук громче другого), то, как видно из рис. 2, легковые автомобили создают шум примерно в 3 раза более громкий, чем электромобили, грузовые автомобили малой грузоподъемности — примерно в 3,5 раза, прочие грузовые автомобили и автобусы — в 5 раз. Объясняется это отсутствием у электромобиля

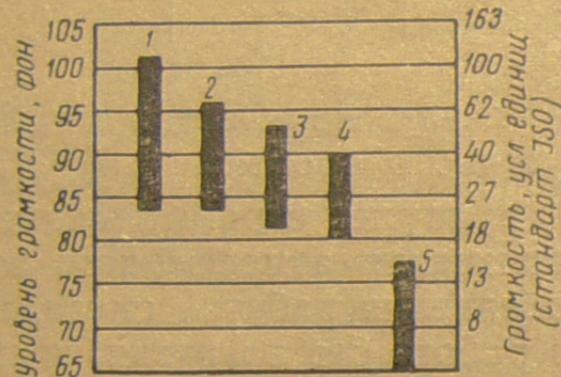


Рис. 2. Уровень громкости шума, возникающего при работе транспортных средств:

1 — мотоциклы; 2 — грузовые автомобили средней и большой грузоподъемности, автобусы; 3 — грузовые автомобили малой грузоподъемности; 4 — легковые автомобили; 5 — электромобили

двигателя внутреннего сгорания, который является наиболее шумным агрегатом в автомобиле.

Кроме гораздо меньшей громкости создаваемого шума, электромобили выгодно отличаются от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и по спектру создаваемого шума — начиная примерно с 300 гц величина звукового давления шума, создаваемого электромобилем, значительно меньше, чем аналогичные значе-

ния для однотипного автомобиля. Поэтому применение электромобилей может снизить вредное влияние уличного шума до минимума или вообще полностью его устранить. Таким образом, как по соображениям оздоровления атмосферного воздуха и уменьшения транспортного шума, так и по соображениям экономии нефтяного топлива вопрос развития применения электромобилей имеет большую актуальность.

По литературным данным известно, что в последнее время работами над электромобилями начинает заниматься все большее количество научно-исследовательских организаций и лабораторий крупнейших зарубежных фирм в ряде стран, в том числе широко ведутся такие работы в США, Англии, Франции, ФРГ.

В Советском Союзе также предусматривается развитие работ по созданию электромобилей.

В настоящее время электромобили применяются в Англии, Франции, ФРГ и других странах. Однако ши-

рокого применения они пока не получили, так как большой вес и объем современных тяговых аккумуляторов вынуждает ограничивать запас хода и максимальную скорость движения, что сужает области рационального использования электромобилей. Во всем мире насчитывается около 40—50 тыс. электромобилей, что в сравнении с общей численностью автомобильного парка составляет ничтожно малую величину порядка 0,02%. В Советском Союзе электромобили не применяются.

Задачей книги является ознакомление читателей с конструкцией и эксплуатационными свойствами современных электромобилей, а также с основными проблемами, решение которых сделает возможным и экономически оправданным широкое применение электромобилей.

Глава I

АККУМУЛЯТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ

Аккумуляторные электромобили существуют уже давно. Первые практически работоспособные электромобили были построены еще в конце XIX века, когда были усовершенствованы свинцовые аккумуляторные батареи. На первоначальном этапе электромобили являлись равноправными конкурентами с автомобилями, так как двигатели внутреннего сгорания того времени были очень несовершенны.

В первую очередь развитие электромобилей шло за счет вытеснения из города гужевого повозок. Этому способствовало то, что электромобиль обладал большей производительностью, чем гужевая повозка, меньшей стоимостью в эксплуатации, имел большую скорость, был более гигиеничен, занимал меньше места.

Вплоть до 20-х годов XX века аккумуляторные электромобили наиболее широко применялись в США, где их количество по некоторым данным доходило до 15—18 тыс. единиц. Однако относительная дешевизна нефтяного топлива и переход к массовому производству автомобилей привели к тому, что в США электромобили в настоящее время практически не применяются. Производство легковых электромобилей в Америке было прекращено в 1930 г. Производство грузовых электромобилей продолжалось по одним данным до 1933 г., по другим — до 1938 г. В результате, как было сообщено на ежегодной конференции американских энергетиков, в 1960 г. парк легковых электромобилей в США насчитывал всего лишь 50 единиц, а парк грузовых электромобилей — 150.

В течение 30—40 гг. электромобили наиболее широко применяли в Германии. Объясняется это тем, что

тогдашнее германское правительство, желая уменьшить зависимость отечественного транспорта от импортного нефтяного топлива, проводило политику всемерной поддержки развития применения электромобилей, которая в частности выражалась в льготном налоге на электромобили. Кроме того, значительная часть электромобилей в Германии использовалась государственным учреждением — почтой.

В табл. 2 приведены данные, характеризующие развитие применения электромобилей в довоенной Германии. Хотя в этой таблице данные по грузовым электромобилям до 1934 г. включают и паровые автомобили, однако ввиду того, что количество последних было очень незначительно (так, например, количество паровых автомобилей в 1936, 1937 и 1938 гг. составляло соответственно 16,5 и 13 машин), приводимые данные, несомненно, с достаточной точностью отражают картину развития применения электромобилей.

Как видно из данных табл. 2, наиболее широко электромобили применялись в Германии в период войны (1939—1945 гг.), когда их количество по отдельным литературным данным доходило до 20 тыс. единиц. В послевоенный период число электромобилей, находящихся в эксплуатации в ФРГ, уменьшилось.

В настоящее время электромобили наиболее широко применяются в Англии.

С 1947 г. в этой стране стали регистрироваться как уличный вид транспорта аккумуляторные тележки, типичная модель которых представлена на рис. 3. Сферой применения аккумуляторных тележек является развозка на дом хлеба и молока в густо населенных районах города или пригорода, где требуемый радиус действия намного меньше 20 км и ограничивается физическими возможностями водителя-развозчика при обслуживании покупателей. Поэтому запас хода аккумуляторных тележек небольшой — 12—19 км. Максимальная скорость движения — 5—6,5 км/ч. Грузоподъемность выпускаемых моделей колеблется от 610 до 1016 кг. В некоторых сообщениях количество парка электромобилей в Англии дается с учетом аккумуляторных тележек, с чем нельзя согласиться, поскольку это тележки, а не автомобили. Поэтому в дальнейшем они в данной книге не рассматриваются. Отдельные данные о количестве аккумуля-

Таблица 2

Применение электромобилей в довоенной Германии и ФРГ

Годы	Грузовые электромобили			Легковые электромобили	
	общее количество электромобилей, шт.	% к общему количеству грузовых автомобилей	в том числе эксплуатируемые почтой, шт.	общее количество электромобилей, шт.	% к общему количеству легковых автомобилей
1926	4036*	4,3	1423	1160**	0,6
1928	5296**	4,3	1810	681**	0,2
1929	5706**	4,0	1906	614**	0,1
1930	5964**	3,8	—	432**	0,1
1931	6137**	3,8	2175	232**	0,0
1932	5950**	3,9	2233	173**	0,0
1933	5673**	3,7	2214	132**	0,0
1934	5693**	3,4	2198	109**	0,0
1936	5874	2,4	2306	145**	0,0
1937	6341	2,0	2374	—	—
1938	6790***	1,9	2448	—	—
1939	900)	2,2	—	—	—
1944	20000	—	—	—	—
1948	2710****	1,0	—	9****	0,0
1949	3678*****	1,1	1076*****	11*****	0,0
1952	5535*****	1,1	1420*****	20*****	0,0
1953	5754*****	1,0	1510*****	18*****	0,0
1954	5882*****	1,0	—	23*****	0,0
1955	5518*****	1,0	—	11*****	0,0
1956	5500*****	1,0	—	12*****	0,0
1957	5496*****	0,9	—	11*****	0,0
1958	5219*****	0,9	—	8*****	0,0
1959	4575*****	0,8	—	0*****	0,0
1960	4469*****	0,7	—	0*****	0,0
1961	4154*****	0,6	—	0*****	0,0
1962	4127*****	0,5	—	0*****	0,0
1963	3955*****	0,5	—	0*****	0,0
1964	3668*****	0,4	—	0*****	0,0
1965	3449*****	0,4	—	0*****	0,0

* Включая электрокары.

** Включая паровые автомобили.

*** Не включая территории оккупированной Австрии.

**** Данные относятся к Английской и Американской оккупационным зонам послевоенной Германии.

***** Данные относятся к ФРГ.

торных тележек, зарегистрированных как уличные транспортные средства, приведены в табл. 3, где показано изменение по годам количества электромобилей, находящихся в эксплуатации в Англии. На рис. 4 эти же данные представлены графически.

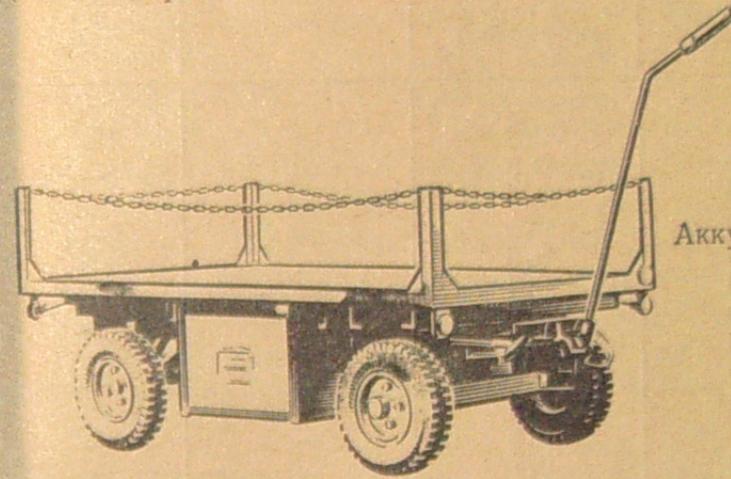


Рис. 3. Аккумуляторная тележка

Из приведенных данных видно, что количество электромобилей в Англии превысило 33 тыс. единиц и продолжает возрастать. Однако достигнутый размер парка уже является рекордным за всю историю развития применения электромобилей.

Основной причиной, способствующей столь успешному развитию применения электромобилей в Англии, является правильное их использование в довольно обширной области работ, где применение электромобилей имеет ряд преимуществ перед автомобилями с двигателями внутреннего сгорания. Этой областью работ является развозка продуктов питания (в основном молока и хлеба) на дом.

В последнее время количество легковых автомобилей, находящихся в личном пользовании, в Англии быстро увеличивается, но уступает США. В частности, в Англии в 1966 г. количество жителей на 1 легковой автомобиль составляло 5,9 чел., а в США — 2,6 чел. В этих

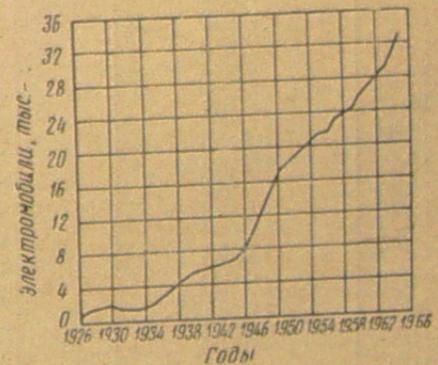


Рис. 4. Применение электромобилей в Англии

Таблица 3
Применение электромобилей в Англии

Годы	Грузовые электромобили		Легковые электромобили, шт.	Аккумуляторные тележки, шт.
	общее количество электромобилей, шт.	% к общему количеству грузовых автомобилей		
1926	700	0,3	—	—
1927	1400	0,5	—	—
1928	1500	0,5	—	—
1929	1700	0,5	—	—
1930	1775	0,5	—	—
1931	1400	0,4	—	—
1932	1400	0,4	—	—
1933	1350	0,3	—	—
1934	1600	0,4	—	—
1935	1900	0,4	—	—
1936	2600	0,6	—	—
1937	3400	0,7	—	—
1938	4397	0,9	3	—
1939	4900	1,0	—	—
1940	5600	1,2	—	—
1941	5800	1,3	—	—
1942	6000	1,3	—	—
1943	6200	1,4	—	—
1944	6600	1,4	—	—
1945	7000	1,4	—	—
1946	7900	1,3	18	—
1947	10602	1,5	—	3919
1948	13630	1,6	63	5367
1949	15552	1,8	—	6504
1950	16295	1,8	49	7222
1951	17144	1,8	—	7958
1952	17815	1,8	36	8594
1953	18529	1,9	29	9353
1954	19341	1,9	21	9974
1955	20173	1,8	21	10471
1956	21611	1,8	11	11000
1957	23179	1,9	16	—
1958	24050	1,9	10	12000
1959	24562	1,9	10	14000
1960	25972	1,9	11	—
1961	27000	1,9	0	—
1962	28000	1,9	0	—
1963	29000	1,9	0	—
1964	—	—	—	—
1965	33000	—	—	—

условиях в Англии создание крупных магазинов не дает такого эффекта, как это наблюдается в Америке. С другой стороны, в отличие от ФРГ, где жители городов живут в основном в многоэтажных домах, в Англии значительная часть городского населения живет в отдельных домах. Это приводит к тому, что небольшая плотность населения в жилых районах городов Англии делает невыгодным и строительство большого количества мелких магазинов. Все это способствовало большому развитию служб по доставке продуктов питания на дом.

Производительность транспортных средств, занятых на развозке продуктов на дом, ограничивается физическими возможностями водителя-развозчика или водителя-продавца при обслуживании покупателей. В этих условиях ограниченный запас хода электромобиля уже

Таблица 4
Сравнение стоимости эксплуатации автомобиля и электромобиля (в относительных единицах)

Статьи расхода	Автомобиль	Электромобиль
<i>I. Капитальные затраты</i>		
Стоимость автомобиля и электромобиля (без батареи)	1,0	0,8—1,2
То же, но стоимость электромобиля с батареей и зарядным устройством	1,0	1,5—2,0
Итого капитальные затраты	1,0	1,5—2,0
<i>II. Эксплуатационные расходы (на 1 км пробега)</i>		
Постоянные расходы		
Амортизация автомобиля и электромобиля (с батареей и зарядным устройством)	1,0	1,0—2,0
Налог, страхование, проценты на капитал	1,0	1,0
Переменные расходы		
Расходы на топливо или электроэнергию	1,0	0,3—0,5
Расходы на техническое обслуживание и ремонт	1,0	0,3—0,5
Расходы на шины	1,0	0,9—1,0
Итого эксплуатационные расходы	1,0	0,8—0,9

не является недостатком. В то же время другие свойства электромобиля, такие как ускорение, надежность, простота управления, чистота и т. д. способствуют повышению производительности труда развозчика продуктов.

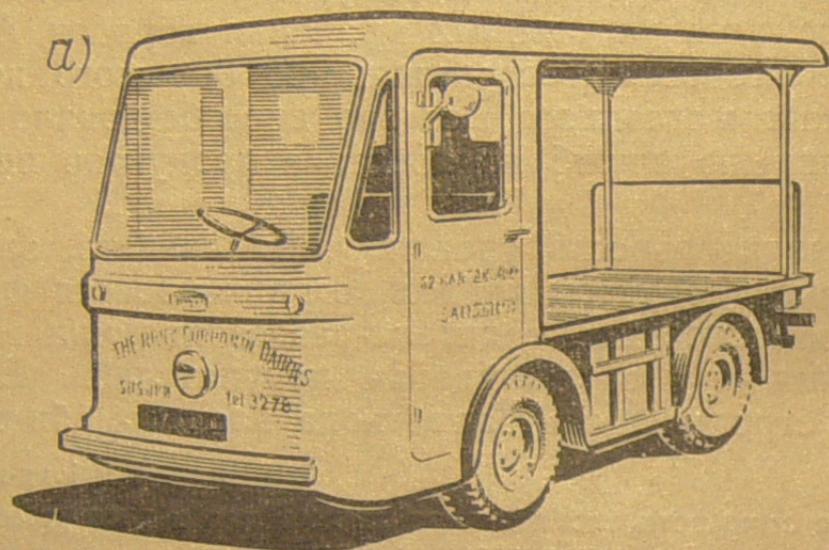


Рис. 5. Модели современных
а — фирмы Morrison, модель EH-20, грузоподъемность — 1270 кг; *б* — фирмы Ross Auto, модель Ross Intermediate,

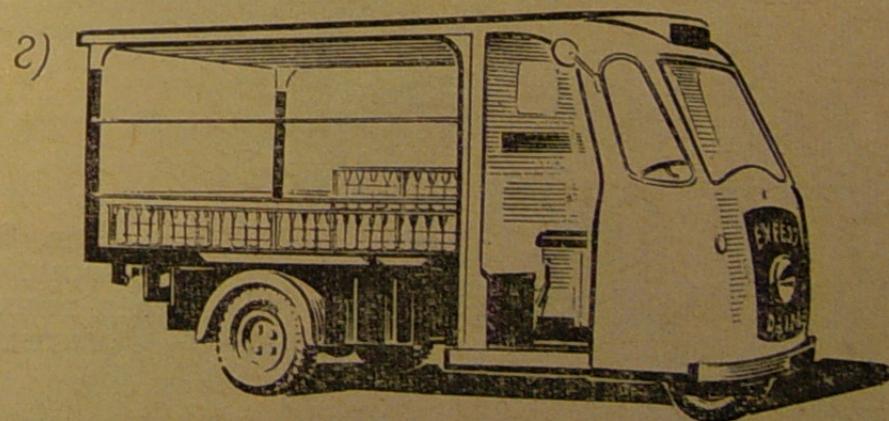
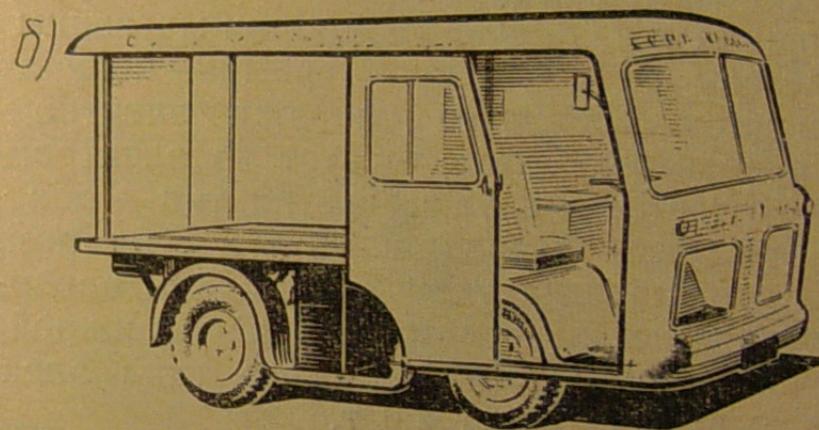
Важным фактором успешного развития применения электромобилей в Англии, является меньшая стоимость в эксплуатации по сравнению с карбюраторными.

Как видно из табл. 4 применение электромобилей позволяет значительно (примерно в 3 раза) уменьшить

расходы на ремонт и техническое обслуживание и расходы на топливо.

В результате стоимость эксплуатации электромобиля получается на 10—20% меньше стоимости эксплуатации однотипного автомобиля.

Начало применения электромобилей для развозки продуктов на дом в Англии относится к середине 30-х годов, когда фирма Morrison начала выпуск специально рассчитанных для этой цели электромобилей малой грузоподъемности. В настоящее время электромобили малой грузоподъемности (до 2,0 т включительно) состав-



английских электромобилей:

1016 кг; *б* — фирмы Smith, модель S 55, грузоподъемность — 1270 кг; *г* — фирмы W. and E., грузоподъемность — 1270 кг

ляют в Англии более 90% парка всех электромобилей. Причем, как показывают опубликованные в английской литературе данные обследования сфер применения электромобилей в этой стране, свыше 50% электромобилей используется для развозки на дом продуктов питания

(молока, хлеба, овощей и т. д.). На рис. 5 представлены типичные модели современных английских электромобилей, применяемых для развозки продуктов.

Кроме того, электромобили малой грузоподъемности применяются довольно широко для развозки на дом угля, белья из прачечных и т. п.

Примерно с 1936 г. в Англии началось развитие специальных типов электромобилей, представляющих собой передвижные лавки-магазины. Такие типы электромобилей в настоящее время широко применяются (по тем же причинам, что и развозочные электромобили) булочниками, мясниками, бакалейщиками, торговцами рыбой, овощами и т. д. Электромобили-магазины могут быть разделены на три типа. Первый — покупатель и продавец-водитель остаются снаружи электромобиля. Второй — продавец-водитель торгует из электромобиля, покупатель остается снаружи. Третий тип — оба (покупатель и продавец) находятся внутри электромобиля. На рис. 6 представлена типичная модель английского электромобиля, используемого как передвижной магазин. Обычно грузоподъемность этого типа электромобилей также не превышает 2,0 т.



Рис. 6.
Электромобиль —
передвижной
магазин

Применение электромобилей грузоподъемностью более 2,0 т в Англии очень ограничено. Такие электромобили применяются преимущественно в коммунальном хозяйстве для поливки и очистки улиц, вывозки мусора. Для последней цели применяют электромобили в виде

тягачей (рис. 7), работающие со стандартными прицепами и полуприцепами грузоподъемностью до 10—16 т.

В табл. 5 приведены основные технические характеристики большинства моделей электромобилей, выпущенных в Англии в 1964—1966 гг. Как видно из этой таблицы, большинство моделей английских электромобилей предусматривает применение на них аккумуляторных батарей различной емкости. Грузоподъемность и запас хода, значения которых также приведены в

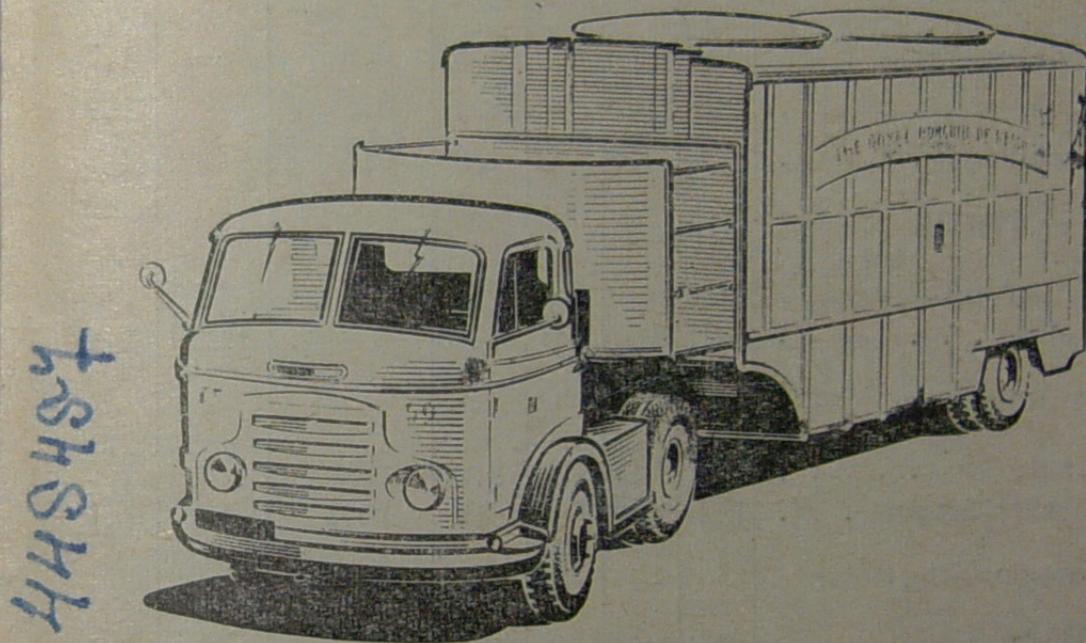


Рис. 7. Электромобиль — седельный тягач большой грузоподъемности

табл. 5, соответствуют основной, так называемой в английской литературе «стандартной» емкости аккумуляторной батареи. При применении аккумуляторной батареи другой емкости (так называемой «сменной» батареи) соответственно изменяется запас хода электромобиля. С учетом этого в английской технической литературе существует определенная классификация электромобилей, которая дана в табл. 6.

Запас хода электромобиля в значительной мере зависит от количества остановок на километр. В Англии значение среднего эксплуатационного запаса хода электромобиля определяется при 8 остановках на милю (1,609 км).

Как видно из табл. 5, все фирмы выпускают по не-

Таблица 5

Основные технические характеристики современных английских электромобилей

Фирма, модель	Грузоподъемность, кг	Полный вес, кг	Аккумуляторная батарея		Средний эксплуатационный запас хода, км	Часовая мощность тягового электродвигателя, кВт	
			стандартная				емкость кВт·ч
			вес, кг	емкость кВт·ч			
Brush							
Pony dairy truck ¹	914	1778	—	4,8	6,6	—	1,7
Pony van ¹	914	1778	—	4,8	6,6	—	1,7
Pony salvage ¹	813	1778	—	4,8	6,6	—	1,7
Harbilt							
750 driver truck	1270	—	710	19,0	—	56	—
551 dairy	1016	—	190	3,16	—	16/20	1,47
Ross auto							
Ross auto 25	1270	2198	304	8,2	6,7/4,5	32	1,9
Ross auto Major	1524	2198	—	16,9	19,4	64	4,1
Morrison—Electricar							
BM 46 dairy	711	2106	585	11,5	9,1	64	2,94
BM van	508	2121	600	11,3	14,4	46/56	2,94
BM oversize van	508	2134	600	11,3	14,4	46/56	2,94
SD van	1016	3222	840	15,5	17,5	50/65	4,6
MD 20 oversize van	1016	3315	840	15,5	17,5	50/65	4,6
SD 30	1524	3914	880	17,5	19,5	48/64	6,7
MD 30	1524	3982	880	17,5	19,5	48/64	6,7
EH/F 20 fibreglass	1016	2388	508	11,3	13,2	40/48	2,94
DS dairy fibreglass	1016	2407	625	14,4	17,0	45/56	2,94
E 15 Electruck	1270	2318	317	6,0	8,2	27/32	2,2
Smith's N. C. B.							
3/4 ton van	762	2540	533	13,2	16,3	48/56	4,4
3/4 ton dairy truck	762	2540	533	9,4	14,1	40/56	2,94
3/4 ton commuter van	762	2794	610	14,1	—	40/56	4,4
1-ton van	1016	3048	710	16,9	21,0	48/56	7,8
1-ton dairy truck	1016	3048	710	16,9	—	48/56	7,8

Продолжение

Фирма, модель	Грузоподъемность, кг	Полный вес, кг	Аккумуляторная батарея		Средний эксплуатационный запас хода, км	Часовая мощность тягового электродвигателя, кВт	
			стандартная				емкость кВт·ч
			вес, кг	емкость кВт·ч			
1 1/4 ton S 55	1270	2794	482	9,4	12,3	32/40	2,94
Transitruck S 55	1270	2794	482	9,4	12,3	37/45	2,94
1 1/2 ton dairy truck	1524	3810	735	18,4	21,0	40/56	9,2
1 1/2 ton commuter van	1524	3810	735	18,4	20,2/23,6	40/56	9,2
2-ton dairy truck	2032	4826	940	23,7	27,0	48/56	9,2
W. and E.							
Rangemaster dairy truck ¹	1270	2868	660	16,1	18,5/20,8	—	3,1
Rangemaster bakery van ¹	1270	3018	660	16,1	18,5/20,8	—	3,1
Lightweight dairy truck ¹	1270	2397	330	8,05	4,8/9,2	—	2,0
Standard dairy truck ¹	1270	2437	330	8,05	4,8/9,2	—	2,0
Landmaster bulk dairy truck ¹	2032	4471	—	23,1	20,7	—	4,4

¹ 3-х колесная модель.

Таблица 6

Классификация английских электромобилей

Тип электромобиля	Грузоподъемность, кг	Средний эксплуатационный запас хода, км	Максимальная скорость движения, км/ч
Трехколесные	910—1270	19—40	12—19
Четырехколесные, с уменьшенным запасом хода	1016—1270	16—29	12—16
Четырехколесные, с полным запасом хода	508—762	48—56	24—29
	1016—1270	48—64	25—32
	1524	48—64	24—29
	2032	48—56	24—29

скольку моделей. Однако многие из этих моделей отличаются друг от друга лишь кузовом различного назначения. На рис. 8, например, приведена классификация

электромобилей одной серии, выпускавшейся фирмой Metrovick по типу кузовов.

Легковые электромобили в Англии практически не применяются. Однако в последние годы ведутся большие работы по исследованию возможности создания легкового электромобиля, который мог бы найти доста-

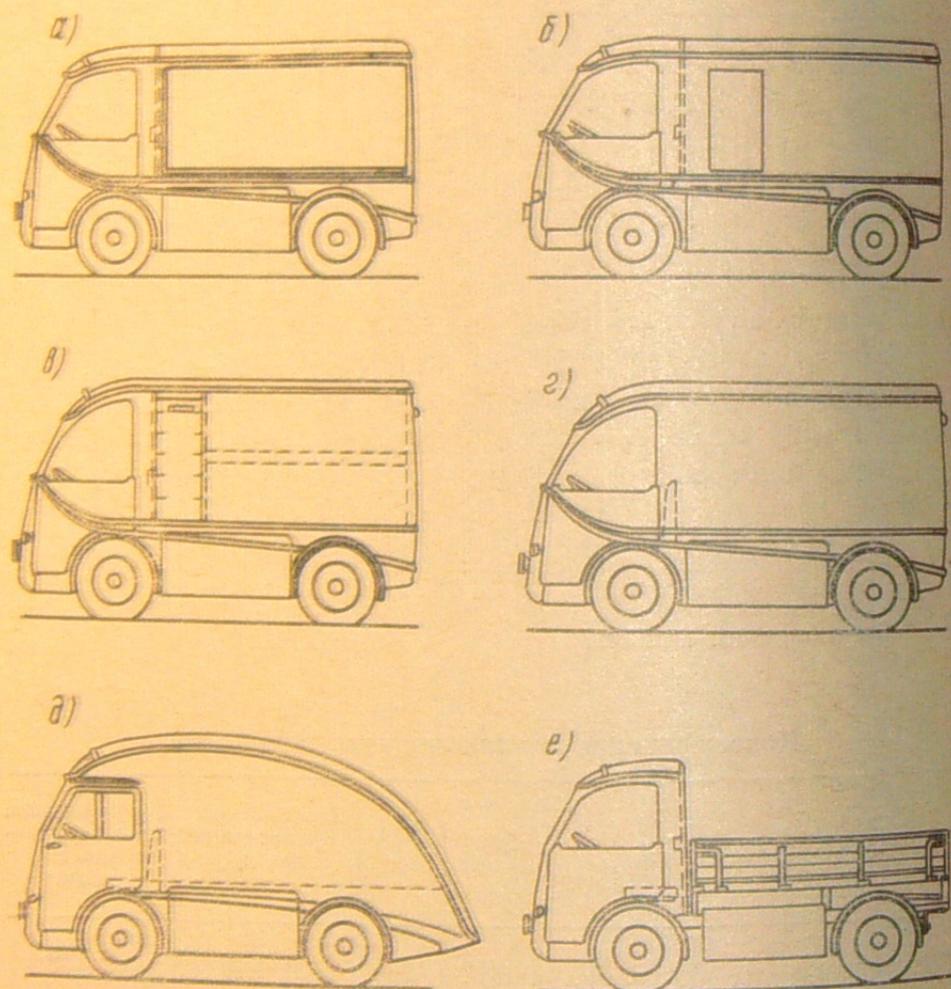


Рис. 8. Классификация электромобилей одной серии по типу кузовов:

а — открытый кузов для развозки молока (Open Dairy); б — полужакрытый кузов для развозки молока (Semi closed Dairy); в — фургон для развозки хлеба (Bakery Van); г — фургон общего назначения (General Purpose Van); д — фургон обтекаемой формы (Streamline Van); е — открытая платформа (Open Loggy).

точно широкое применение. Эти работы заслуживают большого внимания, так как в Англии ощущается настоятельная необходимость создания легкового двухместного «семейного» автомобиля, предназначенного

для деловых поездок в черте города: на работу, в магазин, театр и т. д. Для такого автомобиля не требуется большого запаса хода и поэтому, возможно, легковые электромобили в ближайшее время найдут определенное применение.

В Советском Союзе имели место лишь единичные случаи применения электромобилей, а в настоящее время они вообще не применяются. В 1945 г. в СССР поступило небольшое количество трофейных электромобилей из оккупированной Германии, которые несколько лет находились в эксплуатации. В 1949—1950 гг. в Москве использовались для перевозок почты четыре опытных образца электромобилей НАМИ грузоподъемностью 0,5 т (НАМИ-750) и 1,5 т (НАМИ-751). В 1952—1958 гг. в Ленинграде находились в эксплуатации десять опытных электромобилей ЛАЗ-НАМИ, изготовленных Львовским автобусным заводом. Эти электромобили использовались в основном для перевозки почтовых грузов.

Технические параметры электромобилей НАМИ были на уровне лучших зарубежных образцов того времени, а в отношении запаса хода и максимальной скорости движения они и в настоящее время практически очень незначительно уступают современным зарубежным электромобилям. Значения этих параметров для электромобилей ЛАЗ-НАМИ и современных автомобилей с карбюраторным двигателем внутреннего сгорания приведены в табл. 7.

Приведенные в табл. 7 данные показывают, что практически электромобили могут эффективно применяться пока еще только на таких перевозках, при которых не требуются высокие скорости движения и средний суточный пробег не превышает 50—60 км, т. е. на внутригородских перевозках, связанных с обслуживанием торговой сети, доставкой почтовых грузов, обслуживанием предприятий коммунального хозяйства и т. п.

Улучшить параметры электромобиля и тем самым расширить сферы эффективного их применения, можно двумя способами.

Первый, основной, могущий дать радикальное улучшение параметров электромобиля, заключается в том, чтобы уменьшить вес аккумуляторной батареи и одновременно увеличить запас энергии.

Таблица 7

Сравнение технических параметров электромобилей НАМИ с параметрами автомобилей

Параметры	Электромобили		Автомобили		
	НАМИ-750	НАМИ-751	Москвич-430	УАЗ-451	ГАЗ-56 (опытные образцы)
Грузоподъемность, кг	500	1500	250	800	1500
Вес в снаряженном состоянии, кг	1765	2640	1010	1580	1850
Коэффициент снаряженного веса	3,53	1,76	4,05	1,97	1,23
Вес тяговой аккумуляторной батареи, кг	685	1100	—	—	—
Вес двигателя, радиатора, аккумуляторной батареи и бака с топливом, кг	—	—	218,8	270,0	288,0
Запас хода, км:					
максимальный	55	70	514	510	650
среднеэксплуатационный	45—50	55—60	320	305	400
Скорость движения максимальная, км/ч	33	30	105	95	80

Второй способ — это улучшение использования энергии аккумуляторной батареи путем повышения к. п. д. тяговых электродвигателей, уменьшения потерь энергии в пусковых реостатах и уменьшения веса шасси, тягового электродвигателя и других агрегатов электромобиля.

Средний суточный пробег грузовых автомобилей различной грузоподъемности при эксплуатации в городе колеблется от 85 до 170 км (в зависимости от грузоподъемности), а городские автобусы и легковые такси имеют средний суточный пробег около 250 км. Простое сопоставление последних цифр со среднеэксплуатационным запасом хода современных электромобилей (см. табл. 5—7) наглядно показывает, что аккумуляторные электромобили получают широкое применение лишь в том случае, когда их запас хода будет увеличен как минимум в 3—4 раза.

Обеспечить столь значительное увеличение запаса

хода электромобиля не может ни применение легких конструкционных материалов, ни повышение к. п. д. тягового электродвигателя, ни применение безреостатных схем пуска и регулирования тягового электродвигателя. Достичь требуемых значений запаса хода и при этом обеспечить экономическую целесообразность применения электромобилей можно лишь за счет улучшения весовых и стоимостных (удельная стоимость, руб/квт·ч; срок службы, циклы) параметров аккумуляторных батарей.

СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

Конструкция и основные технические характеристики

Технико-экономические параметры электромобиля прежде всего зависят от характеристик применяемых аккумуляторных батарей. Поэтому необходимо, хотя бы кратко, рассмотреть конструкцию и основные параметры применяемых в настоящее время на электромобилях аккумуляторных батарей и батарей, которые могут найти применение в ближайшем будущем.

Свинцовые аккумуляторные батареи. Примерно до середины 50-х годов на электромобилях довольно широко применялись свинцовые аккумуляторные батареи с намазными пластинами. Этот тип батарей находил преимущественное применение на электромобилях в довоенной Германии и первоначально был применен на опытных электромобилях НАМИ в 1949 г. Свинцовые аккумуляторные батареи с намазными пластинами находят массовое применение в качестве стартерных батарей обычных автомобилей. Поэтому их конструкция достаточно хорошо известна. Основным недостатком аккумуляторных батарей с намазными пластинами является относительно небольшой срок службы (до 300 циклов), обусловливаемый разрушением и выпадением активной массы из положительных пластин.

Развитие свинцовых аккумуляторных батарей привело к тому, что в настоящее время для электромобилей применяются главным образом свинцовые панцирные аккумуляторные батареи, у которых положительные пластины состоят из ряда свинцовых стержней, окруженных трубчатыми панцирями, наполненными активной массой. Раньше панцири изготовляли из эбони-

та. В современных же батареях панцири изготавливают из синтетических материалов (винипласт, терилен и другие), которые имеют мелкопористую структуру. Это позволило по сравнению с эбонитовыми панцирями повысить как удельные характеристики, так и срок службы батарей. Так, удельный вес на 1 квт·ч для аккумуляторных батарей с эбонитовым панцирем равен 50—60 кг, с мелкопористым пластмассовым панцирем — 35—37 кг. Срок службы аккумуляторных батарей с синтетическими панцирями составляет по данным зарубежных фирм 1200—1400 циклов.

В табл. 8 приведены основные параметры, характеризующие свинцовые намазные аккумуляторные батареи, тип которых был применен на автомобилях НАМИ, а также современные свинцовые панцирные аккумуляторные батареи. Как видно из табл. 8, применение современных свинцовых панцирных аккумуляторных батарей позволяет увеличить запас хода автомобиля на 20—25% (при той же максимальной скорости движения). Хотя стоимость панцирных аккумуляторных батарей в полтора раза выше стоимости аккумуляторных батарей старого типа, однако это увеличение полностью компенсируется большим сроком службы.

Таблица 8

Свинцовые аккумуляторные батареи

Параметры	Намазные	Современные панцирные
Вес на 1 квт·ч (при 5-ти часовом режиме разряда), кг	40—45	35—37
Срок службы, циклы	100—300	1200—1400
Стоимость, в процентах по отношению к свинцовым намазным	100	140—160
Запас хода автомобиля (типа НАМИ), км:		
при скорости 30 км/ч	55—70	70—85
» » 50 »	—	45—55

Щелочные аккумуляторные батареи. В 1955 г. во время опытной эксплуатации автомобилей НАМИ в Ленинграде на них были установлены щелочные же-

лезно-никелевые ламельные аккумуляторные батареи, преимущество которых перед свинцовыми намазными заключалось в значительно большем сроке службы (ламельными эти аккумуляторы называются потому, что в них активная масса заключена в ламели — плоские стальные коробочки или трубки с перфорированными стенками).

Созданные сравнительно недавно новые типы щелочных аккумуляторных батарей имеют так называемые безламельные пластины, которые являются металло-керамическими и имеют мелкопористую структуру. Активная масса осаждается на разветвленной поверхности пластин внутри пор.

Безламельная конструкция позволила по сравнению с ламельной конструкцией примерно в 1,4—1,6 раза улучшить весовые параметры железо-никелевых аккумуляторных батарей. В табл. 9 приведены основные параметры, характеризующие щелочные железо-никелевые ламельные аккумуляторные батареи, типы которых были применены на автомобилях НАМИ, и современные железо-никелевые безламельные аккумуляторные батареи.

Таблица 9

Железо-никелевые аккумуляторные батареи

Параметры	Ламельные	Современные безламельные
Вес на 1 квт·ч (при пятичасовом режиме разряда), кг	45—50	32—36
Срок службы, циклы	1000—1500	1000—1500
Стоимость, в процентах по отношению к ламельным аккумуляторным батареям	100	400—600
Запас хода автомобиля (типа НАМИ), км:		
при скорости 30 км/ч	60—70	85—100
» » 50 »	—	70—90

По своим номинальным (при пятичасовом режиме разряда) удельным весовым характеристикам современные кислотные панцирные и щелочные безламельные железо-никелевые аккумуляторные батареи примерно одинаковы. Однако у щелочных безламельных батарей

емкость очень незначительно зависит от режима разряда. Поэтому запас хода электромобиля со щелочными безламельными батареями больше, чем в случае применения других аккумуляторных батарей с одинаковой номинальной емкостью. Особенно ощутимым становится это преимущество при увеличении максимальной скорости движения (рис. 9).

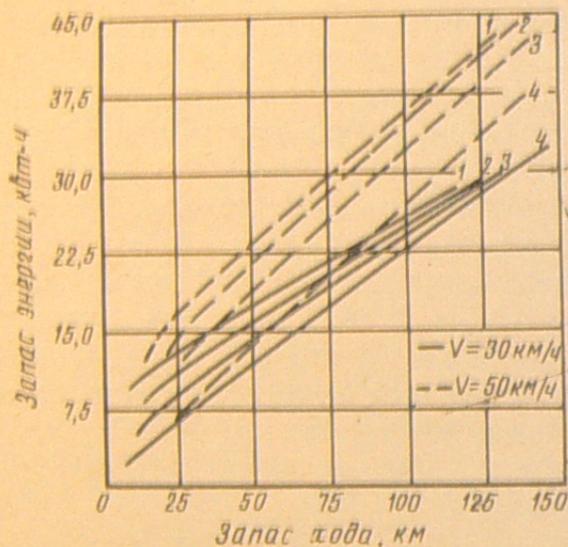


Рис. 9. Зависимость запаса хода электромобиля от емкости аккумуляторов:

1 — свинцовые панцирные; 2 — свинцовые намазные; 3 — железо-никелевые ламельные; 4 — железо-никелевые безламельные

Для изготовления безламельных щелочных аккумуляторных батарей требуется никеля в 4—6 раз больше, чем для изготовления ламельных батарей той же емкости. Поэтому новые типы щелочных безламельных аккумуляторных батарей в настоящее время имеют высокую стоимость, что препятствует их применению на электромобилях.

Значительный интерес представляют работы по созданию для безламельного железо-никелевого аккумулятора пластин, не уступающих по качеству металло-керамическим, но не требующих никеля для основы. Отрицательные пластины удается получить более или менее удовлетворительного качества. Положительные пластины получить значительно труднее: в процессе работы они разбухают и разваливаются. Поэтому в настоящее время выпускают аккумуляторы со смешанным типом пластин: положительные — ламельные, отрицательные — безламельные.

Аккумуляторные батареи смешанного типа, имея вес,

мало отличающийся от веса чисто безламельных аккумуляторных батарей, по своей стоимости приближаются к ламельным. Можно считать, что при массовом производстве стоимость аккумуляторных батарей смешанного типа будет всего лишь процентов на 30—60 больше стоимости обычных ламельных аккумуляторных батарей.

До настоящего времени на электромобилях, причем лишь на опытных образцах, нашли применение не железо-никелевые, а кадмий-никелевые безламельные аккумуляторные батареи, что объясняется большей надежностью последних. В отношении же других технических параметров оба типа аккумуляторных батарей равноценны.

Как видно из табл. 8 и 9, применение новых типов аккумуляторных батарей позволяет увеличить запас хода электромобиля на 40—45%, а при одновременном повышении максимальной скорости до 50 км/ч — примерно на 30%. Существуют также и другие аккумуляторные батареи с еще лучшими весовыми параметрами. К ним относятся, например, серебряно-цинковые аккумуляторные батареи, 30% веса которых составляет серебро. Однако использование в большом количестве серебра для автомобильной промышленности является нереальным. Поэтому в данном случае практического интереса эти батареи не имеют, хотя следует упомянуть, что серебряно-цинковые аккумуляторные батареи все же использовались на опытных моделях электромобилей.

Известны также никель-цинковые аккумуляторные батареи с нерастворимым отрицательным электродом, имеющие удельный вес 16—20 кг на 1 квт·ч (при пятичасовом разряде). Это безламельные аккумуляторные батареи.

Стоимость никель-цинковой аккумуляторной батареи примерно такая же, как и ламельной железо-никелевой. Однако срок службы этой батареи, который определяется ростом дендритов цинка, приводящим к короткому замыканию электродов, составляет пока еще лишь 100—150 циклов, что недостаточно.

В Англии, Франции, ФРГ, т. е. в странах, где наиболее широко развито применение электромобилей, стоимость свинцовых аккумуляторных батарей пример-

емкость очень незначительно зависит от режима разряда. Поэтому запас хода электромобиля со щелочными безламельными батареями больше, чем в случае применения других аккумуляторных батарей с одинаковой номинальной емкостью. Особенно ощутимым становится это преимущество при увеличении максимальной скорости движения (рис. 9).

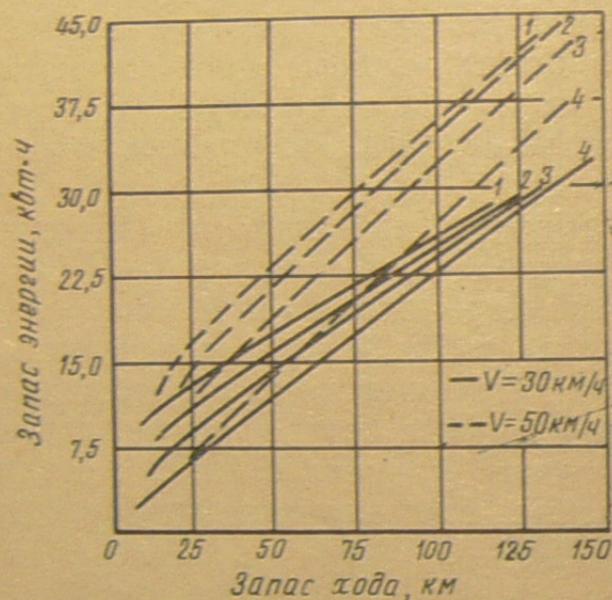


Рис. 9. Зависимость запаса хода электромобиля от емкости аккумуляторов:

1 — свинцовые панцирные; 2 — свинцовые намазные; 3 — железо-никелевые ламельные; 4 — железо-никелевые безламельные

Для изготовления безламельных щелочных аккумуляторных батарей требуется никеля в 4—6 раз больше, чем для изготовления ламельных батарей той же емкости. Поэтому новые типы щелочных безламельных аккумуляторных батарей в настоящее время имеют высокую стоимость, что препятствует их применению на электромобилях.

Значительный интерес представляют работы по созданию для безламельного железо-никелевого аккумулятора пластин, не уступающих по качеству металло-керамическим, но не требующих никеля для основы. Отрицательные пластины удается получить более или менее удовлетворительного качества. Положительные пластины получить значительно труднее: в процессе работы они разбухают и разваливаются. Поэтому в настоящее время выпускают аккумуляторы со смешанным типом пластин: положительные — ламельные, отрицательные — безламельные.

Аккумуляторные батареи смешанного типа, имея вес,

мало отличающийся от веса чисто безламельных аккумуляторных батарей, по своей стоимости приближаются к ламельным. Можно считать, что при массовом производстве стоимость аккумуляторных батарей смешанного типа будет всего лишь процентов на 30—60 больше стоимости обычных ламельных аккумуляторных батарей.

До настоящего времени на электромобилях, причем лишь на опытных образцах, нашли применение не железо-никелевые, а кадмий-никелевые безламельные аккумуляторные батареи, что объясняется большей надежностью последних. В отношении же других технических параметров оба типа аккумуляторных батарей равноценны.

Как видно из табл. 8 и 9, применение новых типов аккумуляторных батарей позволяет увеличить запас хода электромобиля на 40—45%, а при одновременном повышении максимальной скорости до 50 км/ч — примерно на 30%. Существуют также и другие аккумуляторные батареи с еще лучшими весовыми параметрами. К ним относятся, например, серебряно-цинковые аккумуляторные батареи, 30% веса которых составляет серебро. Однако использование в большом количестве серебра для автомобильной промышленности является нереальным. Поэтому в данном случае практического интереса эти батареи не имеют, хотя следует упомянуть что серебряно-цинковые аккумуляторные батареи все же использовались на опытных моделях электромобилей.

Известны также никель-цинковые аккумуляторные батареи с нерастворимым отрицательным электродом, имеющие удельный вес 16—20 кг на 1 кВт·ч (при пятичасовом разряде). Это безламельные аккумуляторные батареи.

Стоимость никель-цинковой аккумуляторной батареи примерно такая же, как и ламельной железо-никелевой. Однако срок службы этой батареи, который определяется ростом дендритов цинка, приводящим к короткому замыканию электродов, составляет пока еще лишь 100—150 циклов, что недостаточно.

В Англии, Франции, ФРГ, т. е. в странах, где наиболее широко развито применение электромобилей, стоимость свинцовых аккумуляторных батарей пример-

но в два раза меньше стоимости щелочных железо-никелевых. Это привело к тому, что на электромобилях почти исключительно применяются свинцовые аккумуляторные батареи ванцирного типа.

На английских электромобилях аккумуляторы обычно собирают в батарею напряжением от 30 до 80 в. Наиболее часто применяется напряжение 60 и 72 в. В ФРГ номинальное напряжение аккумуляторной батареи электромобилей обычно соответствует одному из следующих значений: 24, 40, 80 или 160 в.

Батарея располагается на шасси электромобиля таким образом, чтобы имелась возможность, пользуясь некоторыми вспомогательными подъемными приспособлениями, осуществлять быструю замену батарей аккумуляторов. Кроме того, необходимо обеспечить легкий доступ к выводным штырям и отверстиям для заливки электролита. Обеспечить эти требования несложно. Поэтому существует большое разнообразие в компоновке электромобилей в смысле расположения аккумуляторной батареи. Однако наиболее часто батарея располагается в двух ящиках по бокам электромобиля (с наружной стороны продольной балки рамы, к которой она подвешивается на поперечинах). При этом расположении батарея легко снимается сбоку при открывании боковых стенок кузова. На рис. 10 хорошо видно расположение аккумуляторной батареи на шасси электромобиля фирмы Smith.

Размеры и вес аккумуляторной батареи определяются из условия обеспечения необходимого запаса хода и максимальной скорости движения электромобиля, поскольку именно от этих факторов в первую очередь зависит необходимая емкость аккумуляторной батареи по энергии ($квт \cdot ч$). В первом приближении вес аккумуляторной батареи электромобиля $G_{a.б}$ можно определить по следующей формуле:

$$G_{a.б} = \omega_{уд} G_s L \gamma_{a.б}, \text{ кг}, \quad (1)$$

где G_s — полный вес электромобиля, т;

$\omega_{уд}$ — удельный расход энергии на 1 ткм полного веса при заданной скорости движения, $квт \cdot ч/ткм$;

L — заданный запас хода, км;

$\gamma_{a.б}$ — удельный вес аккумуляторной батареи, $кг/квт \cdot ч$.

Канд. техн. наук Д. Г. Поляком [7] и автором данной книги [8] разработаны методы более точного определения необходимой емкости (по энергии) и веса аккумуляторной батареи электромобилей. Тем не менее для понятия физической сущности взаимосвязей параметров аккумуляторной батареи и основных параметров электромобиля формула (1) является очень удобной.

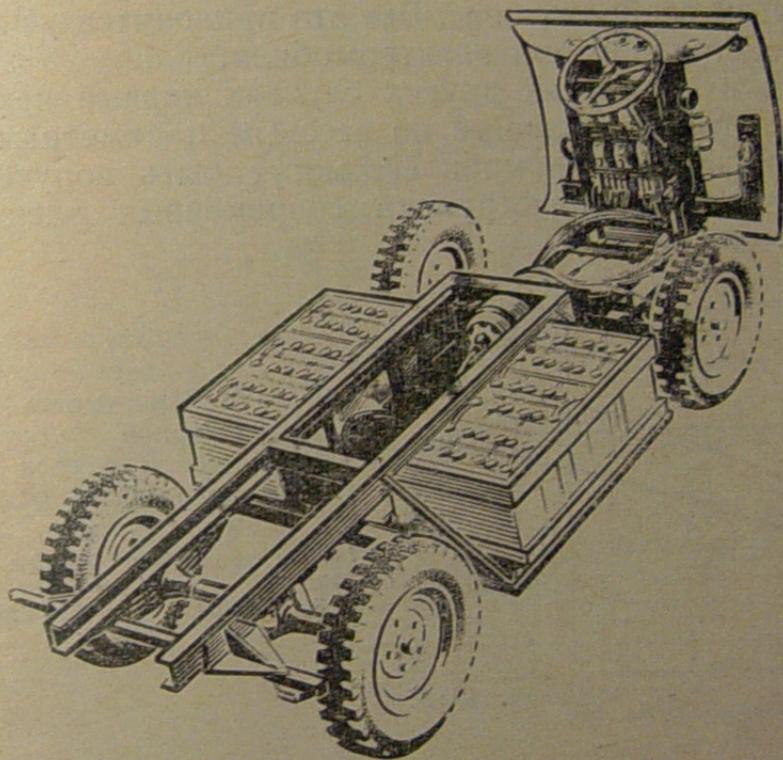


Рис. 10. Шасси электромобиля фирмы Smith

Прежде всего из формулы (1) следует, что величина желаемого пробега электромобиля на один заряд батареи (запас хода — L) прямо пропорциональна отношению веса аккумуляторной батареи к полному весу электромобиля. Поэтому стремление иметь больший запас хода электромобиля приводит к максимальному возможному увеличению веса аккумуляторной батареи при том же полном весе.

Одним из важнейших технико-экономических параметров технических средств автомобильного транспорта является материалоемкость их конструкции. Этот параметр достаточно полно характеризуется отношением

грузоподъемности к полному весу, называемым коэффициентом использования веса автомобиля.

Очевидно, что чрезмерное увеличение веса аккумуляторной батареи (при постоянном полном весе) ведет к уменьшению грузоподъемности и, следовательно, к ухудшению коэффициента использования веса автомобиля. Кроме того, чрезмерное увеличение веса аккумуляторной батареи автомобилей нецелесообразно и по другим соображениям. Все это приходится учитывать при конструировании автомобиля.

Как и во многих других случаях первые исходные, ориентировочные данные по весовым параметрам аккумуляторных автомобилей, могут быть получены на основе данных конструкций современных автомобилей.

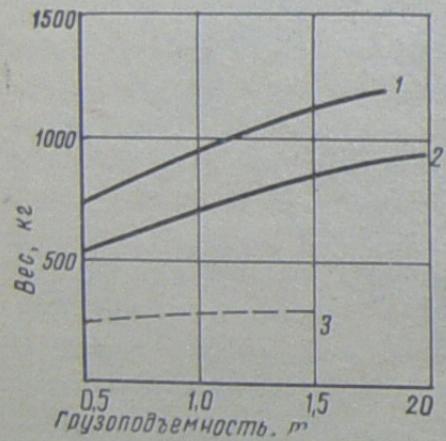


Рис. 11. Зависимость веса аккумуляторной батареи автомобиля и веса двигателя автомобиля от грузоподъемности:
1 — автомобили 30—40-х годов; 2 — автомобили 50—60-х годов; 3 — карбюраторные двигатели

На рис. 11 представлены зависимости веса аккумуляторной батареи от грузоподъемности автомобилей. Как видно из данных рис. 11, вес аккумуляторной батареи автомобилей в течение последних 15—25 лет значительно уменьшился (на 37—40%), что объясняется в первую очередь улучшением весовых параметров самих аккумуляторов. Однако вес аккумуляторной батареи современных автомобилей еще значительно превышает (примерно в 1,5 раза) вес карбюраторного двигателя внутреннего сгорания, радиатора и стартерной аккумуляторной батареи автомобилей.

На основе данных конструкций автомобилей были также построены зависимости полного веса от грузоподъемности (рис. 12). На основе этих зависимостей

в нижней части рис. 12 построены кривые отношения полезного груза к полному весу.

Данные рис. 12 показывают, что использование веса (отношение полезного груза к полному весу) у современных автомобилей значительно лучше, чем у автомобилей 40-х годов. По сравнению с опытными автомобилями НАМИ, у современных автомобилей использование веса лучше на 24—27%. При этом использование веса у современных автомобилей и автомобилей практически одинаково.

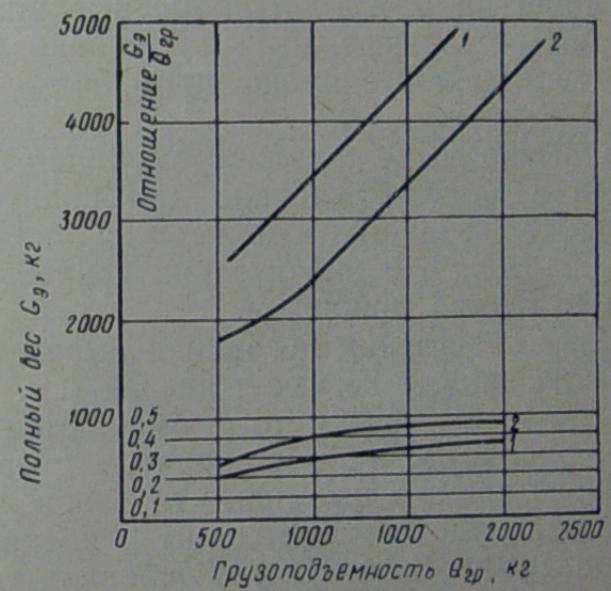


Рис. 12. Зависимость полного веса автомобиля от его грузоподъемности:
1 — автомобили 30—40-х годов; 2 — автомобили 50—60-х годов

Конструкция шасси, кузова, трансмиссии, рулевого управления и ходовой части автомобиля имеет много общего с конструкциями обычных автомобилей. Однако здесь полной идентичности нет. Практика и специальные исследования показали, что удовлетворительные технические и экономические параметры автомобиля на современном уровне развития техники могут быть достигнуты лишь при проектировании автомобиля с учетом особенностей его конструкции и условий эксплуатации:

- а) автомобили используются лишь на хороших дорогах с твердым покрытием;
- б) вместо двигателя внутреннего сгорания, являющегося источником возникновения динамических нагрузок и крутильных колебаний в трансмиссии автомобиля и

источником вибраций, передающихся несущей конструкции автомобиля, на электромобиле применяется аккумуляторная батарея и динамически уравновешенный тяговый электродвигатель.

Учет этих особенностей позволяет даже при весе аккумуляторной батареи, намного превышающем вес двигателя внутреннего сгорания однотипного автомобиля, значительно снизить собственный вес электромобиля и тем самым добиться практически равного использования веса для электромобиля и автомобиля.

Типичная конструкция шасси электромобиля представлена на рис. 10. Продольные балки рамы и поперечины — стальные. Для облицовки кабины и кузова электромобилей широко применяют алюминий, пластмассу, фанеру.

Обычно в кабине электромобилей имеется всего одно сиденье, предназначенное для водителя. В некоторых же моделях водитель может управлять электромобилем также стоя, что значительно сокращает время до момента начала движения.

Для облегчения посадки и высадки кабина электромобилей иногда не имеет дверей (см. рис. 5, в). Если же кабина имеет двери, то применяются либо скользящие (см. рис. 5, б), либо створчатые двери, так как в настоящее время считается, что двери, прикрепляемые на петлях, неудовлетворительны с точки зрения техники безопасности, поскольку в условиях уличного движения при открывании таких дверей создается помеха для движения транспортных средств или же для пешеходов.

Естественно, что применение на электромобиле электропривода обуславливает отличие в конструкции привода и регулирования скорости движения электромобиля от обычных автомобилей. При этом электропривод электромобилей имеет ряд специфических особенностей в отличие от конструкций и схем электропривода других типов электроподвижного состава (троллейбус, трамвай, метро и т. д.).

Условия работы тягового электродвигателя на электромобиле значительно благоприятнее, чем двигателя контактного электроподвижного состава. Это объясняется тем, что колебания напряжения на электромобиле составляют от +5 до -10%, в то время как при работе от контактного привода колебания напряжения состав-

ляют от +20 до -30%. Кроме того, в электромобиле совершенно исключается возможность перерыва питания, как это имеет место при отрыве токоъемника контактного электроподвижного состава.

Последнее обстоятельство позволяет выполнить электродвигатель электромобиля с компенсационной обмоткой, что наполовину снижает число витков обмотки возбуждения и уменьшает вес и габариты двигателя. Двигатель с компенсационной обмоткой примерно на 28% легче, чем обычный. Кроме того, наличие компенсационной обмотки позволяет реализовать глубокое ослабление поля, достигающее до 20%, чем в значительной мере уменьшаются пусковые потери за счет использования низколежащей характеристики.

За последние годы все большее применение находят новые виды изоляции (например, кремнийорганическая), допускающие более высокие температуры обмотки (перегрев меди до 160—180°С). Это позволяет увеличить тепловую нагрузку якоря и, как следствие, повысить линейную нагрузку и мощность электрической машины. Применение новых видов изоляции позволяет повысить мощность электродвигателя при том же весе и в тех же габаритах на 15—20%. Однако в качестве одного из основных требований к тяговому электродвигателю электромобиля следует рассматривать повышение к. п. д. двигателя, так как каждый лишний процент к. п. д. электродвигателя позволяет, при заданном запасе хода электромобиля, примерно на 1,25% уменьшить запас энергии в батарее и соответственно снизить ее вес. Исследования данного вопроса [16] показали, что целесообразно даже идти на применение более тяжелых двигателей, если они имеют более высокий к. п. д.

На рис. 13 приведены электромеханические характеристики типичного тягового электродвигателя, применяемого на электромобилях фирмы Smith грузоподъемностью от 762 кг до 2,0 т. Электродвигатель при напряжении 72 в имеет в часовом режиме мощность 12,25 л. с. (9,0 квт), а при напряжении 60 в — 10,25 л. с. (7,5 квт). Два таких двигателя, соединенных последовательно и питающихся от батареи напряжением 144 в, применяются для электромобилей большой грузоподъемности (6,0 т). Двигатель самовентилируемый. Корпус и крыш-

ки из стали, причем корпус цилиндрический с фланцем для крепления на шасси.

В настоящее время распространение получил привод от одного двигателя, который обладает следующими преимуществами перед приводом от двух двигателей: простота конструкции; возможность применения автомобильного заднего моста с карданной передачей; меньший вес и больший к. п. д., так как необходимая мощность сосредоточена в одном агрегате.

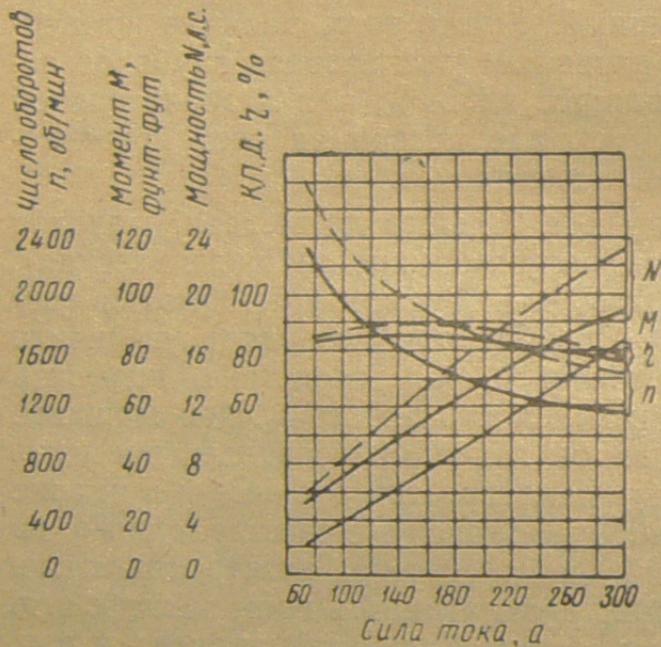


Рис. 13. Электро-механические характеристики тягового электродвигателя электромобиля

Электродвигатель чаще всего помещается между продольными балками рамы впереди батареи. Такое расположение двигателя хорошо видно на рис. 10.

Наиболее распространенной конструкцией передачи к ведущим колесам электромобиля является применение автомобильного заднего моста с карданной передачей. Однако отношение скорости вращения карданного вала к скорости вращения колес, выше чем в приводе автомобиля. Такое увеличенное отношение чаще всего достигается за счет установки дополнительной пары цилиндрических шестерен. Понижающая червячная передача применяется редко, так как она обладает более низким к. п. д.

Некоторые трехколесные модели электромобилей делаются с цепной передачей. В этом случае тяговый электродвигатель монтируют на подрамнике над задней

осью. Привод от электродвигателя осуществляется через сдвоенную цепную передачу, установленную в кожухе, и главную передачу.

Общее передаточное отношение от электродвигателя к колесам обычно колеблется между 12:1 и 15:1.

В условиях эксплуатации возникает необходимость в регулировании скорости электромобиля водителем, т. е. в получении различных скоростей при одной и той же силе тяги.

Так как на электромобилях в настоящее время преимущественно применяют серийные электродвигатели постоянного тока, то скорость можно регулировать либо изменением подводимого к нему напряжения, либо же изменением величины его магнитного потока.

Регулирование скорости посредством изменения поля возбуждения двигателя дает возможность как понижения (путем усиления поля), так и повышения скорости (путем ослабления поля). Однако эти методы регулирования скорости не нашли широкого применения на электромобилях.

Изменение напряжения на тяговом электродвигателе при заданном напряжении аккумуляторной батареи возможно осуществлением включением сопротивления последовательно с двигателем и параллельно-последовательным переключением секций аккумуляторной батареи или в случае двух двигателей, последовательно-параллельным переключением электродвигателей.

Для электромобилей небольшой грузоподъемности (до 600 кг) применяется простой реостатный пуск, а система управления состоит из контроллера барабанного типа и реверсора. Контроллер представляет собой аппарат управления, при помощи которого осуществляется пуск, регулирование скорости и электрическое торможение тягового электродвигателя. Контроллер состоит из контактной системы, приводного механизма, корпуса и кожуха. Для получения заднего хода электромобиля изменяется направление вращения тягового электродвигателя, которое обычно осуществляется путем изменения направления тока в обмотке возбуждения. Для этой цели предусматриваются специальные контакты, переключение которых и осуществляется реверсором.

Существенным недостатком простейшей схемы реостатного пуска являются наличие значительных потерь

энергии в пусковых реостатах в процессе разгона. Эти потери могут достигать в некоторых случаях 25% от емкости аккумуляторной батареи. Поэтому для электромобилей грузоподъемностью свыше 600 кг применяется более экономичная система регулирования, предусматривающая параллельно-последовательное переключение двух секций батарей. Данная система управления является наиболее распространенной.

В широко применяемой на английских электромобилях (грузоподъемностью до 1,5 т) схеме регулирования, разработанной примерно 15 лет назад совместными усилиями фирм Associated Electric Industries и Smith's Delivery Vehicles, переключение на последовательное соединение секций батареи происходит при скорости, равной половине максимальной. Переключение происходит без разрыва электрической цепи. Применяется система с косвенным управлением, т. е. все переключения в силовой цепи производятся электромагнитными контакторами.

В этом случае контроллер управления, рассчитанный на небольшую силу тока управления, получается легким, а для его переключения требуется небольшое усилие. Управление контроллером осуществляется при помощи ножной педали. Схема предусматривает ручной реверсивный переключатель с дополнительной позицией для заряда.

На рис. 14 показан контроллер управления, который монтируют на панели в кабине. Стартовые реостаты монтируют под полом кабины.

Командный контроллер имеет три операционные позиции: две реостатные и одну ездовую, соответствующую параллельному соединению двух секций аккумуляторной батареи. При таком соединении секций батарей возможно достижение скорости (на горизонтальном участке), равной примерно половине максимальной.

Чтобы получить максимальную скорость, которая достигается при последовательном соединении секций аккумуляторной батареи, нажимают в течение нескольких секунд кнопку, расположенную на рулевой колонке. За это время происходит переключение секций батареи с параллельного на последовательное соединение и дальнейший разгон электромобиля с включенным в цепь тягового электродвигателя добавочным сопротив-

лением. Затем кнопку отпускают. При этом добавочное сопротивление замыкается накоротко и тяговый электродвигатель получает питание непосредственно от батареи, т. е. дальнейший разгон электромобиля до максимальной скорости происходит по естественной характеристике тягового электродвигателя.

В момент нажатия кнопки педаль контроллера управления находится в нижнем положении. Это положение педали сохраняется и во время нажатия кнопки и после ее отпускания. Последовательность операций можно проследить по электрической схеме управления, которая представлена на рис. 15.

Цепь управления питается через выключатель B_1 , выполняющий роль выключателя зажигания в автомобиле. При замыкании контактов B_1 контакты B_2 и B_3 размыкаются.

При нулевом положении контроллера тока в цепи нет.

При первом положении контроллера его контакты O остаются замкнутыми и замыкаются еще контакты $K1$. Ток через контакты контроллера $K1$ и O поступает в обмотку реле P_1 . При этом размыкающий контакт P_1 размыкается, и все замыкающие контакты P_1 замыкаются. В результате на первой позиции контроллера тяговый электродвигатель получает питание через добавочные сопротивления R_2 и R_3 от двух половин аккумуляторной батареи, соединенных параллельно.

При втором положении контроллера контакты $K2$ замыкаются, а контакты O — размыкаются. Однако благодаря тому, что замыкающие контакты P_1 были замкнуты на первой позиции, цепь реле P_1 получает питание через контакты контроллера $K1$ и не прерывается. При включении контактов контроллера $K2$ ток поступает в обмотку реле P_2 и в силовой цепи контакт P_2

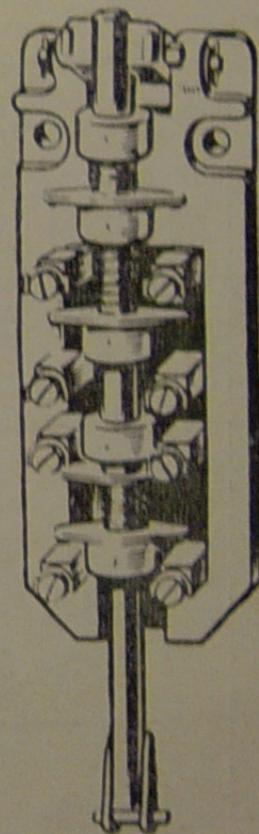


Рис. 14.
Контроллер
управления

замыкает сопротивление R_2 . В цепи якоря остается лишь одно дополнительное сопротивление R_3 .
 При третьем положении контроллера замыкаются его контакты $K3$. Ток через контакты контроллера $K1$ и $K3$ и через замкнутые контакты P_1 и P_2 поступает в обмотку реле P_3 . Реле P_3 включает контакт P_3 в силовой цепи, замыкая сопротивление R_3 . Двигатель питается непосредственно от аккумуляторной батареи, две

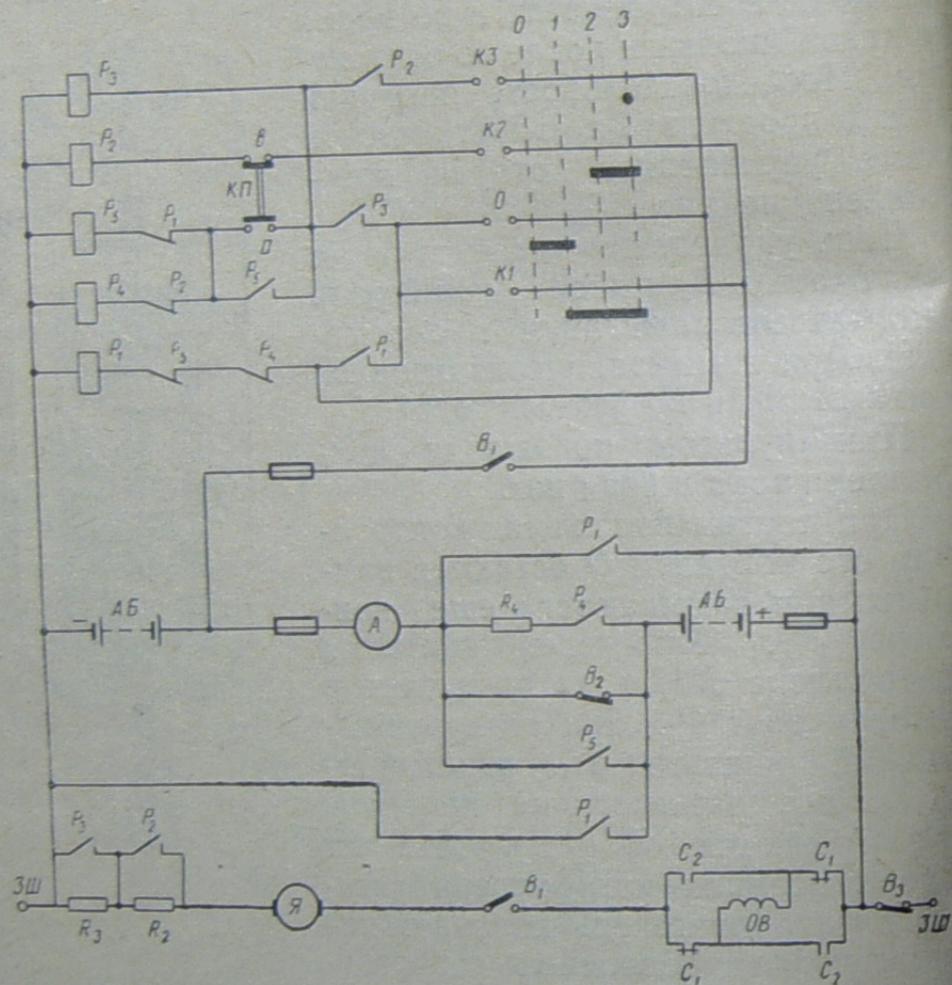


Рис. 15. Электрическая схема управления электромобилями фирмы Smith

половины которой соединены параллельно. Это положение контроллера соответствует первой «экономической» скорости, т. е. такой, при которой движение не сопровождается потерями в сопротивлениях.

В дальнейшем при включении четвертой и пятой скоростей движения электромобиля положение контроллера не изменяется.

Четвертой скорости движения соответствует последовательное соединение аккумуляторной батареи и включение в силовую цепь дополнительного сопротивления. Включение четвертой скорости осуществляется нажатием кнопки переключения $KП$. При этом происходит два процесса. Первый, протекающий доли секунды, заключается в переключении с параллельного на последовательное соединение секций батареи. Это переключение происходит без разрыва цепи и осуществляется следующим образом: при нажатии на кнопку $KП$ ее контакты b размыкаются и разрывают цепь реле P_2 ; поэтому размыкающий контакт P_2 в цепи реле P_4 замыкается и ток поступает в обмотку реле P_4 через контакты контроллера $K1$, замкнутые контакты P_3 , контакты a кнопки $KП$ и контакты P_2 . В результате в силовой цепи замыкается контакт P_4 и секции батареи через сопротивление R_4 соединяются последовательно. При этом на какие-то доли секунды, пока контакты P_1 еще замкнуты, секции батареи разряжаются через сопротивление R_4 .

Благодаря наличию тока в обмотке реле P_4 происходит размыкание контактов P_4 в цепи обмотки реле P_1 , и это реле обесточивается. В результате в силовой цепи размыкаются контакты P_1 и тем самым обеспечивается переключение секций батареи с параллельного на последовательное соединение. Одновременно благодаря замыканию контактов P_1 в цепи реле P_5 ток начинает поступать в это реле, и контакты P_5 в силовой цепи замыкаются, замыкая накоротко сопротивление R_4 . Пока кнопка $KП$ нажата, движение электромобиля осуществляется при наличии в силовой цепи дополнительного сопротивления R_2 , поскольку контакты b кнопки $KП$ разомкнуты и реле P_2 обесточено, следовательно, контакты P_2 в силовой цепи разомкнуты. Движение на четвертой скорости продолжается всего несколько секунд, пока нажата кнопка $KП$. Однако этого достаточно, чтобы электромобиль достиг скорости выхода на естественную характеристику двигателя.

При отпускании кнопки $KП$ ее контакты b замыкаются, и ток поступает в реле P_2 . Тем самым в силовой цепи закорачивается сопротивление R_2 , и двигатель начинает получать питание непосредственно от аккумуляторной батареи, секции которой соединены последова-

тельно. Это соответствует второй «экономической» скорости движения, при которой достигается максимальная скорость движения.

Поскольку реле P_5 будет под током все время, пока замкнуты контакты контроллера $K1$, то чтобы включить другую скорость (первую, вторую и т. д.), необходимо предварительно вернуть контроллер в нулевое положение.

Для получения заднего хода специальным переключателем, имеющим дополнительную позицию для заряда, размыкаются контакты C_1 и замыкаются контакты C_2 . Тем самым изменяется направление тока в обмотке возбуждения.

В позиции переключателя для заряда замыкаются контакты B_3 и B_2 , а контакты B_1 — размыкаются.

Влияние конструктивных параметров электромобиля на эффективность его использования

Эффективность использования автомобильных транспортных средств характеризуется, прежде всего, их производительностью и величиной приведенных затрат на перевозки (или себестоимостью).

Рассмотрим влияние параметров аккумуляторной батареи на основные показатели эффективности применения электромобилей: производительность и величину приведенных затрат.

Обычно производительность автомобильных транспортных средств измеряется количеством тонно-километров или пассажиро-километров, отнесенным к единице времени (час, сутки, год). Для данного исследования суточная производительность может быть подсчитана по следующим формулам:

для грузовых автомобилей

$$W_r = L_{cc} \beta q \gamma, \text{ ткм/сутки}; \quad (2)$$

для автобусов и легковых автомобилей

$$W_a = L_{cc} \beta q_a \gamma_a, \text{ пасс-км/сутки}, \quad (3)$$

где L_{cc} — среднесуточный пробег, км;

β — коэффициент использования пробега;

q — номинальная грузоподъемность, т;

q_a — номинальная пассажироместимость, чел.;

γ — коэффициент использования грузоподъемности;

γ_a — коэффициент использования пассажироместимости.

Приведенные формулы показывают, от каких параметров зависит производительность автомобильных транспортных средств.

В этих формулах могут быть выделены параметры, не связанные с конструкцией автомобиля. К таким параметрам относятся коэффициент использования пробега β и коэффициент использования пассажироместимости автобуса и легковых автомобилей γ_a .

Коэффициент использования грузоподъемности γ при перевозке груза определенного вида зависит от размеров и устройства кузова. Так как загрузка автомобиля влияет на величину технической скорости, то, следовательно, коэффициент использования грузоподъемности также влияет и на величину среднесуточного пробега. Как показали исследования проф. С. Р. Лейдермана [6], с учетом этого влияния при практических колебаниях коэффициента использования грузоподъемности γ в пределах 0,7—1,0 разница в величине производительности не выходит из пределов точности $\pm 5\%$, предъявляемой к эксплуатационным расчетам. Поэтому для анализа можно сделать допущение, что коэффициент использования грузоподъемности не зависит от конструкции автомобиля.

Таким образом, ряд параметров, входящих в формулы производительности, можно заменить постоянными коэффициентами, обозначив их через a с соответствующим индексом. Тогда производительность можно выразить в виде следующей зависимости:

для грузового автомобиля

$$W_r = a_r L_{cc} q, \text{ ткм/сутки}; \quad (4)$$

для автобусов и легковых автомобилей

$$W_a = a_a L_{cc} q_a, \text{ пасс-км/сутки}. \quad (5)$$

Для аккумуляторных электромобилей величина среднесуточного пробега ограничена запасом хода.

Увеличить суточный пробег по сравнению с расчетным запасом хода электромобиля можно путем приме-

нения подзаряда или смены батарей. Однако оба эти мероприятия значительно усложняют эксплуатацию и на практике не получили широкого применения. Поэтому, исследуя влияние конструктивных параметров электромобиля на эффективность его применения, необходимо исходить из условия, что среднесуточный пробег меньше или равен запасу хода электромобиля. В дальнейшем для целей анализа среднесуточный пробег $L_{ср}$ был принят равным запасу хода электромобиля.

При определенном удельном весе аккумуляторной батареи запас хода электромобиля зависит от отношения веса батареи к полному весу электромобиля, что может быть получено из формулы 1. Очевидно, что увеличение веса аккумуляторной батареи при постоянном полном весе ведет к уменьшению грузоподъемности. В результате этого чрезмерное увеличение запаса хода может привести к уменьшению производительности электромобиля. На рис. 16 показана зависимость производительности (рассчитанной по формуле 4 с условием, что средний суточный пробег равен запасу хода электромобиля), запаса хода и грузоподъемности электромобиля от веса аккумуляторной батареи.

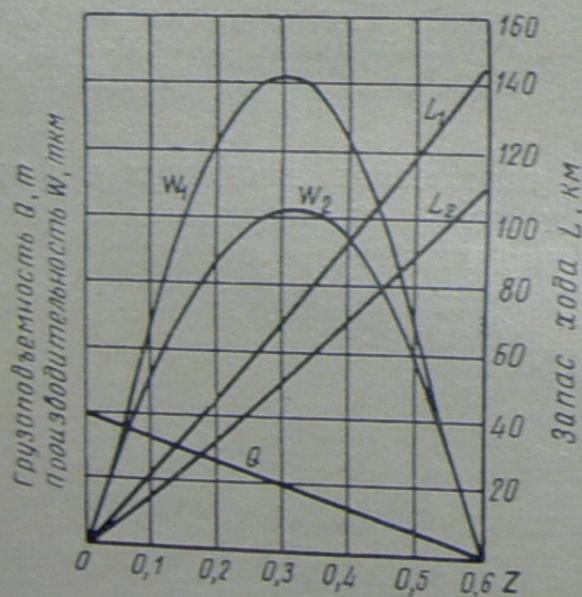


Рис. 16. Влияние веса аккумуляторной батареи на производительность и запас хода электромобиля:

- 1 — при удельном весе аккумуляторов 60 кг/квт · ч;
- 2 — при удельном весе аккумуляторов 45 кг/квт · ч;
- z — отношение веса батареи к полному весу электромобиля

Приведенные затраты на перевозки слагаются из эксплуатационных затрат (себестоимость перевозок) и капиталовложений, приведенных к затратам на пере-

возки, и могут быть выражены для грузовых автомобильных транспортных средств в следующем виде

$$C_{пр} = S + \frac{0,1(K - c_n) 100}{W_{год}}, \text{ коп/ткм}, \quad (6)$$

- где S — себестоимость перевозок, коп/ткм;
 K — общая сумма веса капиталовложений, необходимых для использования транспортного средства, руб.;
 c_n — остаточная, ликвидная стоимость амортизированного транспортного средства, руб.;
 $W_{год}$ — средняя годовая производительность транспортного средства, ткм;
 0,1 — нормативный коэффициент эффективности для автомобильных транспортных средств.

Себестоимость перевозок S представляет собой сумму эксплуатационных затрат на выполнение перевозок на данном автомобильном транспортном средстве ΣC , отнесенную к транспортной работе W за тот же период времени

$$S = \frac{\Sigma C}{W}, \text{ коп/ткм}, \quad (7)$$

Себестоимость может быть рассчитана и по суточной производительности. Тогда становится очевидным, что если с изменением запаса хода электромобиля имеет место ярко выраженный максимум производительности (см. рис. 16), то, следовательно, будет иметь место минимум себестоимости и величины приведенных затрат. Впервые на такой характер изменения стоимости эксплуатации (себестоимость с учетом процентов на капитал в расчете на милю пробега) в зависимости от запаса хода электромобиля указал С. М. Хиллс [15]. Затем Д. Г. Поляк [7] подробно исследовал зависимость изменения себестоимости от запаса хода электромобиля, в результате чего им было доказано, что существует определенно выраженный минимум себестоимости при изменении запаса хода электромобиля за счет увеличения веса аккумуляторной батареи.

Таким образом, с точки зрения использования веса, производительности и себестоимости возможность увеличения запаса хода за счет веса аккумуляторной батареи ограничена.

В действительности, суточный пробег редко точно соответствует запасу хода электромобиля. Чтобы выявить, как влияет разница между запасом хода электромобиля и действительным суточным пробегом, рассмотрим зависимость амортизационных отчислений на полное восстановление аккумуляторной батареи от изменения суточного пробега.

Амортизационные отчисления на полное восстановление аккумуляторной батареи могут быть определены по формуле:

$$C_{a.б} = \frac{Q_{уд} L c_{a.б} 100}{T q \gamma L_{cc} \beta}, \text{ коп/ткм}, \quad (8)$$

- L — запас хода электромобиля, км;
 $c_{a.б}$ — стоимость аккумуляторной батареи на запасаемый кВт·ч, руб/кВт·ч;
 T — срок службы, циклы;
 $Q_{уд}$ — потребная емкость аккумуляторной батареи на 1 км пробега, кВт·ч/км.

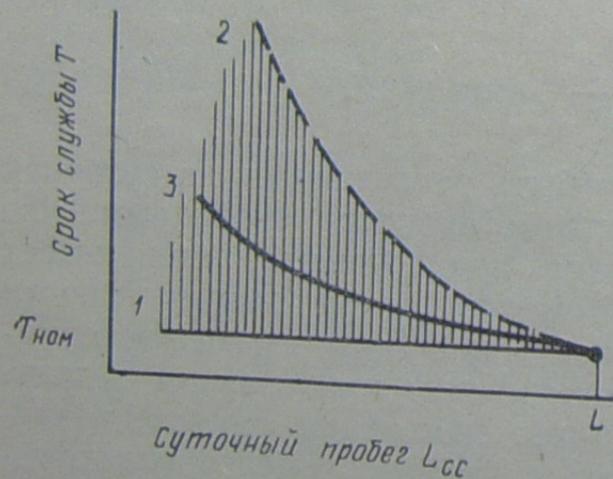


Рис. 17. Зависимость срока службы батареи от степени разряда:

- 1 — срок службы не зависит от степени разряда;
 2 — при условии $T L_{cc} = \text{const}$;
 3 — примерная действительная зависимость срока службы от степени разряда

Если бы срок службы батареи не зависел от глубины разряда, то он был бы всегда постоянным и соответствовал на рис. 17 прямой 1. В действительности, если батарея разряжается не глубоко, то число возможных циклов увеличивается по сравнению с номинальным сроком службы. Однако это увеличение происходит в меньшей степени, чем происходит уменьшение степени разряда (в нашем случае — пробега электромобиля). Если бы срок службы батареи определялся при условии $T L_{cc} = \text{const}$, то увеличение срока службы определялось по кривой 2 на рис. 17. В действительности срок службы батареи лежит в заштрихованной области между линиями 1 и 2, и в зависимости от типа разрядов и

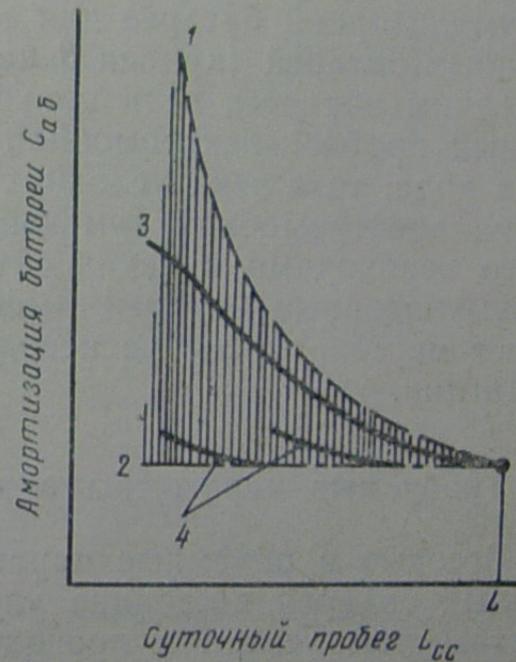


Рис. 18. Зависимость амортизационных отчислений по батарее от суточного пробега:

- 1 — срок службы батареи не зависит от степени разряда;
 2 — при соблюдении условия $T L_{cc} = \text{const}$;
 3 — примерная действительная зависимость амортизационных отчислений при применении сменных батарей

Трудности представляет определение срока службы аккумуляторной батареи. Номинальный срок службы батареи $T_{ном}$ определяется количеством циклов заряд-разряд при условии, что она каждый раз разряжается до определенной величины (около 20% ее емкости). Этот разряд соответствует в нашем случае пробегу электромобиля, равному запасу хода. При меньшем пробеге батарея разряжается на меньшую величину. Зависимость между количеством возможных циклов и степенью разряда еще не установлена. На рис. 17 сделана попытка примерно изобразить эту зависимость.

зарядов ближе или дальше от той или другой границы. Примерно срок службы будет определяться по кривой 3.

Таким образом, точное определение зависимости амортизационных отчислений по батарее от среднесуточного пробега пока что невозможно. На рис. 18 сделана попытка примерно изобразить эту зависимость. Кривая 1 на этом рисунке соответствует случаю, если бы срок службы батареи не зависел от степени разряда (соответствует прямой 1 на рис. 17). Прямая 2 (см. рис. 18) соответствует случаю, если бы имело место условие $T L_{cc} = \text{const}$. В действительности амортизаци-

онные отчисления по батарее лежат в заштрихованной области между линиями 1 и 2 (см. рис. 18). Примерно зависимость амортизационных отчислений по батарее от среднесуточного пробега может характеризоваться кривой 3. Как видно по характеру кривой 3, использовать электромобили с большим запасом хода на работах, где не требуется такого запаса хода, нецелесообразно. На таких работах необходимо применять электромобили, на которых аккумуляторная батарея должна быть уменьшена по размерам. Эффективность таких мероприятий явно следует из сравнения амортизационных отчислений по аккумуляторной батарее для электромобиля со сменными наборами батареи (ломаная линия 4 на рис. 18) и амортизационных отчислений по аккумуляторной батарее для электромобиля без набора сменных батарей (кривая 3 на рис. 18).

Таким образом, если по условиям эксплуатации суточный пробег электромобиля гораздо меньше его запаса хода, то в этих условиях эффективность использования электромобиля уменьшается; для устранения этого необходимо в таких случаях применять сменные аккумуляторные батареи меньшей емкости, как это имеет место в практике использования электромобилей в Англии.

Требуемые параметры аккумуляторных батарей

Весовые и объемные параметры тяговых аккумуляторных батарей постоянно улучшаются (рис. 19). Уже достигнутые успехи и проводимые исследования в области аккумуляторных батарей позволяют надеяться, что в ближайшее время аккумуляторные электромобили найдут широкое применение.

С одной стороны, чтобы более целеустремленно и с большим эффектом проводить работы по разработке новых типов тяговых аккумуляторных батарей, а с другой — чтобы ясно представлять, какие типы аккумуляторных электромобилей должны найти применение в первую очередь и какие параметры аккумуляторной батареи сделают возможным и экономически оправданным дальнейшее расширение применения электромобилей, автором книги были определены перспективные требуемые параметры аккумуляторных батарей, обеспе-

чивающие достаточно широкое применение различных типов электромобилей в городе.

Поскольку применение электромобилей приобретает практическое значение лишь при условии, что их технико-экономические параметры будут не хуже, чем для однотипных автомобилей, то необходимо определить реально сложившиеся в эксплуатации показатели использования различных типов автомобилей в городе и соответствующие им средние, типичные значения технико-экономических параметров.

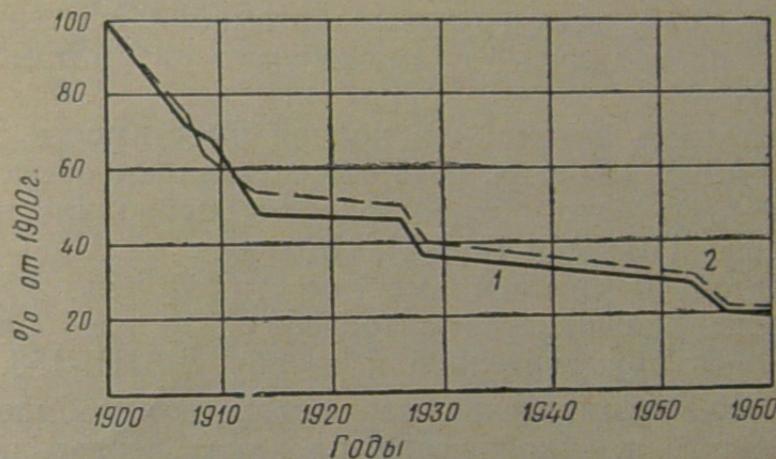


Рис. 19. Уменьшение удельного веса и объема (на 1 квт·ч) тяговых аккумуляторных батарей в процентах от значений 1900 г.: 1 — удельный вес; 2 — удельный объем

Изучение городских автомобильных перевозок проводилось на примере Москвы.

Для исследования был выбран следующий ряд автомобилей; широко применяемый в настоящее время:

1) грузовые автомобили на базе легковых автомобилей, которые составляют около 9,5% всех грузовых автомобилей в городе; типичные значения технико-экономических параметров — определялись применительно к автомобилю «Москвич-430»;

2) грузовые автомобили грузоподъемностью 0,8 т, которые составляют около 4,0% всех грузовых автомобилей в городе; определение конкретных значений технико-экономических параметров для данного типа автомобилей проводилось на примере автомобиля УАЗ-451;

3) грузовые автомобили грузоподъемностью 2,0 т, модификации (фургоны) автомобиля ГАЗ-51; поскольку в городе автомобили ГАЗ-51 преимущественно используются с кузовом фургон, то ориентировочно можно считать, что автомобили-фургоны грузоподъемностью 2,0 т составляют около 20% всех грузовых автомобилей в городе; расчеты технико-экономических параметров проводились для автомобиля ГАЗ-51 с кузовом ГЗТМ-952;

4) грузовые автомобили грузоподъемностью 6,0 т, более половины которых составляют автомобили МАЗ-205 (3,0% всех грузовых автомобилей в городе); расчеты проводились применительно к автомобилю МАЗ-205;

5) легковые автомобили полной вместимости 5 чел. класса ГАЗ-21 «Волга», которые составляют около 30% всех легковых автомобилей; расчеты проводились применительно к модели ГАЗ-21 «Волга»;

6) автобусы средней вместимости 60 чел., которые составляют большинство автобусов в городе; расчеты проводились применительно к автобусу ЗИЛ-158.

Технико-экономические параметры автомобилей зависят от того, в какой сфере, на каких перевозках используется автомобиль. Чтобы определить средние, типичные значения показателей использования и соответствующие им значения основных технико-экономических параметров выбранных типов автомобилей, были обследованы сферы использования, в которых выбранные типы автомобилей находят преимущественное применение.

Изучение типичных областей применения выбранного ряда грузовых автомобилей проводилось по отчетным данным Главмосавтотранса.

Более половины грузовых автомобилей на базе легковых автомобилей используется для обслуживания торговых перевозок. Для этих же целей используется более 80% автомобилей УАЗ. Поэтому в основу расчета технико-экономических параметров автомобилей грузоподъемностью 0,25 т («Москвич-430») и 0,8 т (УАЗ-451) были положены фактические данные по использованию таких автомобилей в Управлении торгового транспорта Главмосавтотранса.

Обработка полученных данных позволила определить

следующие показатели использования автомобилей небольшой грузоподъемности:

Коэффициент выпуска автомобилей	0,817
Среднесуточный пробег	86,0 км

Кроме среднесуточного пробега и коэффициента выпуска, для расчета производительности в тонно-километрах и приведенных затрат в копейках на тонно-километр, необходимо иметь значения коэффициента использованного пробега и грузоподъемности. Для расчетов значения этих коэффициентов были взяты по экспертной оценке.

Автомобили ГАЗ-51 и модификации на их основе также наиболее широко используются для обслуживания торговых перевозок. Поэтому в основу расчета технико-экономических параметров автомобиля грузоподъемностью 2,0 т ГАЗ-51 с кузовом ГЗТМ-952 были положены фактические данные по использованию автомобилей ГАЗ-51 и модификаций на их основе в Управлении торгового транспорта.

Обработка полученных данных позволила определить следующие показатели использования автомобилей-фургонов грузоподъемностью 2,0 т (по данным для автомобилей, работающих по тарифу на 1 т груза):

Коэффициент выпуска автомобилей	0,89
Среднесуточный пробег	111,0 км
Коэффициент использования пробега	0,735

Высокое значение коэффициента использования пробега обусловлено широким применением кольцевых маршрутов езды.

Применение кольцевых маршрутов значительно осложняет расчет производительности в тонно-километрах, а получение исходных фактических данных для такого расчета требует проведения специального, большого по объему обследования. В настоящей работе были приняты средние значения коэффициентов использования пробега и грузоподъемности по экспертной оценке.

Подавляющая часть автомобилей МАЗ-205 находится в ведении «Мосстройтранса». Поэтому в основу расчета технико-экономических параметров автомобиля грузоподъемностью 6,0 т (МАЗ-205) были положены фактические данные по использованию таких автомобилей в «Мосстройтрансе».

Обработка полученных данных позволила определить следующие показатели использования автомобилей МАЗ-205:

Коэффициент выпуска автомобилей	0,725
Среднесуточный пробег	170,0 км
Коэффициент использования пробега	0,466

Коэффициент использования грузоподъемности был взят по экспертной оценке равным 0,9, поскольку в настоящее время автомобили-самосвалы по отчетным данным работают с перегрузкой, имея коэффициент использования грузоподъемности более 1,0.

Технико-экономические параметры легкового автомобиля зависят от того, используется ли он в сфере общественного транспорта (такси) или же является индивидуальным автомобилем.

В основу расчета технико-экономических параметров легкового автомобиля, используемого в городе в качестве такси, были положены данные, полученные в результате обработки статистической отчетности Управления таксомоторного парка Главмосавтотранса.

Обработка полученных данных позволила определить следующие показатели использования автомобилей-такси:

Коэффициент выпуска автомобилей	0,841
Среднесуточный пробег	249,9 км
Коэффициент использования (платного пробега)	0,745

Изучение типичных показателей использования автобусов в городе проводилось по отчетным данным Управления пассажирского транспорта Москвы, которому принадлежит более половины всех автобусов города.

Эти автобусы имеют следующие показатели использования:

Коэффициент выпуска	0,87
Среднесуточный пробег	262,9 км

Для расчетов коэффициенты использования пассажироместности и использования пробега автобуса были взяты по экспертной оценке.

В результате изучения сфер типичного применения автомобилей в городе были определены реально сложившиеся в эксплуатации показатели использования

выбранных типов автомобилей, находящихся широкое применение в городе. Используя полученные данные, были определены для выбранных типов автомобилей значения обоих важнейших критериев оценки эффективности автомобильных транспортных средств — производительности и приведенных затрат на перевозки (значения приведенных затрат для автомобиля грузоподъемностью 0,8 т рассчитывались не для УАЗ-451, а для автомобиля с современными прогрессивными параметрами).

Очевидно, что полученные значения можно рассматривать как минимально необходимые требования, выполнение которых является необходимым условием развития применения электромобилей. Требуемые значения производительности и приведенных затрат приведены в табл. 10.

Таблица 10

Требуемые технико-экономические параметры перспективных аккумуляторных электромобилей

Грузоподъемность или пассажиро-местность	Приведенные затраты коп/ткм или коп/пасс. км, не более	Годовая производительность, тыс. ткм или тыс. пасс. км, не менее	Средний эксплуатационный запас хода, км, не менее	Максимальная скорость движения, км/ч, не менее	Полный вес, кг, не более	Вес аккумуляторной батареи, кг, не более	Запас энергии, кВт·ч, не менее
--	--	--	---	--	--------------------------	--	--------------------------------

Грузовые электромобили

0,25 т	116,1	1,5	85	80	1 400	370	11,0
0,8 "	36,68	5,25	85	75	2 100	600	16,4
2,0 "	14,0	21,3	115	65	4 300	900	45,7
6,0 "	5,5	117,5	170	50	12 800	1 500	198,0

Электромобили-автобусы

60 чел.	0,83	1 390,0	260	65	10 850	800	262,0
---------	------	---------	-----	----	--------	-----	-------

Легковые электромобили

5 чел.*	4,3	100,2	250	90	1 800	400	43,5
---------	-----	-------	-----	----	-------	-----	------

* Технико-экономические параметры рассчитаны для случая использования электромобиля в качестве такси.

Возможность достижения требуемых значений производительности и приведенных затрат на перевозки зависит от конструктивных параметров электромобиля. Важнейшие конструктивные параметры, которые должны иметь перспективные электромобили, также представлены в табл. 10. Значения среднеэксплуатационного запаса хода перспективных электромобилей были взяты примерно равными среднесуточным пробегам однотипных современных автомобилей в Москве.

При анализе развития применения электромобилей уже отмечалось, что электромобили в эксплуатации имеют ряд преимуществ перед автомобилями с двигателем внутреннего сгорания. Значительно уменьшаются расходы на ремонт и техническое обслуживание, облегчается труд водителей, уменьшаются расходы на эксплуатационные материалы и т. д.

С учетом всех этих преимуществ были определены необходимые для обеспечения перспективных параметров электромобилей параметры аккумуляторной батареи, которые представлены в табл. 11.

Таблица 11

Требуемые параметры аккумуляторной батареи, обеспечивающие широкое применение электромобилей

Грузоподъемность или пассажироместимость	Требуемый удельный вес аккумуляторной батареи, кг/квт·ч, не более	Требуемая удельная стоимость аккумуляторной батареи (при сроке службы 1500 циклов), руб/квт·ч, не более
<i>Грузовые электромобили</i>		
0,25 т	33,6	160,0
0,8 »	36,6	50,0
2,0 »	19,7	20,0
6,0 »	7,6	6,7
<i>Электромобиль-автобус</i>		
60 чел.	3,1	16,5
<i>Легковой электромобиль</i>		
5 чел.	9,2	59,0

Некоторые требуемые значения удельного веса аккумуляторной батареи для перспективных электромобилей, приведенные в табл. 11, намного превышают параметры современных аккумуляторных батарей. Однако теоретически требуемые параметры вполне достижимы. Например, теоретически для свинцово-кислотной аккумуляторной батареи возможно достижение удельного веса порядка 3,9 кг/квт·ч, а для железо-никелевой — 2,1 кг/квт·ч [18].

Еще в начале XX в. на гоночных электромобилях применялись облегченные аккумуляторные батареи, которые позволяли обеспечить электромобилю великолепные по тому времени технические параметры. Напомним, что еще в начале XX в. электромобили первыми преодолели рубеж скорости в 60 и 100 км/ч. И в настоящее время имеются аккумуляторные батареи, которые в 3,5—4,5 раза легче обычно применяемых на электромобилях тяговых аккумуляторных батарей. Кроме того, применение такого чисто организационного мероприятия, как однократная смена аккумуляторной батареи в течение рабочего дня, эквивалентно уменьшению веса батареи в 2 раза.

Таким образом, уже давно известны методы значительного уменьшения веса аккумуляторных батарей электромобиля. Однако на практике все эти меры не нашли широкого применения. Это говорит о том, что одно уменьшение веса аккумуляторной батареи не может обеспечить расширения сферы эффективного применения электромобилей. Для этого необходимо, чтобы стоимостные параметры аккумуляторной батареи (удельная стоимость в руб/квт·ч, срок службы в циклах) обеспечивали электромобилю величину приведенных затрат не выше таковой для однотипного автомобиля. Определенные с учетом этого условия требуемые стоимостные параметры аккумуляторной батареи также представлены в табл. 11.

Рассмотрение данных табл. 11 показывает, что аккумуляторные электромобили в первую очередь должны найти применение в виде грузовых автомобилей малой грузоподъемности. По мере улучшения весовых и стоимостных параметров аккумуляторных батарей будет возможно расширение сфер эффективного применения аккумуляторных электромобилей в сторону большей

грузоподъемности и делает возможным применение легковых электромобилей и электромобилей-автобусов.

Приведенные выше значения требуемых параметров аккумуляторной батареи были получены исходя из определенных значений среднесуточного пробега, характерных для Москвы. Несомненно, что планировка города, его размеры, рельеф местности и т. д. сказываются на величине среднесуточного пробега автомобиля. Поэтому определенный интерес представляет изучение характера изменения требований к аккумуляторной батарее электромобиля от среднесуточного пробега.

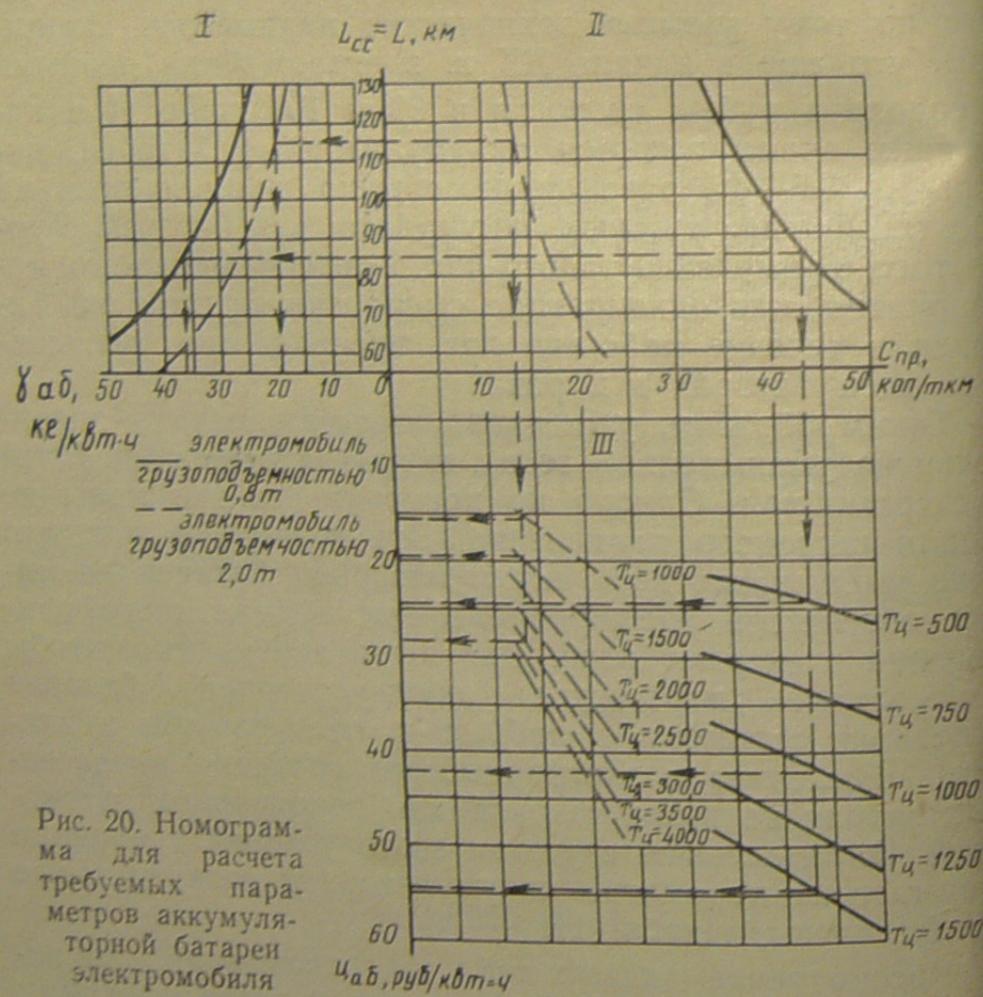


Рис. 20. Номограмма для расчета требуемых параметров аккумуляторной батареи электромобиля

На рис. 20 представлена номограмма, показывающая характер изменения требуемых параметров аккумуляторных батарей электромобилей грузоподъемностью 0,8 и 2,0 т при изменении их среднесуточных про-

бегов (и в этом случае среднее эксплуатационное значение L берется равным среднесуточному пробегу L_{cc}). Номограмма состоит из отдельных графиков.

График I представляет собой зависимость требуемого удельного веса аккумуляторной батареи $\gamma_{аб}$ от величины среднесуточного пробега.

График II представляет собой зависимость величины приведенных затрат $C_{пр}$ современных автомобильных транспортных средств от их среднесуточного пробега L_{cc} . Подразумевается, что однотипный электромобиль должен иметь приведенные затраты не больше, чем они есть у современных автомобилей.

График III позволяет определить необходимую удельную стоимость аккумуляторной батареи на 1 кВт·ч запасаемой энергии $\zeta_{аб}$ в зависимости от срока службы аккумуляторов (или наоборот: определить необходимый срок службы исходя из стоимости) при условии обеспечения требуемой величины приведенных затрат при различных значениях среднесуточного пробега.

В качестве примера для электромобиля грузоподъемностью 0,8 т по номограмме находим (для обеспечения среднесуточного пробега 85 км):

Удельный вес аккумуляторной батареи	36,5 кг/кВт·ч
Приведенные затраты	43,0 коп/ткм
Удельная стоимость аккумуляторной батареи при сроке службы:	
500 циклов	25,0 руб/кВт·ч
1000 »	42,0 »
1500 »	54,0 »

В настоящее время в нашей стране применяется автомобиль УАЗ-451, имеющий грузоподъемность 0,8 т. На номограмме (см. рис. 20) дается изменение приведенных затрат от среднесуточного пробега для этого автомобиля. Однако автомобиль УАЗ-451 имеет низкие технико-экономические параметры. Поэтому при определении перспективных требуемых параметров аккумуляторной батареи (см. табл. 11) ориентировались на автомобиль с более прогрессивными параметрами (с меньшим полным весом, с меньшей мощностью двигателя и т. д.), что и объясняет расхождение данных по удельной стоимости аккумуляторной батареи для электромобиля грузоподъемностью 0,8 т по номограмме и по табл. 11.

Для электромобиля грузоподъемностью 2,0 т по номограмме находим (для обеспечения среднесуточного пробега 115 км):

Удельный вес аккумуляторной батареи	20,0 кг/квт·ч
Приведенные затраты	14,0 коп/ткм
Удельная стоимость аккумуляторной батареи при сроке службы:	
1000 циклов	15,0 руб/квт·ч
1500 »	20,0 »
3000 »	29,0 »

Анализ характера полученных зависимостей, изображенных на номограмме (см. рис. 20), показывает, что улучшение весовых параметров аккумуляторной батареи, ведущее к увеличению запаса хода электромобиля, должно сопровождаться также уменьшением удельной стоимости аккумуляторной батареи (при том же сроке службы), что выражается наклоном линий равного срока службы.

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Приведенные выше параметры современных аккумуляторных батарей еще не позволяют однозначно определить целесообразность их применения на электромобиле.

Выбор наиболее целесообразного типа батарей для электромобиля может быть произведен с помощью метода, описанного в работах Ю. М. Галкина [3, 4], в котором в качестве критерия для сравнения различных типов аккумуляторных батарей используется полная стоимость электроэнергии, складывающаяся из амортизационных отчислений на аккумуляторную батарею и стоимости электроэнергии в расчете на 1 ткм полезной работы.

Результаты проведенного расчета полной стоимости электроэнергии на 1 ткм представлены на рис. 21. Стоимость свинцовых намазных и железо-никелевых ламельных аккумуляторных батарей (в расчете на 1 квт·ч емкости) была взята по прейскуранту оптовых цен на аккумуляторные батареи, а для новых типов батарей стоимость была взята в соответствии с данными, приведенными выше (см. табл. 8, 9). Стоимость электроэнергии была взята по существующему тарифу

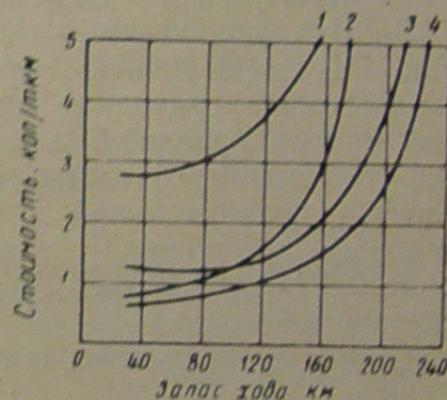
на электрическую энергию для городского электротранспорта в Москве, т. е. 1,2 коп. за 1 квт·ч.

При выбранном масштабе на поле графика не помещаются кривые, характеризующие серебряно-цинковые и никель-цинковые аккумуляторные батареи, ввиду чрезмерно большой полной стоимости электроэнергии для этих типов батарей.

Из рис. 21 следует, что выгоднее всего применять щелочные железо-никелевые аккумуляторные батареи со смешанным типом пластин, хотя их стоимость была

Рис. 21. Зависимость полной стоимости электроэнергии от запаса хода для различных типов аккумуляторных батарей:

1 — свинцовые намазные; 2 — железо-никелевые ламельные; 3 — свинцовые панцирные; 4 — железо-никелевые со смешанным типом пластин



принята на 40% выше стоимости ламельных железо-никелевых батарей. Необходимо также отметить, что современные свинцовые панцирные аккумуляторные батареи имеют несомненное преимущество перед применявшимися ранее на электромобилях свинцовыми намазными батареями. Однако в условиях Советского Союза применение панцирных аккумуляторных батарей на электромобилях невыгодно по сравнению даже с железо-никелевыми ламельными батареями (при запасе хода вплоть до 95 км). Преимущественное применение свинцовых аккумуляторных батарей на электромобилях за рубежом объясняется тем, что в Англии, Франции, США и ФРГ их стоимость примерно в два раза меньше стоимости щелочных железо-никелевых аккумуляторных батарей. В Советском Союзе стоимость свинцовых и железо-никелевых аккумуляторных батарей одинакова. Поэтому в СССР в настоящее время более перспективными для применения на электромобиле являются железо-никелевые аккумуляторные батареи со смешанным типом пластин. Эти батареи могут

иметь следующие параметры: удельный вес 32—36 кг/квт·ч, срок службы 1000—1500 циклов и удельная стоимость порядка 43—47 руб/квт·ч.

Сравнение названных параметров с требуемыми параметрами для различных типов перспективных электромобилей (см. табл. 11) показывает, что в настоящее время аккумуляторные электромобили могут найти довольно широкое применение лишь в виде грузовых автомобилей грузоподъемностью примерно 1,0 т и менее.

В настоящее время в нашей стране вместо однотонного автомобиля широко применяется автомобиль УАЗ-451 грузоподъемностью 0,8 т. Однако автомобиль УАЗ-451 имеет низкие технико-экономические параметры. Поэтому сравнение перспективного электромобиля необходимо производить с автомобилем, имеющим более современные параметры. Результаты проведенного расчета сравнительной технико-экономической эффективности применения электромобилей грузоподъемностью 0,8 т, автомобиля УАЗ-451 и автомобиля такой же грузоподъемностью, но с более прогрессивными параметрами, представлены в табл. 12.

Таблица 12

Сравнение технико-экономической эффективности применения электромобилей и автомобилей грузоподъемностью 0,8 т

Параметры	Автомобиль		Электро-мобиль
	УАЗ-451	перспективный	
Грузоподъемность, т	0,8	0,8	0,8
Полный вес, кг	2380	1800	2100
Вес аккумуляторной батареи, кг	—	—	600
Запас хода, км	510	250	90
Максимальная скорость движения, км/ч	95	80	75
Среднегодовая производительность, тыс. ткм	5,25	5,25	5,25
Приведенные затраты, коп/ткм	42,98	36,98	36,63

Таким образом, как следует из данных табл. 12, аккумуляторные электромобили при достигнутых в настоящее время параметрах аккумуляторных батарей

(удельный вес 32—36 кг/квт·ч, срок службы 1000—1500 циклов, стоимость на 1 квт·ч порядка 40—45 руб.) экономически эффективны для применения на городских перевозках взамен грузовых автомобилей с карбюраторным двигателем грузоподъемностью примерно до 1,0 т.

Чтобы выяснить, насколько широко могут применяться в настоящее время аккумуляторные электромобили грузоподъемностью до 1,0 т, рассмотрим данные по обследованию фактических суточных пробегов грузовых автомобилей грузоподъемностью 0,25 и 0,8 т.

Обследование проводилось для автомобилей «Москвич-430» (0,25 т) и УАЗ-450, УАЗ-451 (0,8 т) автобазы № 3 Управления торгового транспорта Главмосавто-транса. Результаты обработки, взятых по путевым листам данных, представлены в табл. 13 и 14.

Таблица 13

Распределение фактических суточных пробегов автомобилей грузоподъемностью 0,25 т («Москвич-430»)

Пробег автомобилей, км	Количество автомобилей, %	Нарастающий итдг, %
до 49	7,8	7,8
50—64	13,0	20,8
65—74	14,1	34,9
75—84	12,0	46,9
85—94	10,9	57,8
95—104	9,9	67,7
105—119	13,5	81,2
120 и выше	18,8	100,0

Возможные технико-экономические параметры электромобиля грузоподъемностью 0,8 т на современном уровне науки и техники представлены в табл. 12. Средний эксплуатационный запас хода электромобиля составляет примерно 85 км. Сопоставление этих данных с данными табл. 14 показывает, что в настоящее время электромобили грузоподъемностью 0,8 т, имеющие средний эксплуатационный запас хода 85 км, могут составлять около 65% всех автомобилей этой грузоподъемности.

На современном уровне развития науки и техники электромобиль грузоподъемностью 0,25 т может иметь

Распределение фактических суточных пробегов автомобилей грузоподъемностью 0,8 т (УАЗ-450, УАЗ-451)

Пробег автомобилей, км	Количество автомобилей %	Нарастающий итог %
до 49	18,0	18,0
50—64	18,0	36,0
65—74	11,5	47,5
75—84	18,0	65,5
85—94	8,7	74,2
95—104	7,7	81,9
105—119	5,5	87,4
120 и выше	12,6	100,0

следующие параметры: средний эксплуатационный запас хода около 85 км, максимальная скорость движения — 80 км/ч, полный вес — 1400 кг, вес аккумуляторной батареи — 370 кг. Применение таких электромобилей на перевозках, на которых суточный пробег менее 85 км, экономически более выгодно, чем однотипных современных автомобилей. Сопоставление возможных параметров электромобиля грузоподъемностью 0,25 т с данными табл. 13 показывает, что такие электромобили могут составлять около 47% всех автомобилей этой грузоподъемности.

Проведенное обследование фактических суточных пробегов автомобилей грузоподъемностью 2,0 т и 6,0 т показало, что при достигнутых параметрах аккумуляторных батарей электромобили такой грузоподъемности могут найти лишь очень ограниченное применение.

Применение электромобилей в качестве легкового такси и автобуса практически исключается.

Электромобили могут найти некоторое применение в качестве легковых автомобилей индивидуального пользования. Однако этому мешает субъективный фактор, поскольку если владелец имеет один автомобиль, то он предпочитает иметь именно автомобиль, как более универсальную машину, а не электромобиль, обладающий ограниченным запасом хода.

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

СОВРЕМЕННЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Топливные элементы представляют собой химический источник тока, в котором в качестве активного материала отрицательного электрода используется либо природное топливо (например, уголь, нефть), либо вещество, которое легко может быть получено из природного топлива (водород, окись углерода, генераторный газ и т. д.). Активным материалом положительного электрода служит чистый кислород, находящийся в баллоне, или кислород из воздуха. Общая токообразующая реакция сводится к окислению топлива, т. е. аналогична обычной реакции горения топлива в тепловых машинах. Однако в отличие от тепловой машины в топливных элементах окисление топлива и восстановление кислорода происходит электрохимическим путем на разных электродах и энергия реакции выделяется непосредственно в виде электрической энергии.

Первые попытки создания топливных элементов относятся еще к первой половине XIX в. Однако вплоть до 40-х годов XX в. не были созданы удовлетворительно работающие топливные элементы. Лишь в 30-х и 40-х годах текущего столетия были достигнуты определенные успехи.

При этом большое значение имели работы наших соотечественников П. М. Спиридонова и О. К. Давтяна, которыми впервые были созданы макеты топливных элементов, работавшие с приемлемыми электрическими характеристиками.

После 1946 г. исследования в области топливных элементов проводятся в большом количестве в разных странах.

Разработанные топливные элементы подразделяются на три группы: низкотемпературные, среднетемпературные и высокотемпературные.

В высокотемпературном топливном элементе температура достигает 550—750°С. В качестве электролита используются расплавленные соли. В качестве перспек-

тивного топлива здесь может считаться природный газ и даже уголь. Однако при высокой температуре возникают такие сложные проблемы, как проблема коррозии, уплотнений, термической усталости и длительности времени пуска. Ввиду сложности перечисленных проблем нельзя ожидать, что в ближайшем будущем высокотемпературный топливный элемент будет доведен до такого совершенства, когда о нем можно будет говорить как о перспективном источнике энергии для автомобиля. В настоящее время высокотемпературных топливных элементов практически нет.

Применение некоторых катализаторов позволяет снизить температуру элемента до 200°C и получить так называемый среднетемпературный топливный элемент. Электролитом в этом случае служит щелочная или кислотная паста, находящаяся под давлением до 40 кг/см^2 . Имеются также среднетемпературные элементы, работающие при обычном давлении. Здесь также возможно использование углеводородного топлива. Однако проблемы высокого давления, температуры и коррозии в среднетемпературном топливном элементе также требуют своего практического разрешения. Кроме того, катализаторы, ускоряющие реакцию окисления углеводородного топлива, склонны к полимеризации этого топлива, ведущей к блокированию электродов тяжелыми углеводородами типа смол. Поэтому можно предположить, что в ближайшие годы, пока не будут решены все вопросы, связанные с созданием надежного среднетемпературного топливного элемента, говорить о применении этого элемента на автомобильном транспорте не придется.

Низкотемпературные элементы работают при температурах до 100°C . Электролитом в них служат водные растворы щелочей или кислот либо ионообменные мембраны. К настоящему времени лучше всего разработаны низкотемпературные топливные элементы низкого давления, в которых используется водород в качестве топлива и кислород в качестве окислителя.

На рис. 22 дана принципиальная схема водородно-кислородного элемента. В корпусе из изолирующего материала установлены два высокопористых электрода. Между электродами находится электролит, в данном случае водный раствор щелочи. С сухой стороны элект-

родов подаются водород и кислород под небольшим избыточным давлением, уравнивающим капиллярное натяжение щелочи в порах электродов. Водород, подаваемый к аноду, в присутствии катализаторов вступает во взаимодействие с ионами гидроксидов (OH^-), в результате чего образуется вода и освобождаются электроны (e^-), направляющиеся во внешнюю цепь. Эти электроны производят работу на пути к катоду, где они вместе с кислородом и водой участвуют в катодной реакции, в результате чего образуются ионы гидроксидов, которые замыкают цепь, проходя через электролит к аноду.

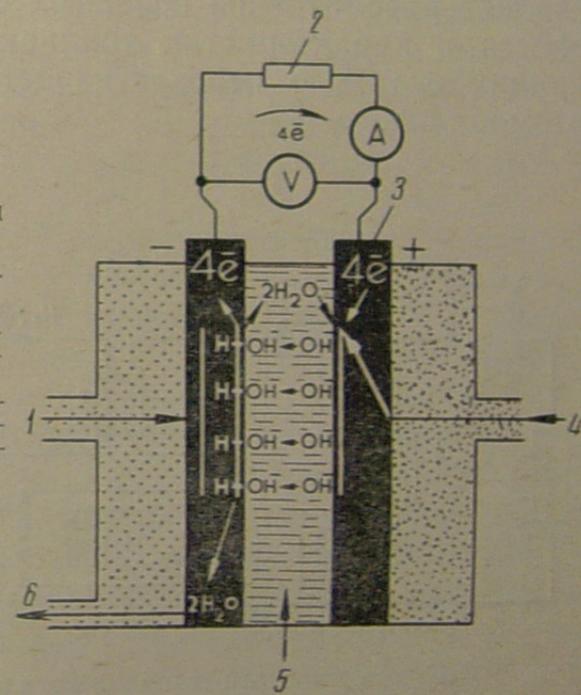


Рис. 22. Принципиальная схема водородно-кислородного топливного элемента:

1 — подвод топлива водорода; 2 — сопротивление нагрузки; 3 — пористые электроды; 4 — подвод окислителя кислорода; 5 — электролит раствор едкого калия; 6 — вода

Очевидно, что для подачи топлива и окислителя и для удаления образующейся в результате реакции воды необходимо вспомогательное оборудование. На рис. 23 показана примерная схема агрегата топливных элементов с необходимым вспомогательным оборудованием (для простоты отдельные газовые магистрали для H_2 и O_2 показаны одной линией).

Типы и конструкции водородно-кислородных топливных элементов, разрабатываемых за последние 5—6 лет, весьма разнообразны, причем целый ряд разновидностей этих элементов еще не воплощен в реально действующие образцы, а носит вид принципиальных идей или схем.

основывающихся на результатах лабораторных опытов небольшого масштаба. Невозможно учесть все технические и технологические трудности, которые встанут на пути практической реализации этих принципов; не всегда можно определить, в какой степени преодоление этих трудностей повлечет за собой снижение основных технических и экономических показателей таких топливных элементов. Поэтому рассмотрение различных конструкций топливных элементов в небольшой по объему книге, предназначенной для работников автомобильного транспорта, является преждевременным. В настоящее время практический интерес для транспортников представляет рассмотрение основных общих для всех типов свойств и характеристик топливных элементов, позволяющих судить о перспективности их применения на автомобилях.

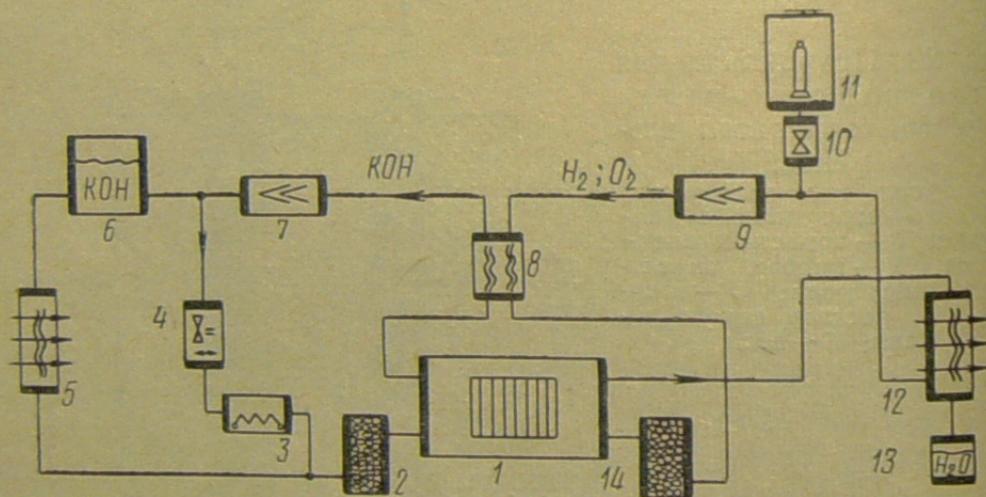


Рис. 23. Схема агрегата топливных элементов с необходимым вспомогательным оборудованием:

1 — топливный элемент; 2 — фильтр щелочи; 3 — подогрев щелочи; 4 — переключательный клапан; 5 — радиатор для щелочи; 6 — выравнивающий резервуар; 7 — насос для щелочи; 8 — теплообменник; 9 — газовый насос; 10 — редукционный клапан; 11 — газовые баллоны; 12 — конденсатор; 13 — резервуар для воды; 14 — газовый фильтр

Основными характеристиками батареи топливных элементов, определяющими перспективы их применения на автомобилях, являются: вид применяемого топлива и окислителя, вес и объем на единицу мощности, коэффициент полезного действия, срок службы и стоимость на единицу мощности.

Вид применяемого топлива. В топливных элементах в принципе может использоваться любое топливо. Од-

нако возможность создания практически работоспособного топливного элемента в значительной мере определяется легкостью электрохимического окисления топлива. По этому признаку возможные виды топлива могут быть представлены в следующей последовательности: водород, гидразин, аммиак, метанол, углеводородные топлива (бензин, дизельное топливо, природный газ и т. д.).

В последние годы разрабатываются следующие типы топливных элементов: водородно-кислородные, спирто-кислородные, на углеводородных газах и жидких нефтепродуктах. К настоящему времени наиболее изученным является водородно-кислородный топливный элемент, который является единственным типом топливных элементов, воплощенным в реально действующие образцы. Элементы спиртовые и на углеводородном топливе пока еще находятся в стадии разработок опытных образцов.

Вид окислителя. В топливных элементах в качестве окислителя используется кислород. Однако существуют два пути снабжения топливного элемента кислородом. Первый — использование кислорода из атмосферного воздуха. Второй — использование чистого кислорода, запас которого хранится в специальных баллонах.

Разработанные водородно-кислородные топливные элементы могут продолжительное время устойчиво работать лишь с использованием чистого кислорода.

Вес и объем на единицу мощности. В автомобильном двигателе внутреннего сгорания мощность соответствует высшей точке его характеристики; это максимальная мощность, которую вообще может развивать данный двигатель. Понятие мощности электрических машин (двигателей и генераторов) не столь определено. Например, для электродвигателей различают: продолжительную мощность, кратковременную (часовую, двухчасовую, тридцатиминутную и т. п.) и мощность предельную при коротких перегрузках. Электрические машины для различных случаев применения имеют критерии, определяющие номинальный режим, например нагрев, скорость вращения и т. д. Соответственно режиму работы электрическую машину характеризуют различной мощностью. Например, тяговые электродвигатели электромобилей обычно характеризуются часо-

Улучшение весовых и объемных параметров батарей топливных элементов

Год	Элемент	Удельный вес батареи, кг/квт	Удельный объем ¹ , м ³ /квт
1963	H ₂ —O ₂	80	0,4
1965	H ₂ —воздуха	35	0,25
1965	H ₂ —O ₂	18	0,125
1965	H ₂ —O ₂	14	0,09

¹ В табл. 15 вес и объем батареи приведены без учета баллонов с топливом, но с учетом вспомогательного оборудования.

вой мощностью. Для топливных элементов не только в случае их применения на электромобиле, но и для любого другого случая критерии номинальной рабочей точки еще не определились. Поэтому удельный вес (кг/квт) топливных элементов дается для разных режимов нагрузки, которая характеризуется плотностью тока на единицу поверхности электродов (ма/см²).

На рис. 24 дана зависимость выходной мощности батареи топливных элементов от плотности тока. Этот

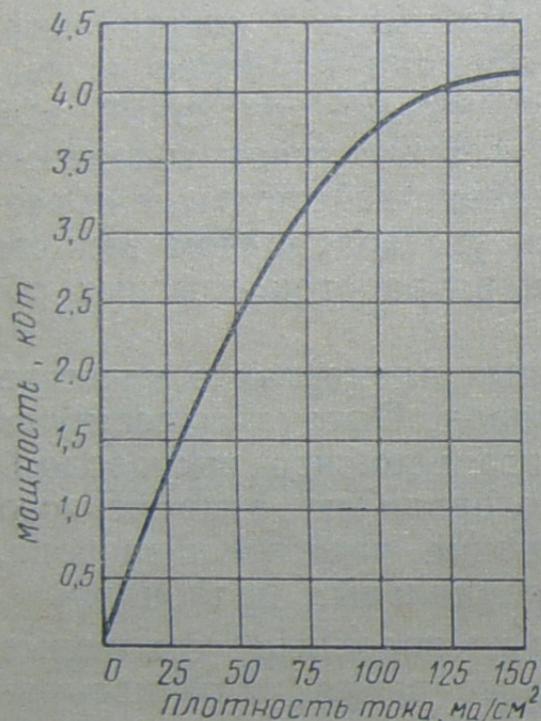


Рис. 24. Зависимость мощности батареи топливных элементов от плотности тока

график характеризует батарею топливных элементов с «номинальной» выходной мощностью 2,5 квт, что соответствует плотности тока около 50 ма/см² (данные относятся к высокотемпературной батарее топливных элементов, разрабатываемой английской фирмой Shell.) Как видно из рисунка, мощность батареи может быть кратковременно повышена примерно на 60% (до 4,0 квт). Большинство значений удельного веса батарей топливных элементов, приведенных в литературе, также относится к режимам работы, когда развиваемая мощность меньше максимальной на 30—60%.

Весовые и объемные параметры батарей топливных элементов быстро улучшаются (табл. 15, составленная по данным Кардеша [19]). В настоящее время удельный вес водородно-кислородных топливных элементов равен 15—20 кг/квт, а в скором времени можно ожидать, что он будет снижен до нескольких килограммов на 1 квт (по различным данным до 2—5 кг/квт). Для сравнения можно сказать, что удельный вес современных автомобильных двигателей внутреннего сгорания равен 2—6 кг/квт.

Коэффициент полезного действия (к. п. д.) топливного элемента определяется отношением вырабатываемой

электрической энергии к изменению свободной энергии. В первом приближении к. п. д. измеряется отношением действительного напряжения элемента к теоретическому значению э. д. с. Однако для сравнения с двигателем внутреннего сгорания используется к. п. д., определяемый отношением выработанной электрической энергии к теплотворной способности топлива. Для спиртов и углеводородов разница между к. п. д., основанным на свободной энергии, и к. п. д., основанным на теплотворной способности, невелика (около 5%).

Коэффициент полезного действия топливного элемента меняется от нагрузки. На рис. 25 показана зависимость к. п. д. одного из топливных элементов фирмы Shell от плотности тока. Такой же характер зависимости к. п. д. от нагрузки имеют все топливные элементы. Необходимо отметить, что в отличие от двигателей внутреннего сгорания к. п. д. топливного элемента возрастает с уменьшением нагрузки.

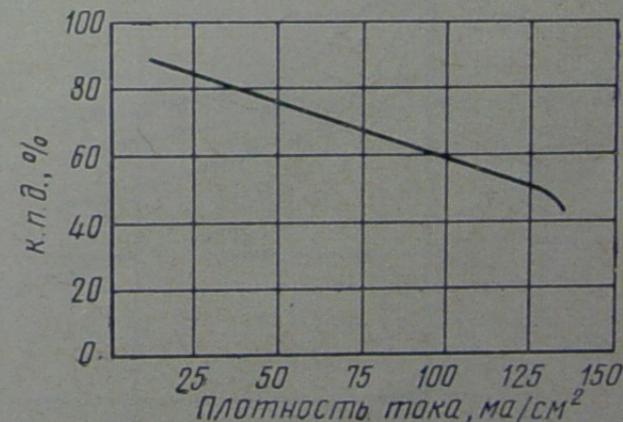


Рис. 25. Зависимость к. п. д. батареи топливных элементов от плотности тока

Согласно общему положению электротехники генератор отдает свою максимальную мощность, когда сопротивление нагрузки снижает напряжение на клеммах элемента до 50% от значения э. д. с., т. е. при максимальной мощности к. п. д. топливного элемента примерно в 2 раза меньше, чем при малой нагрузке. В настоящее время при «номинальной» нагрузке к. п. д.

Таблица 16
Э. д. с. топливных элементов

Реакция	Э. д. с., в
$C + O_2 = CO_2$	1,02
$2C + O_2 = 2CO$	0,70
$2CO + O_2 = 2CO_2$	1,33
$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$	1,04
$2H_2 + O_2 = 2H_2O$	1,18

топливных элементов обычно составляет 60—70%, а при максимальной нагрузке — не более 40%. Для большинства применяемых в настоящее время топлив в топливных элементах э. д. с. равна примерно 1 в (табл. 16). При нагрузке напряже-

ние топливных элементов уменьшается. В этом топливные элементы очень похожи на обычные аккумуляторы.

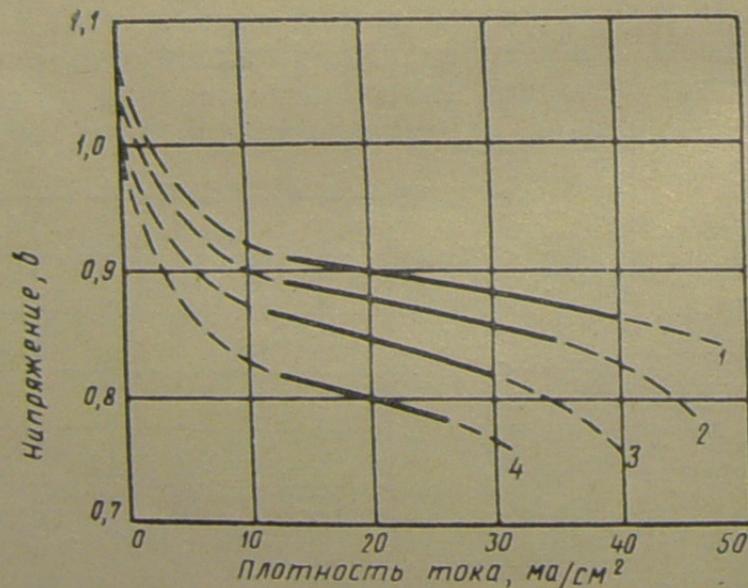


Рис. 26. Вольт-амперные характеристики топливных элементов: 1 — элемент при 60° С (электрод O_2-H_2), атмосферное давление; 2 — элемент при 25° С (электрод O_2-H_2), атмосферное давление; 3 — элемент при 25° С (электрод воздух- H_2), атмосферное давление; 4 — элемент при 25° С (электрод O_2-H_2), давление 100 мм рт. ст.

В качестве примера на рис. 26 показаны вольт-амперные характеристики топливных элементов фирмы Union Carbide Co.

Срок службы. По сроку службы топливных элементов в настоящее время имеются лишь отдельные сообщения. Согласно этим сообщениям срок службы опытных образцов водородно-кислородных топливных элементов уже в настоящее время достиг 2—3 тыс. ч, что сопоставимо со сроком службы автомобильных карбюраторных двигателей внутреннего сгорания. Ввиду отсутствия сильно нагруженных движущихся частей, срок службы топливных элементов может быть значительно больше срока службы автомобильных двигателей внутреннего сгорания. В настоящее время ведутся работы по увеличению срока службы топливных элементов до 7 тыс. ч.

Стоимость на единицу мощности. Достоверных данных о стоимости топливных элементов пока нет. В перспективе согласно литературным данным [17] стоимость топливных элементов, отнесенная на единицу мощности, должна быть на уровне стоимости современных автомобильных дизельных двигателей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Принципиальная схема перспективного автомобиля, точнее электроавтомобиля на топливных элементах, представлена на рис. 27. Как видно из этого рисунка, электроавтомобиль на топливных элементах имеет много общего с аккумуляторным электроавтомобилем. В частности, общая компоновка автомобиля, тяговый электродвигатель, привод к колесам и т. п. могут быть для обоих типов электроавтомобилей одинаковыми. Разница между ними заключается в замене аккумуляторной батареи батареей топливных элементов с соответствующим вспомогательным оборудованием и запасом топлива.

В 1960 г. в автомобильной технической литературе появилось сообщение о постройке фирмой Allis-Chalmers (США) опытного образца колесного трактора на топливных элементах с мощностью силовой установки в 15 кВт. В сообщениях указывалось, что топливом для элементов служит пропан. В последующем оказалось, что в действительности на этом тракторе в качестве топлива использовался не пропан, а водород. Однако важен был самый факт появления опытного образца трак-

тора на топливных элементах, т. е. колесной машины, близкой по ряду параметров к автомобилю.

В последующем в зарубежной периодической печати стали все чаще появляться как отдельные заметки, так и большие статьи по вопросу перспективности применения электромобилей на топливных элементах. В 1966 г. появились сообщения о постройке той же фирмой Allis—Chalmers опытного образца небольшого трехколесного легкового электромобиля с мощностью батареи топливных элементов 3 квт.

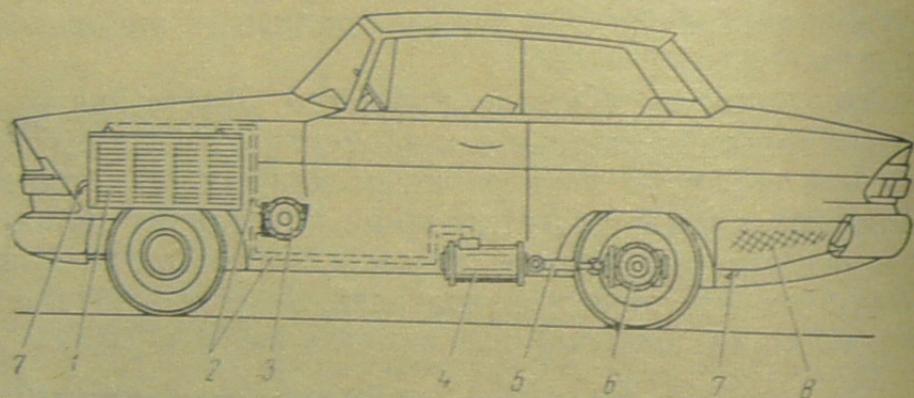


Рис. 27. Схема электромобиля на топливных элементах:

1 — батарея топливных элементов; 2 — силовая электропроводка; 3 — система регулирования тягового электродвигателя; 4 — тяговый электродвигатель; 5 — карданный вал; 6 — задний мост; 7 — топливный трубопровод; 8 — топливный бак

Чем же вызвано такое большое внимание к возможности применения топливных элементов на автомобилях?

Объясняется это тем, что применение топливных элементов позволяет устранить недостатки современных аккумуляторных электромобилей и прежде всего значительно увеличить запас хода электромобиля. Дело в том, что между топливными элементами и аккумуляторами существует принципиальное различие, которое заключается в следующем: в аккумуляторе энергия, которая может быть от него получена, запасается в нем самом, в то время как топливный элемент является преобразователем энергии, и в этом отношении он аналогичен автомобильному двигателю внутреннего сгорания. Как и в последних, основой топливного элемента является устройство, в котором происходит реакция окисления. Активные вещества (топливо и окислитель) хра-

нятся отдельно и подводятся к электродам элемента постепенно, по мере необходимости. Так как в большинстве случаев активные вещества представляют собой газы или жидкости, такой постепенный подвод является очень удобным и позволяет элементу работать как угодно долго пока подвод активных материалов не прекратится.

Вес силовой установки электромобиля на топливных элементах с учетом необходимого запаса топлива $G_{б.т.э}$ может быть в первом приближении определен по формуле

$$G_{б.т.э} = N \gamma_{т.э} + A \gamma_{т}, \text{ кг}, \quad (9)$$

где N — мощность батареи топливных элементов, квт;

$\gamma_{т.э}$ — удельный вес батареи топливных элементов, кг/квт;

A — количество энергии, необходимое для движения электромобиля, квт·ч;

$\gamma_{т}$ — удельный расход топлива на единицу вырабатываемой энергии, кг/квт·ч.

Для сравнения вес аккумуляторной батареи однотипного электромобиля $G_{а.б}$ будет равен:

$$G_{а.б} = A \gamma_{а.б}, \text{ кг}, \quad (10)$$

где $\gamma_{а.б}$ — удельный вес аккумуляторной батареи, кг/квт·ч.

Если сделать допущение, что мощность, потребная для движения электромобиля, равна номинальной мощности батареи топливных элементов, тогда количество энергии, необходимое для движения электромобиля, может быть определено по уравнению

$$A = Nt \text{ квт·ч}, \quad (11)$$

где t — время движения электромобиля, ч.

Произведя подстановку в формулы (9) и (10), получим:

$$\frac{G_{б.т.э}}{G_{а.б}} = \frac{\gamma_{т.э} + t \gamma_{т}}{t \gamma_{а.б}}, \quad (12)$$

Таким образом, отношение веса батареи топливных элементов и аккумуляторной батареи для однотипных электромобилей зависит только от времени движения, удельных показателей химических источников тока и

удельного расхода топлива. При постоянных значениях удельных показателей химических источников тока при определенном значении времени имеет место равенство веса батареи топливных элементов и аккумуляторной батареи. Время движения электромобиля при постоянной скорости движения v прямо пропорционально запасу хода. Поэтому при определенном значении запаса хода оба типа химических источников тока имеют одинаковый вес. При других значениях запаса хода тот или иной источник тока имеет преимущество в отношении веса.

Для иллюстрации этого положения на рис. 28 представлена зависимость веса на единицу мощности силовой установки различных источников энергии автомобиля от запаса хода:

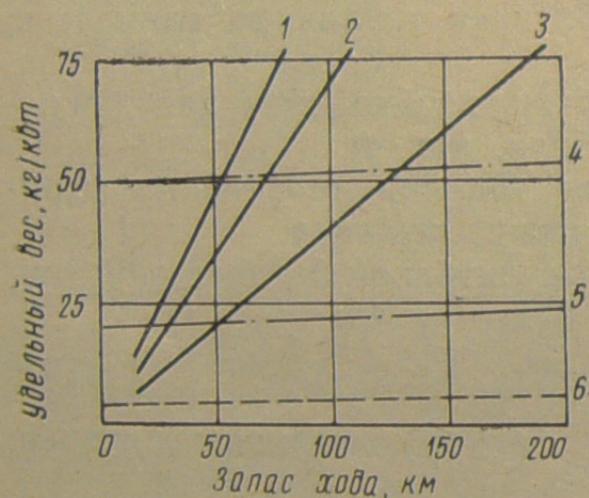


Рис. 28. Зависимость веса на единицу мощности силовой установки различных источников энергии автомобиля от запаса хода:

1 — при удельном весе аккумуляторов 47 кг/кВт·ч; 2 — при удельном весе аккумуляторов 35 кг/кВт·ч; 3 — при удельном весе аккумуляторов 20 кг/кВт·ч; 4 — при удельном весе топливных элементов 50 кг/кВт; 5 — при удельном весе топливных элементов 20 кг/кВт; 6 — при удельном весе двигателя внутреннего сгорания 4 кг/кВт

бия от запаса хода. В расчет были заложены следующие исходные данные:

$$\gamma_{т.э} = 20 \text{ и } 50 \text{ кг/кВт},$$

$$\gamma_{т} = 1,0 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч (топливо-метанол),}$$

$$\gamma_{а.б} = 20, 35 \text{ и } 47 \text{ кг/кВт}\cdot\text{ч}, \quad v = 50 \text{ км/ч.}$$

На графике откладывался не абсолютный вес источника энергии автомобиля, а вес, приходящийся на единицу мощности кг/кВт силовой установки.

Как видно из рис. 28, при больших запасах хода топливные элементы имеют преимущества в смысле веса перед аккумуляторной батареей. Однако пока батарея топливных элементов в случае ее применения на электромобиле все же значительно тяжелее современных двигателей внутреннего сгорания.

В табл. 17 по данным исследований (США) приведены некоторые параметры топливных элементов в сравнении с автомобильными поршневыми двигателями внутреннего сгорания.

Таблица 17
Сравнение параметров батарей топливных элементов с автомобильными двигателями

Тип силовой установки	Вес, кг на 1 кВт	Стоимость силовой установки на 1 кВт, доллары	к. п. д. %
Водородно-кислородные топливные элементы . . .	15,6	102,0	70
То же, перспективные . . .	6,0	20,4	70
Карбюраторный двигатель легкового автомобиля . . .	1,9	4,1	30
Дизельный двигатель . . .	3,2	16,3	40

Из таблицы видно, что даже в самом оптимальном случае вес и стоимость водородно-кислородного топливного элемента значительно больше, чем современных автомобильных двигателей.

В табл. 18 приведены стоимости разных видов топлив, которые могли бы использоваться в топливных элементах:

Таблица 18
Стоимость различных видов топлива

Топливо	Теплотворная способность	Стоимость на 1 млн. ккал	
		доллары	% к стоимости бензина
Природный газ	8 900 ккал/м ³	0,873	20
Уголь	6 900 ккал/кг	1,03	24
Сырая нефть	8 700 ккал/л	2,18	50
Дизельное топливо	10 250 ккал/кг	3,05	70
Бензин	10 600 ккал/кг	4,36	100
Водород	2 400 ккал/м ³	14,7	337
Аммиак	4 800 ккал/кг	21,0	481
Метанол	4 800 ккал/кг	19,8	454

Эти данные показывают, что водород является очень дорогим видом топлива. Если также учесть трудности обеспечения надежной герметичности циркуляционных систем газов и электролита, обеспечение взрывобезопасности, большой вес газовых баллонов, применение непосредственно водородно-кислородных топливных элементов для электромобилей не может рассматриваться как перспективное.

Наибольший практический интерес для автомобильного транспорта представляет возможность применения на автомобилях топливных элементов, работающих на дешевом жидком нетоксичном углеродном топливе, использующих в качестве окислителя кислород из атмосферного воздуха и имеющих относительный вес, соизмеримый с весом современных двигателей внутреннего сгорания. Пока еще такие топливные элементы не созданы.

Однако в зарубежной печати регулярно появляются сообщения, позволяющие предположить реальность появления таких топливных элементов, которые могли бы получить практическое применение на автомобилях. В последние десять лет работами над топливными элементами начинают заниматься все большее количество научно-исследовательских организаций и лабораторий крупнейших зарубежных фирм в ряде стран, в том числе широко ведутся такие работы в США, Англии, Японии, Франции, ФРГ, Голландии.

В этих условиях большую актуальность приобретает определение требуемых параметров топливных элементов, которые сделали бы возможным и экономически оправданным их применение на автомобилях.

В иностранной литературе этому вопросу уделяется достаточное внимание. Основные параметры топливных элементов, которые следует рассматривать как перспективные для автомобилей, определялись зарубежными авторами применительно лишь к легковым автомобилям. При этом определялись лишь требуемые весовые параметры. Требуемые стоимостные параметры (стоимость, срок службы) батареи топливных элементов не определялись.

В результате проведенных за рубежом исследований в настоящее время можно считать установленным:

а) для автомобилей наиболее перспективными сле-

дует считать элементы, которые использовали бы дешевое, желательно жидкое, топливо. В этом отношении ближе всего к практическому применению находятся топливные элементы, использующие в качестве топлива метанол (метиловый спирт);

б) перспективный для автомобильного транспорта топливный элемент должен работать на атмосферном воздухе;

в) топливные элементы (углеводородное топливо—воздух) с удельным весом около $45,0 \text{ кг/квт}$ уже могли бы найти некоторое применение на легковых автомобилях в качестве основного источника энергии;

г) массовое применение топливных элементов на легковых автомобилях взамен современных двигателей внутреннего сгорания будет возможно при достижении удельного веса батареи топливных элементов порядка $2-8 \text{ кг/квт}$.

В Институте комплексных транспортных проблем при Госплане СССР была проведена работа по определению параметров топливных элементов, требуемых для автомобильного транспорта. При этом рассматривалась возможность применения топливных элементов на автомобилях различных типов, используемых в городах. Определялись как весовые, так и стоимостные (удельная стоимость, руб/квт ; срок службы) параметры топливных элементов.

Требуемые параметры топливных элементов определялись для двух случаев: углеводородного жидкого топлива типа современных бензинов (теплотворная способность $10\,600 \text{ ккал/кг}$, стоимость $2,7 \text{ коп/кг}$) и метанола (теплотворная способность 4800 ккал/кг , стоимость $5,5 \text{ коп/кг}$). Окислитель в обоих случаях кислород из атмосферного воздуха.

Требуемые основные технико-экономические параметры перспективных электромобилей на топливных элементах были взяты на уровне значений, характерных для перспективных однопальных автомобилей с поршневыми двигателями.

Мощность батареи топливных элементов была взята равной мощности, потребляемой тяговым электродвигателем в часовом режиме работы с условием, что она при кратковременном режиме может быть на 40% больше.

Определенные в результате проведенного исследования требуемые параметры батареи топливных элементов в зависимости от типа автомобиля представлены в табл. 19.

Таблица 19

Требуемые для автомобилей параметры топливных элементов

Грузоподъемность или пассажироместимость	Требуемый удельный вес батареи, топливных элементов, кг/квт, не более	Требуемая удельная стоимость батареи топливных элементов при условии использования топлива типа бензин и сроке службы батареи 3—4 тыс. ч, не более, руб/квт
<i>Грузовые автомобили</i>		
0,25 т	7,4	15,0
0,8 "	12,5	18,5
2,5 "	16,3	22,0
5,0 "	17,5	24,0
<i>Электромобиль-автобус</i>		
60 чел.	10,5	34,0
<i>Легковой электромобиль</i>		
5 чел*	4,5	12,0

* Техничко-экономические параметры рассчитаны были для случая использования электромобиля в качестве такси.

При применении в качестве топлива метанола необходимо уменьшить удельную стоимость батареи топливных элементов в 1,25 раза по сравнению со значениями, приведенными в табл. 19.

Рассматривая полученные значения требуемых параметров батареи топливных элементов для различных типов электромобилей, можно предположить, что электромобили на топливных элементах, вероятно, в первую очередь найдут применение в виде грузовых электромобилей большой грузоподъемности. По мере улучшения весовых и стоимостных параметров батареи топливных элементов сферы эффективного применения электромобилей на топливных элементах будут расши-

ряться в сторону меньшей грузоподъемности, а в дальнейшем сделается возможным применение электромобилей-автобусов и легковых электромобилей.

Сопоставление полученных значений требуемых параметров батареи топливных элементов с уже достигнутыми и перспективными подтверждает актуальность развития работ над электромобилями на топливных элементах.

В 1965 г. английская фирма Shell продемонстрировала батарею топливных элементов мощностью 5 квт, которая работала на метаноле и атмосферном воздухе. При этом в самом топливном элементе окислялся водород, который получался из метанола в отдельном устройстве. В настоящее время считают, что наиболее простым путем применения метанола является предварительная его обработка в конверторе с целью получения чистого водорода. В этом случае используются наиболее изученные и достаточно хорошо отработанные в настоящее время конструкции водородно-кислородных топливных элементов.

Применение непосредственно в топливном элементе топлив типа современных бензинов, содержащих углеводород, выдвигает проблему борьбы с карбонизацией щелочного электролита. Поэтому практически работоспособные топливные элементы, в которых непосредственно используются углеводородные топлива, будут созданы тогда, когда удастся решить вопрос регенерирования электролита, карбонизирующегося при использовании содержащих углеводород топлив. При этом затраты энергии на регенерацию должны составлять лишь небольшую часть мощности элемента. В противном случае необходимо применение кислых электролитов.

Недостатком кислых электролитов, особенно в элементах, работающих при повышенных температурах, является их агрессивность к большинству металлов. Это ограничивает круг конструкционных материалов, пригодных для этих элементов. Тем не менее в настоящее время проводятся большие работы по созданию топливных элементов с кислыми электролитами. В 1966 г. появились сообщения о создании американской фирмой Esso топливного элемента с кислым электроли-

том, работающего непосредственно на метаноле и атмосферном воздухе.

На страницах зарубежной печати в последнее время дискутируется вопрос о перспективах применения топливных элементов с растворимым в электролите жидким топливом. Ожидается, что такие топливные элементы могут быть созданы через 7—10 лет. Топливом в них может быть как метанол, так и жидкие нефтепродукты типа бензинов.

Итак, в настоящее время уже созданы опытные образцы топливных элементов, работающие на метаноле. В самое ближайшее время следует ожидать появления первых опытных образцов топливных элементов, использующих нефтяное топливо типа автомобильных бензинов. Еще в 1966 г. появились очень скупые сообщения об испытании военным министерством США батарей топливных элементов, созданной фирмой «Притт энд Уитни», которая якобы работала на обычном нефтяном топливе.

Таким образом, рассмотрение современного состояния работ по топливным элементам показывает, что уже через 3—6 лет, возможно, будут созданы топливные элементы, работающие на метаноле и атмосферном воздухе и имеющие удельный вес 15—20 кг/квт. Такие топливные элементы смогут быть использованы на некоторых типах электромобилей.

Глава 3

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНО-ЦИНКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

ПАРАМЕТРЫ БАТАРЕИ ВОЗДУШНО-ЦИНКОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

В последние годы во многих странах ведутся интенсивные исследования в области разработки элементов с воздушной деполяризацией.

В элементах воздушной деполяризации в качестве активного вещества положительного электрода используется кислород воздуха. Большинство элементов этого

типа состоит из катода, представляющего собой кислородный электрод (аналогично таковому для топливных элементов), жидкого электролита и металлического анода, изготовляемого из щелочных или щелочно-земельных металлов (натрий, магний, цинк и т. д.). Таким образом, элементы воздушной деполяризации являются своего рода гибридом обычного гальванического элемента и топливных элементов. Поэтому такие элементы иногда называют топливными, иногда (когда предусматривается возможность заряда и повторного использования элемента) их называют аккумуляторами. Однако правильнее в этом случае применять более общий термин «электрохимический генератор», частным случаем которого является обычный топливный элемент и аккумулятор.

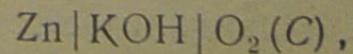
Элементы воздушной деполяризации известны уже давно. К сожалению, до сих пор они получили далеко не такое распространение, какого можно было бы ожидать исходя из их электрических характеристик.

В значительной мере это объясняется трудностью создания высококачественного электрода воздушной деполяризации. Трудности эти были в значительной степени обусловлены малой изученностью механизма его работы, который более подробно исследован только в последние годы. Благодаря достигнутым успехам в этой области интерес к элементам воздушной деполяризации значительно повысился.

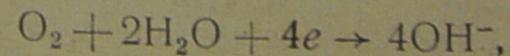
Кроме того, существовавшие до сих пор элементы воздушной деполяризации представляли собой элементы разового использования, что, естественно, сужало области их рационального использования.

В 1965—1966 гг. в печати были опубликованы результаты многолетних исследований, проводимых фирмой General Dynamics Corp совместно с Edison Electric Institute (США), по разработке элементов воздушной деполяризации с цинковым анодом.

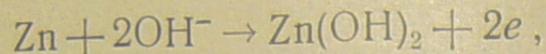
Электрохимическая схема этого элемента



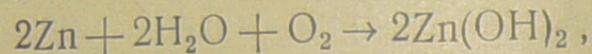
реакция на катоде



реакция на аноде



суммарная токообразующая реакция



Особенностью разработанной фирмой General Dynamics батареи воздушно-цинковых элементов является то, что она по своим эксплуатационным качествам аналогична аккумуляторной батарее, поскольку, когда цинковый электрод будет полностью израсходован, предусматривается не постановка нового, а регенерация полученной окиси цинка. Этот процесс аналогичен таковому при заряде аккумуляторной батареи: к батарее воздушно-цинковых элементов прикладывается напряжение и окись цинка разлагается на цинк и кислород за счет энергии, подводимой от зарядного агрегата. Цинк восстанавливает анодные пластины, а кислород, выделяющийся на катодах, возвращается в атмосферу.

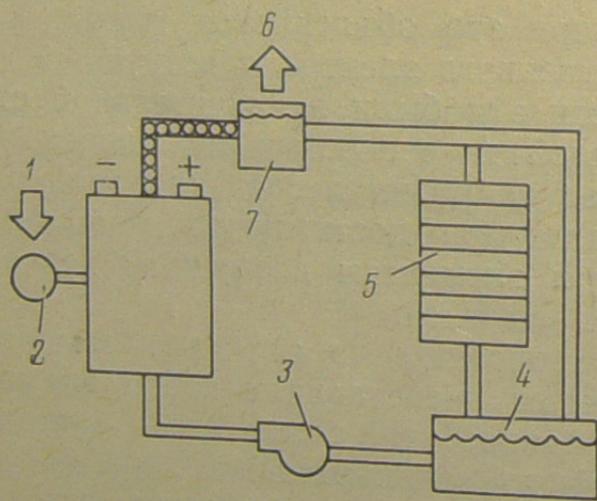


Рис. 29. Схема воздушно-цинкового генератора:

- 1 — подача воздуха;
- 2 — воздушный компрессор;
- 3 — насос для электролита;
- 4 — резервуар для электролита;
- 5 — фильтры;
- 6 — выход избыточного воздуха и азота;
- 7 — воздушный сепаратор.

На рис. 29 показана схема воздушно-цинкового генератора, разработанного фирмой General Dynamics. При работе генератора электролит (раствор едкого кали) постоянно циркулирует через элементы и уносит с собой возникающие при реакции частицы окиси цинка к фильтру, где они и накапливаются.

Накапливание продуктов реакции вне элементов значительно упрощает их конструкцию. В частности, отпадает надобность в устройствах для собирания этих продуктов, аналогичных решеткам пластин свинцовых

аккумуляторов. Благодаря тому, что продукты реакции не оседают на электродах, они не затрудняют электрохимических процессов. Во время заряда воздушно-цинкового генератора окись цинка, находящаяся в фильтровальной секции установки, переносится циркулирующим электролитом обратно в элементы, где она разлагается на цинк и кислород за счет электрической энергии.

Так как запас активного вещества положительного электрода—кислорода окружающего воздуха—практически не ограничен и не влияет на вес установки, то поэтому, несмотря на значительное количество дополнительного оборудования, необходимого для работы разработанной фирмой General Dynamics батареи воздушно-цинковых генераторов (насосов для циркуляции электролита и воздуха, фильтра для отделения окиси цинка, бака для электролита, газового сепаратора), удельный вес этой батареи в практическом исполнении может составлять 7,7—9,1 кг/квт·ч, т. е. будет в 4—5 раз меньше удельного веса современных свинцовых тяговых аккумуляторных батарей. Сравнительные данные по объему и весу батареи воздушно-цинковых генераторов и существующих аккумуляторных батарей приведены в табл. 20. (Данные, относящиеся к воздушно-цинковому генератору, рассчитаны General Dynamics с учетом дополнительного оборудования).

Поскольку большой вес современных химических источников тока является одним из факторов, ограничивающих применение электромобилей, то сообщение о создании батареи воздушно-цинковых генераторов со значительно меньшим удельным весом (кг/квт·ч), чем у современных аккумуляторов, вызвало большой интерес у автомобилестроителей.

Представители фирмы General Dynamics также считают, что разработанный ими воздушно-цинковый генератор найдет широкое применение на транспорте, особенно на автомобильном. В 1966 г. эта фирма была намерена построить образец батареи воздушно-цинковых генераторов на 28 квт·ч, с тем чтобы потом построить батарею на 100 квт·ч и поставить на грузовой электромобиль. Компоновка разрабатываемой батареи воздушно-цинковых генераторов на 100 квт·ч приведена на рис. 30.

Сравнение весовых и объемных параметров воздушно-цинковых генераторов с аккумуляторными батареями

Тип химического источника тока	Практически достигаемый удельный вес, кг/квт·ч	Практически достигаемый удельный объем, дм ³ /квт·ч
Современные свинцовые панцирные аккумуляторные батареи	35,0—37,0	17,0—19,0
Современные железо-никелевые аккумуляторы со смешанным типом пластин	32,0—36,0	16,0—20,0
Современные серебряно-цинковые аккумуляторы	6,5—12,5	4,7—6,5
Воздушно-цинковый генератор	7,7—9,1	5,4—8,4

СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ С ВОЗДУШНО-ЦИНКОВЫМИ ГЕНЕРАТОРАМИ

В среднем можно принять, что батарея воздушно-цинковых генераторов будет иметь удельный вес порядка 8,5 кг/квт·ч. Это позволяет обеспечить рассматриваемым электромобилям следующие технические параметры (табл. 21).

Таблица 21

Возможные параметры электромобилей с батареями воздушно-цинковых генераторов

Тип электромобиля	Полный вес, кг	Вес батареи воздушно-цинковых генераторов, кг	Средний эксплуатационный запас хода, км	Максимальная скорость движения, км/ч
Грузовой, 0,25 т	1 400	370	330	80
» 0,8 »	2 100	600	360	75
» 2,0 »	4 300	900	260	65
» 6,0 »	12 800	1 500	150	50
Автобус, 60 чел.	10 850	800	93	65
Легковой, 5 чел.	1 800	400	270	90

Сопоставление данных табл. 21 с фактическими суточными пробегами однотипных современных автомобилей показывает, что электромобили с батареей воздушно-цинковых генераторов по своим техническим параметрам способны полностью заменить грузовые автомобили грузоподъемностью до 2,0 т включительно и легковые автомобили. Грузовой электромобиль грузоподъемностью 6,0 т имеет средний эксплуатационный запас хода, который соответствует суточному пробегу 42% однотипных автомобилей. Применение батарей воздушно-цинковых генераторов все же не позволяет рассчитывать на практическое применение электромобилей-автобусов.

К сожалению, еще нет каких-либо данных о возможной стоимости батареи воздушно-цинковых генераторов. Однако ориентировочно можно предположить, что удельная стоимость батареи воздушно-цинковых ге-

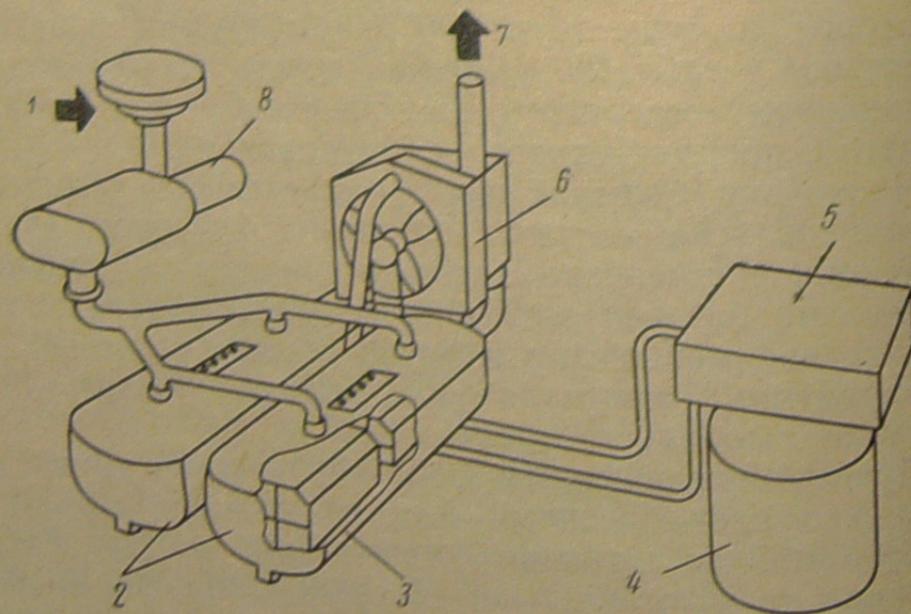


Рис. 30. Компоновка батареи воздушно-цинковых генераторов на 100 квт·ч для электромобиля:

1 — подача воздуха; 2 — четыре группы по 60 элементов; 3 — отстойник и насос для электролита; 4 — бак для смеси цинка; 5 — фильтры; 6 — теплообменник для электролита; 7 — выход воздуха; 8 — воздушный компрессор

нераторов (руб/квт·ч) будет примерно в 1,5—2,0 раза меньше удельной стоимости современных железо-никелевых аккумуляторов. Срок службы также может быть в пределах 1000—1500 циклов. Если исходить из этих предположений, то тогда получается, что и экономически применение электромобилей с батареей воздушно-цинковых генераторов оправдано в тех же сферах, т. е. в виде грузовых автомобилей грузоподъемностью примерно до 2,0 т (и ограничено в виде электромобилей большой грузоподъемности) и в качестве легкового такси.

Таким образом, электромобили с батареей воздушно-цинковых генераторов, вероятно, в первую очередь должны будут найти применение в виде грузовых автомобилей небольшой грузоподъемности (до 1,5—2,0 т) и в виде легковых автомобилей, использующихся в городе в качестве такси.

Применение электромобилей в этих сферах взамен современных автомобилей приведет к заметному улучшению санитарно-гигиенических условий в городе. Проведенные расчеты показали, что в этом случае загрязнение атмосферного воздуха отработавшими газами автомобилей уменьшится в 1,5—1,7 раза.

Хотя зарубежные сообщения о воздушно-цинковом генераторе носят очень оптимистический характер, все же, учитывая новизну данной темы, следует ожидать появления за рубежом практически работоспособных воздушно-цинковых генераторов не ранее чем через 2—4 года.

В настоящее время одной из основных проблем по созданию воздушно-цинкового генератора является обратное осаждение цинка при заряде.

Учитывая несомненную перспективность и экономическую целесообразность, а также санитарно-гигиеническое значение применения электромобилей с батареей воздушно-цинковых генераторов, необходимо более широко развернуть работы по исследованию и постройке опытных образцов батарей воздушно-цинковых генераторов.

В нашей стране можно реально ожидать появления первых практически работоспособных образцов батарей воздушно-цинковых генераторов также через 3—5 лет.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

БЕЗРЕОСТАТНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЕНТИЛЯХ

В последнее время появилась возможность несколько улучшить технико-экономические параметры электромобилей и тем самым расширить сферы эффективного их применения за счет использования импульсного метода регулирования тягового электродвигателя.

Процесс разгона электромобиля может быть разделен на два этапа. На первом этапе производится пуск тягового электродвигателя. На втором — разгон электромобиля осуществляется по тяговой характеристике электродвигателя, позволяющей, как известно, в определенных пределах получать автоматичность регулировки скорости.

Обычно пуск электродвигателя осуществляется посредством последовательного замыкания пусковых ступеней сопротивления в цепи обмоток электродвигателя. Поэтому при определении величины емкости аккумуляторной батареи, необходимой для обеспечения работы электромобиля, приходится дополнительно предусматривать энергию I^2R , которая превращается в пусковых сопротивлениях в тепло.

Для уменьшения пусковых потерь применяют схемы, в которых искусственные скоростные характеристики получают как за счет изменения коэффициента возбуждения, так и за счет ступенчатого (в два раза) изменения напряжения, подаваемого на электродвигатель, путем пересоединения секции аккумуляторной батареи с последовательного на параллельное.

В качестве примера последовательно-параллельного переключения секций аккумуляторной батареи может служить электрическая схема управления электромобилями (см. рис. 15) фирмы Smith.

При двухдвигательном приводе изменение скорости передвижения достигается также переключением электродвигателей с последовательного соединения на па-

раллельное. В качестве примера схемы контакторного управления электромобилем может служить схема управления электромобиля НАМИ (рис. 31), в которой для получения промежуточной «экономической» скоро-

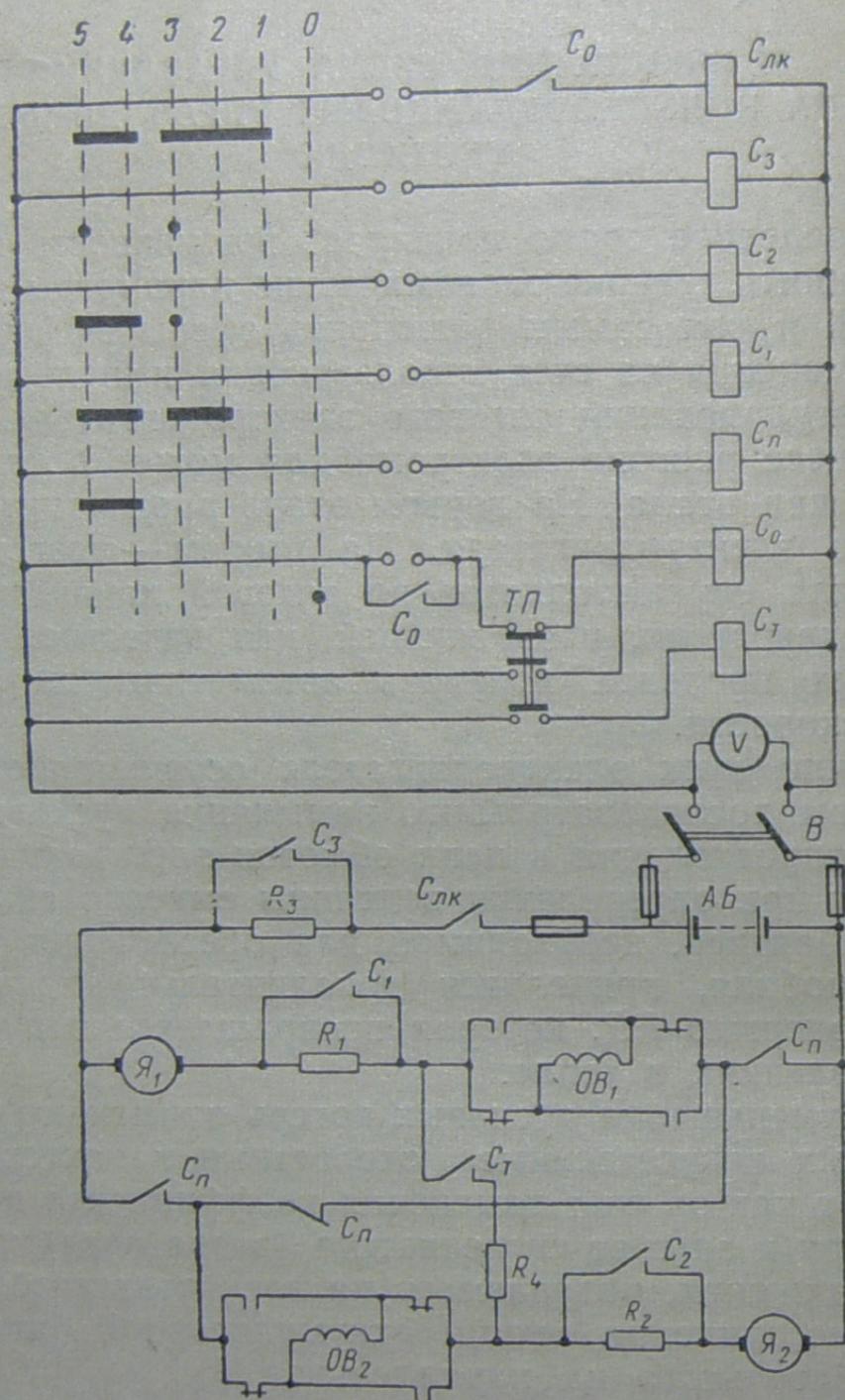
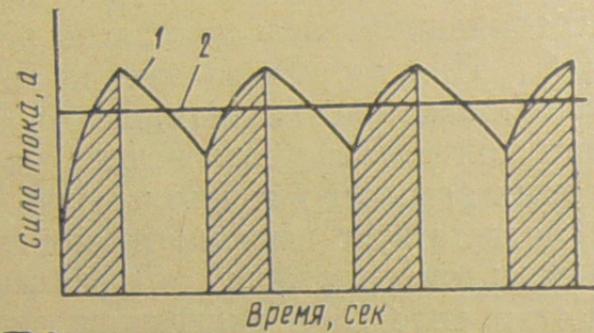


Рис. 31. Принципиальная схема управления электромобилем НАМИ

сти используется параллельно-последовательное соединение тяговых электродвигателей. При пуске используют три ступени пусковых сопротивлений.

При нулевом положении контроллера подготавливается к включению цепь обмотки реле $C_{лк}$ — замыкаются контакты C_0 . Цепь обмотки реле C_0 не размыкается и на остальных позициях контроллера, поскольку она будет питаться через замкнувшийся контакт C_0 . В первом положении контроллера включается реле $C_{лк}$ и соответственно в силовой цепи замыкается контакт $C_{лк}$ и ток поступает через сопротивления R_1 , R_2 и R_3 в электрические двигатели, соединенные последовательно замыкающим контактом $C_{п}$. При втором положении контроллера контакт реле C_1 замыкает сопротивление R_1 . При третьем положении контроллера включаются реле C_2 и C_3 , контакты которых замыкают сопротивления R_2 и R_3 . Это положение соответствует первой «экономической» скорости. При четвертом положении контроллера размыкается цепь обмотки реле C_3 и включается реле $C_{п}$. Включение реле $C_{п}$ приводит к размыканию замыкающего контакта и замыканию замыкающих контактов $C_{п}$. Благодаря этому происходит переключение двигателей с последовательного соединения на параллельное. При этом двигатели питаются через сопротивление R_3 . При пятом положении контроллера включается реле C_3 , замыкающее накоротко сопротивление R_3 . Это соответствует второй «экономической» скорости. При нажмие на педаль тормоза, связанную с тормозным переключателем $ТП$, двигатели отключаются от батареи, благодаря выключению реле $C_{лк}$. Одновременно реле $C_{п}$ остается включенным и включается реле $C_{т}$. Благодаря этому оба двигателя замыкаются на общее тормозное сопротивление R_4 . Следует отметить, что во всех схемах, подобных схеме управления электромобилями НАМИ и электромобилями фирмы Smith, со ступенчатым пуском имеет место ступенчатый разгон с соответствующими бросками силы тока и момента. Поэтому на электроподвижном составе и на некоторых опытных моделях электромобилей, иногда применяют так называемый бесступенчатый пуск с помощью переменного угольного или проволочного сопротивления, плавно изменяемого при переводе рычага или педали командоаппарата. Однако хотя при применении бесступенчатого контроллера и обеспечивается плавность разгона, снимаются пики силы тока и момента, потери энергии в пусковом сопротивлении остаются.

В последнее время в ряде приводов, особенно небольшой мощности, нашел применение так называемый импульсный метод регулирования скорости вращения вала двигателя постоянного тока. Сущность этого метода состоит в том, что напряжение на двигатель подается в виде импульсов. В момент включения контактов двигатель присоединяется на полное напряжение



■ Включено
□ Выключено

Рис. 32. Характер изменения тока нагрузки при импульсном регулировании:

1 — ток в цепи якоря;
2 — средний ток в цепи якоря

аккумуляторной батареи (без пусковых сопротивлений в якорной цепи) и сила тока в его цепи возрастает; в период отключения сила тока в якоре электродвигателя спадает (рис. 32).

Благодаря тому, что период переменного напряжения гораздо меньше электрической постоянной времени обмотки якоря, а также благодаря шунтированию якоря выпрямителем, сила тока в цепи якоря электродвигателя может оставаться практически постоянной. В то же время ток, потребляемый от источника питания, будет иметь импульсный характер. При этом во время импульса сила тока в цепи источника не будет отличаться от силы тока в якоре электродвигателя. Поэтому среднее значение силы тока в цепи источника будет естественно меньше среднего значения силы тока в якоре электродвигателя, так как во время импульса в обмотке якоря запасается энергия, которая затем поддерживает ток в цепи якоря во время паузы. Однако при этом среднее значение напряжения на двигателе будет меньше среднего значения напряжения источника. На рис. 33 показана зависимость тока в якорной цепи и аккумуляторной батарее, полученная при испытании фирмой Allis-Chalmers электропогрузчиков с импульсным регулированием тяговых электродвигателей.

Если подача импульсов напряжения в течение длительного времени производится с определенной частотой и при постоянном соотношении длительности отдельных частей цикла, то скорость двигателя принимает установившееся значение. Путем изменения соотношения между продолжительностью одной и другой частей цикла переключений обеспечивается регулирование скорости вращения.

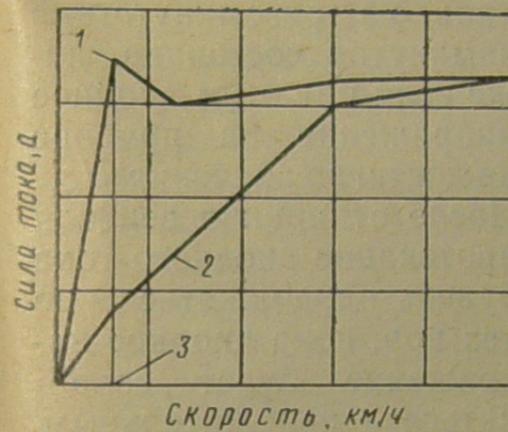


Рис. 33. Зависимость тока двигателя и аккумуляторной батареи в период пуска от скорости движения при импульсном регулировании:

1 — ток двигателя; 2 — ток батареи; 3 — момент трогания

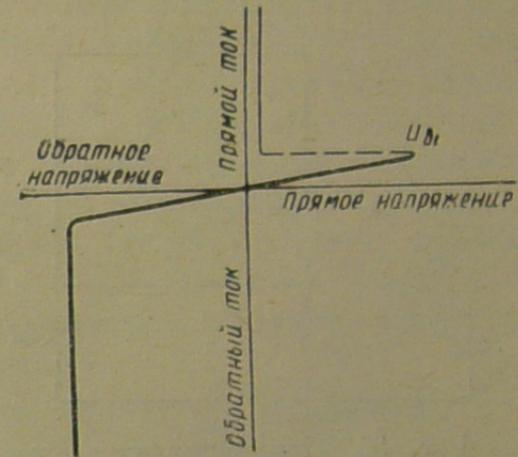


Рис. 34. Вольт-амперная характеристика цепи анод-катод управляемого вентиля при отсутствии сигнала на управляющем электроде

В качестве прерывателей-коммутаторов в якорной цепи двигателя используются кремниевые управляемые диоды, иначе называемые — управляемые вентили или тиристоры.

Управляемый вентиль — это полупроводниковый (кремниевый) прибор, который действует подобно тиристону. На рис. 34 приведены прямые и обратные ветви вольт-амперной характеристики цепи анод-катод управляемого вентиля при отсутствии сигнала на управляющем электроде. Обратная ветвь характеристики в третьем квадрате подобна такой же ветви обычного кремниевого диода. Обратный ток очень мал до значений пробивного обратного напряжения диода. Прямая ветвь характеристики подобна обратной до значения прямого пробивного напряжения, обозначенного точкой $U_{ва}$. Начиная с этого значения прямого напряжения,

сопротивление прибора прямому току почти мгновенно уменьшается. После достижения пробоя или переключения сила тока по прибору определяется практически только сопротивлением и напряжением внешней цепи. Падение напряжения на приборе при этом почти такое же, как и на обычном диоде в проводящем состоянии. Ток в цепи управляющего электрода (при малой затрате мощности) действует подобно ключу, переключающему

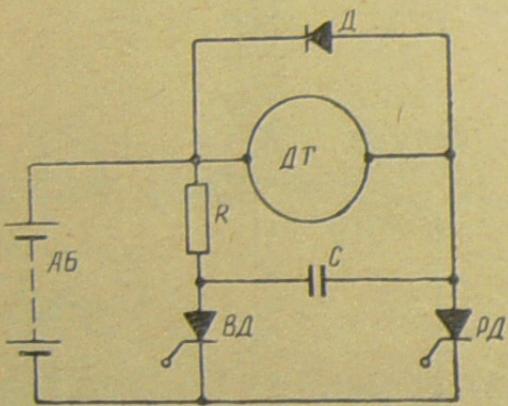


Рис. 35. Принципиальная схема силовой цепи электропривода с импульсным регулированием

управляемому вентилю из разомкнутого в замкнутое состояние, даже если при этом анодное напряжение на приборе не достигло значения $U_{на}$. После отпирания вентиля протекание анодного тока будет продолжаться до тех пор, пока анодное напряжение будет сохраняться положительным, независимо от того, присутствует или нет сигнал в цепи управления. Чтобы

привести в закрытое состояние, надо снизить протекающий через него прямой ток до величины, называемой током выключения. Сила тока выключения управляемого полупроводникового вентиля имеет величину от нескольких единиц до 100 ма.

Таким образом, работа управляемого вентиля аналогична работе тиратрона, а потеря управления в цепи управляющего электрода аналогична потере управляющих свойств сетки тиратрона.

В 1961 г. английской фирмой Smith был построен электромобиль Transitruck с импульсным регулированием скорости. Начиная с этого момента, в иностранной периодической литературе появился ряд статей, посвященных вопросам импульсного регулирования привода электромобиля.

На рис. 35 приведена принципиальная схема силовой цепи электропривода с импульсным регулированием скорости.

С помощью управляющего импульса открывается рабочий тиристор $РД$ и электродвигатель $ДТ$ получает питание от аккумуляторной батареи $АБ$. Одновременно через зарядное сопротивление R происходит заряд коммутующего конденсатора C . При возрастании силы тока электродвигателя до заданной величины дается управляющий импульс на гасительный тиристор $ВД$, и в результате разряда коммутующего конденсатора C рабочий тиристор $РД$ снова приводится в закрытое состояние. При запираии рабочего тиристора ток якоря, поддерживаемый э. д. с. самоиндукции, уменьшаясь, протекает через диод $Д$, коммутующий якорь электродвигателя. Затем на тиристор $РД$ снова подается импульс; он открывается, и электродвигатель снова оказывается под напряжением. Таким образом, в электродвигателе протекает импульсный ток. Частота, с которой включается и выключается рабочий тиристор, задается системой управления.

Выясним потери электроэнергии при различных способах пуска и регулирования скорости.

Для упрощения расчета примем некоторые допущения. Считаем, что во время пуска сопротивление качению остается постоянным, а пусковые сопротивления уменьшаются плавно, так что сила тока якоря, момент двигателя и его ускорение за время пуска поддерживаются постоянными.

На рис. 36, а изображена диаграмма реостатного пуска во времени однодвигательного привода. Потеря напряжения в пусковых сопротивлениях изображена косо заштрихованными линиями, потери напряжения в электродвигателе — перекрестно-заштрихованной линией. Так как было принято, что сила тока I (а) в течение времени пуска T (сек) остается постоянной, то потери энергии d в сопротивлениях будут равны:

$$d = \frac{U_{а.б} - IR_{дв}}{2} I T \text{ дж}, \quad (13)$$

где $U_{а.б}$ — напряжение аккумуляторной батареи, в;
 $R_{дв}$ — сопротивление электродвигателя, ом.

Если к. п. д. электродвигателя принять равным 85% и пренебречь незначительными потерями энергии в же-

лезе и щетках, то падение напряжения на электродвигателе может быть определено как

$$IR_{дв} = 0,15 U_{дв}, \text{ откуда}$$

$$d = \frac{0,85 U_{а.б}}{2} IT \text{ дж.} \quad (14)$$

Энергия, потребляемая электродвигателем А от аккумуляторной батареи, равна:

$$A = U_{а.б} IT \text{ дж.} \quad (15)$$

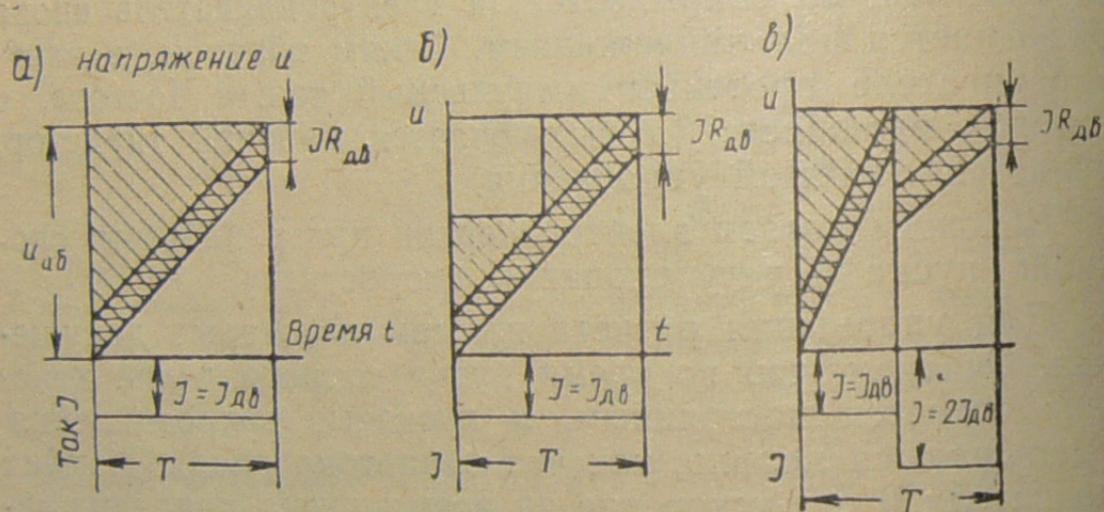


Рис. 36. Диаграммы пуска

Отсюда отношение потерь энергии в сопротивлениях к энергии, потребляемой от аккумуляторной батареи, составляет:

$$\frac{\frac{0,85}{2} U_{а.б} IT}{U_{а.б} IT} = 0,425. \quad (16)$$

Таким образом 42,5% энергии, потребляемой от аккумуляторной батареи в момент пуска электродвигателя, превращается в тепло в пусковых сопротивлениях.

На рис. 36, б изображена диаграмма пуска электродвигателя при параллельно-последовательном соединении секций аккумуляторной батареи. Потери энергии

в пусковых сопротивлениях при к. п. д. электродвигателя, равном 85%, составляют в этом случае:

$$d = \frac{\frac{0,85}{2} U_{а.б}}{2} IT \text{ вт.сек.} \quad (17)$$

Отношение потерь энергии в пусковых сопротивлениях к расходу энергии аккумуляторной батареи составит:

$$\frac{\frac{0,85}{4} U_{а.б} IT}{U_{а.б} IT} = 0,2125, \quad (18)$$

т. е. во время пуска 21,25% потребляемой от аккумуляторной батареи энергии расходуется в пусковых сопротивлениях.

Совершенно очевидно, что при применении пуска двигателя в «n» ступеней подачи напряжения на двигатель, потери в пусковых сопротивлениях уменьшатся в «n» раз по сравнению с пуском в одну ступень.

Двухступенчатый пуск при двухдвигательном приводе осуществляется путем последовательного соединения двигателей на первом этапе пуска и параллельного — на втором. На рис. 36, в показана соответствующая диаграмма пуска. Доля потерь энергии при этом в пусковых сопротивлениях составляет, так же как и при изменении напряжения на двигателе параллельно-последовательным пересоединением секций аккумуляторной батареи, т. е. 21,25% энергии, потребляемой от аккумуляторной батареи.

При применении описанного выше способа импульсного регулирования тягового электродвигателя возникают потери в управляемых кремниевых диодах и в гасительной цепи конденсатора. Однако эти потери очень незначительны и к. п. д. привода в этом случае при пуске составляет по литературным данным около 96%.

Таким образом, к. п. д. привода при импульсном регулировании на 38% больше, чем к. п. д. привода при способе пуска (см. рис. 36, а), и на 19% больше, чем в случаях, указанных на рис. 36, б и 36, в.

Расход энергии при пуске может быть определен по формуле:

$$A_{\text{п}} = \frac{A_{\text{пол}}}{\eta_{\text{пр}}} \text{ вт} \cdot \text{сек}, \quad (19)$$

где $A_{\text{пол}}$ — потребление энергии тяговым электродвигателем, *вт · сек*;

$\eta_{\text{пр}}$ — к. п. д. привода.

Потребление энергии тяговым электродвигателем в период пуска может быть определено из уравнения энергетического баланса автомобиля

$$A_{\text{пол}} = \frac{G_{\text{э}} \psi v_{\text{п}} T + \frac{1}{3,6^2} k F v_{\text{п}}^3 T + \frac{1}{3,6^2} m M v^3}{2,0,367 \eta_{\text{т}} \eta_{\text{дв}}} \text{ вт} \cdot \text{сек}, \quad (20)$$

где $G_{\text{э}}$ — полный вес автомобиля, *кг*;

ψ — коэффициент сопротивления движению;

$v_{\text{п}}$ — скорость автомобиля, при которой заканчивается процесс пуска, *км/ч*;

kF — фактор сопротивления воздуха, *кг/м² · сек²*;

m — коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс;

M — масса автомобиля, *кг · сек²/м²*;

$\eta_{\text{т}}$ — к. п. д. трансмиссии;

$\eta_{\text{дв}}$ — к. п. д. тягового электродвигателя.

В качестве примера по формуле (19) и (20) было определено уменьшение расхода энергии для двух автомобилей, которые по своим основным техническим параметрам (полный вес, запас хода и максимальная скорость движения) примерно соответствуют автомобилям НАМИ-750 и НАМИ-751 (см. табл. 7).

Для автомобиля типа НАМИ-750 в случае применения импульсного регулирования экономия энергии на один пуск составляет 0,010 *квт · ч*, а для автомобиля типа НАМИ-751 — 0,017 *квт · ч*.

Для средних условий эксплуатации (среднее расстояние между остановками = 1000 м и среднеэксплуатационный запас хода 75 км) экономия энергии при применении импульсного регулирования для автомобиля типа НАМИ-751 составляет 1,275 *квт · ч*, (более 5% от номинальной емкости аккумуляторной батареи

этого автомобиля). Полученные данные согласуются с имеющимися литературными сведениями, по которым экономия энергии при применении импульсного регулирования составляет 5—12% в зависимости от условий эксплуатации [13].

При рассмотрении технико-экономической целесообразности применения импульсного регулирования на автомобиле не следует забывать, что эта система, кроме устранения потерь в пусковых реостатах, имеет еще целый ряд преимуществ.

Во-первых, значительно облегчается управление автомобилем, особенно при движении в потоке транспортных средств. В этом случае при обычных способах регулирования для поддержания средней скорости движения (которая меньше максимальной скорости автомобиля) приходится использовать то разгон, то накат. В случае импульсного регулирования возможно получение любой постоянной скорости.

Во-вторых, полупроводниковые приборы системы импульсного регулирования могут быть использованы в качестве выпрямителей для заряда аккумуляторной батареи и для ее подзаряда в процессе эксплуатации. Подзаряд аккумуляторной батареи в некоторых случаях может значительно увеличить среднесуточный пробег автомобиля.

В-третьих, система импульсного регулирования в принципе позволяет создать действенную систему рекуперации. При этом в основу может быть положен тот же принцип, что и для реостатно-рекуперативного торможения. Только в этом случае ограничение тока возбуждения будет осуществляться системой импульсного регулирования, что устранит потери в балластном реостате. Как известно из литературных источников, рекуперация позволит увеличить пробег на один заряд на 10—15%. Хотя в настоящее время нет еще сообщений о работах в этом направлении, однако совершенно очевидно, что важность их ничуть не меньше, чем важность работ, имеющих своей целью устранить потери энергии при пуске.

Таким образом, применение импульсного регулирования на автомобиле является весьма перспективным делом. Поэтому в настоящее время необходимо всячески форсировать работы по исследованию систем

импульсного регулирования электропривода, имея в виду в будущем использовать достигнутые успехи при постройке отечественных электромобилей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ТИПОВ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯХ

В настоящее время, благодаря созданию мощных управляемых вентилях, появилась возможность преобразования на электромобиле постоянного тока в переменный требуемой частоты, что позволяет применить на электромобиле асинхронные бесколлекторные электродвигатели переменного тока, отличающиеся большей надежностью, меньшей стоимостью и рядом других преимуществ перед двигателями постоянного тока.

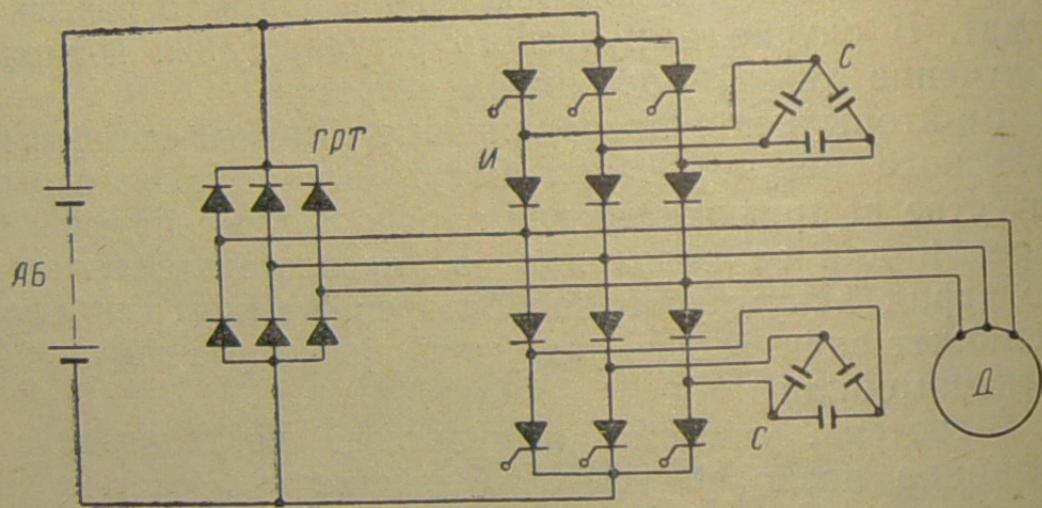


Рис. 37. Принципиальная схема силовой части инвертора

На рис. 37 приведена принципиальная схема силовой части инвертора. Благодаря применению в этой схеме разделительных вентилях конденсаторы имеют ограниченную емкость и являются лишь коммутирующими. Для обеспечения пропуска необходимого реактивного тока асинхронного двигателя использована выпрямительная группа ГРТ реактивного тока. Регулирование частоты осуществляется в схеме посредством воздействия на цепи управления инвертора И.

Для иллюстрации принципа работы инвертора на рис. 38 показана последовательность прохождения тока через фазы двигателя. Причем для упрощения рассуждения на рис. 38 вместо полупроводниковых вентилях

и конденсаторов изображены полупроводниковые триоды, обладающие полной управляемостью (в действительности в настоящее время пока еще не созданы достаточно мощные полупроводниковые триоды, чтобы они могли применяться на электромобилях).

На рис. 38, а проводит ток триод 1, далее ток идет в фазу В двигателя и через фазу А и триод 5 возвращается в сеть постоянного тока. Такой путь тока имеет место в течение $1/6$ полного периода работы вентилях. Далее становится проводящим триод 4, а триод 5 за-

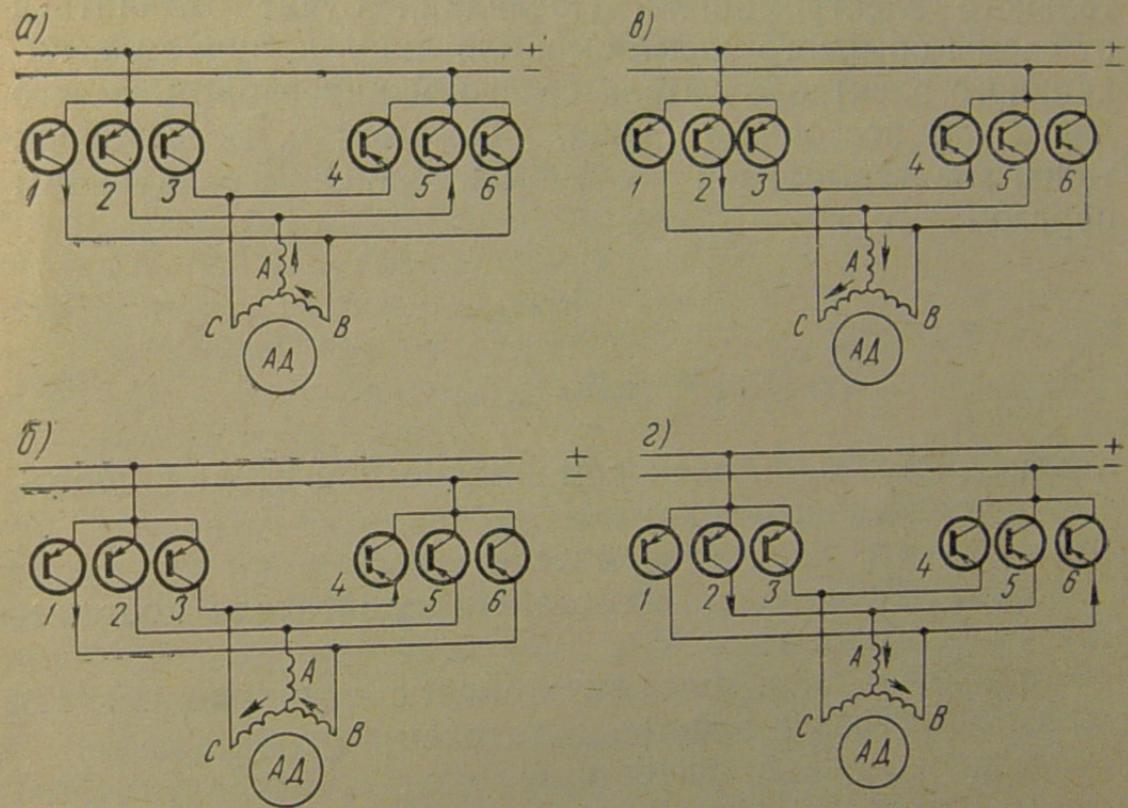


Рис. 38. Последовательность прохождения тока через фазы двигателя

пирается. При этом ток в статоре двигателя (рис. 38, б) переходит с фазы А в фазу С, что сопровождается поворотом м. д. с. статора асинхронного электродвигателя на угол 60 электрических градусов. Следующим этапом является перевод тока с фазы В на фазу А (рис. 38, в) путем переключения триодов 1 и 2. Затем снова включается фаза В путем перевода тока с триода 4 на триод 6 (рис. 38, г) и т. д. После шести последовательных переключений цикл повторяется.

Несмотря на значительное время, прошедшее с момента первых исследований схем независимых инверторов с полупроводниковыми управляемыми вентилями, предназначенных для частотного регулирования скорости асинхронных двигателей, эти инверторы не получили сколько-нибудь широкого практического применения. Кроме трудностей чисто технического порядка, здесь так же, как и в системах импульсного регулирования, немаловажное значение играет пока еще высокая стоимость полупроводниковых управляемых вентиляей.

Оценим к. п. д. и весовые показатели преобразовательного электромобиля. Последний будет отличаться от схемы обычного электромобиля лишь наличием асинхронного электродвигателя со своим инвертором вместо двигателя постоянного тока. Поэтому к. п. д. обоих типов электромобилей могут быть записаны следующим образом:

$$\eta_{\text{пост}} = \eta_{\text{т}} \eta_{\text{т.д.п.т}}, \quad (21)$$

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{т}} \eta_{\text{ин}} \eta_{\text{т.д.ас}}, \quad (22)$$

где $\eta_{\text{пост}}$ — к. п. д. электромобиля с двигателем постоянного тока;

$\eta_{\text{т}}$ — к. п. д. трансмиссии;

$\eta_{\text{т.д.п.т}}$ — к. п. д. тягового электродвигателя постоянного тока;

$\eta_{\text{пр}}$ — к. п. д. электромобиля с асинхронным тяговым электродвигателем;

$\eta_{\text{ин}}$ — к. п. д. инвертора;

$\eta_{\text{т.д.ас}}$ — к. п. д. тягового асинхронного электродвигателя.

В области мощностей 2—50 квт к. п. д. асинхронных двигателей превышает соответствующие показатели двигателей постоянного тока последовательного возбуждения на 1—3%. Учитывая, что к. п. д. инвертора окажется в пределах 0,94—0,98, можно с уверенностью сказать, что энергетические показатели обоих типов электромобилей будут примерно одинаковыми.

Вес и стоимость асинхронного электродвигателя будут меньше соответствующих показателей электродвигателя постоянного тока. Однако так как стоимость и вес тягового электродвигателя электромобиля состав-

ляют всего лишь 5% от общего веса и стоимости электромобиля, то целесообразность применения сложных и пока что дорогих устройств для инвертирования на электромобиле является сомнительной.

Повысить к. п. д. электродвигателя и одновременно значительно уменьшить при этом его вес и стоимость позволяет применение электродвигателей с печатными обмотками на якоре. Основой этих электрических машин является плоский немагнитный дисковый якорь с двухсторонней печатной обмоткой, вращающейся в торцовом воздушном зазоре. Магнитное поле, параллельное оси вращения якоря, создается торцовой магнитной системой. Якорь выполняется в виде изолированного диска, на который методом печатной схемы нанесена якорная обмотка.

В 1959—1960 гг. во Франции, а затем и в США были построены серии электродвигателей с печатными обмотками на якоре мощностью от 5 вт до 3,1 квт. У построенных электродвигателей к. п. д. достигает 80—90% в зависимости от мощности, т. е. на 10—15% больше, чем у электрических машин одинаковой мощности обычной конструкции.

Объясняется это прежде всего отсутствием потерь от вихревых токов, возникающих в стали роторов электрических машин обычной конструкции, и уменьшением потерь в проводниках и в контакте щеток. Первое объясняется тем, что практически вся длина обмотки используется полезно, так как толщина ротора небольшая и поэтому длина лобовых соединений получается очень незначительной. Второе объясняется возможностью применения серебряно-графитовых щеток, имеющих малое падение напряжения в переходном сопротивлении. Применение таких щеток становится возможным благодаря малой реактивной э. д. с. коммутации, так как якорь не содержит ферромагнитных материалов.

Так как все активные проводники и лобовые соединения печатной обмотки лишены изоляции и имеют большую теплоотводящую поверхность, а диск якоря выполняется из термостойких пластиков, керамики или алюминия, то печатный якорь допускает значительно большие тепловые нагрузки. Допустимая плотность тока в печатных обмотках на порядок выше, чем в обмотках обычных электрических машин, и составляет 30—

40 а/мм² в длительном режиме и до 100—150 а/мм² при перегрузках. Благодаря этому удается значительно снизить вес двигателя (см. табл. 22, составленную по данным [10]).

Таблица 22

Технические характеристики двигателей постоянного тока обычной конструкции А и с плоским печатным ротором Б

Мощность, квт	Число оборотов в минуту	Вес, кг		к. п. д., %	
		А	Б	А	Б
1	1500	42	8,5	68—70	82
	3000	29	8,0	72—73	80
5	1500	150	35	81—87	88
	3000	120	32	78—86	87
10	1500	285	58	86—88	90
	3000	235	36	86—87	90

На основе аппроксимации данных табл. 22 были определены возможные параметры тяговых двигателей для электромобилей типа НАМИ и возможное улучшение их параметров в случае применения двигателей с печатным ротором (табл. 23).

Таблица 23

Параметры электромобилей с различными типами двигателей

Параметры	Электромобили			
	грузоподъемность 0,5 т		грузоподъемность 1,5 т	
	НАМИ-750	перспективный	НАМИ-751	перспективный
Часовая мощность, квт	2,85	3,0	3,5	4,0
Количество двигателей, шт.	2	2	2	2
К. п. д. двигателя	0,65—0,68	0,86	0,7—0,73	0,88
Вес двигателя, кг	72	28	90	30
Запас хода, км				
при $v = 30$ км/ч	55	70	70	80
» $v = 50$ »	—	55—60	—	60—70

Как видно из табл. 23, применение электродвигателей с печатным ротором на 15—25% увеличивает запас хода электромобилей и примерно в 2—2,5 раза снижает вес тяговых электродвигателей.

К важным преимуществам электродвигателя с печатным ротором следует отнести также его гораздо меньшую стоимость, чем электродвигателя в обычном исполнении, и удобство компоновки электродвигателя непосредственно в колесе электромобиля, что позволяет создать мотор-колесо даже для легкового автомобиля.

Перечисленные преимущества наиболее значительны для электромобилей, но этим не исчерпывается список преимуществ, к которому следует отнести меньший расход цветного металла, спокойную, практически бесшумную коммутацию, меньшую инерционность якоря и т. д.

К недостаткам электродвигателя с печатным плоским ротором относится прежде всего ограниченная механическая прочность, не позволяющая строить электродвигатели большой мощности. Сущность недостатков в настоящее время еще мало изучена из-за слишком небольшого опыта работы с такими электродвигателями.

В зарубежной литературе по электромобилям в последние годы часто отмечается намерение использовать для тяги электродвигатели с печатными обмотками на якоре. Но в настоящее время, вероятно, необходимо еще провести большой комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, прежде чем можно будет ориентироваться на применение таких электродвигателей на электромобилях, хотя их перспективность вполне очевидна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для развития отечественных электромобилей необходимо всемерно форсировать работы по созданию железо-никелевых аккумуляторов с безламельным отрицательным электродом с удельным весом не более 36 кг/квт·ч, со сроком службы не менее 1200 циклов и стоимостью на 1 квт·ч порядка 40—45 руб., поскольку аккумулятор с такими параметрами позволяет создать аккумуляторные электромобили грузоподъемностью примерно до 1,0 т.

Учитывая актуальность проблемы развития применения электромобилей, необходимо в возможно короткий срок развернуть работы по постройке опытной партии отечественных электромобилей грузоподъемностью до 1,0 т. Причем эта опытная партия электромобилей должна быть достаточно крупной (не менее 120—150 шт.).

Опыт проектирования, изготовления и эксплуатации этих опытных электромобилей даст возможность уточнить и конкретизировать требования к аккумуляторным батареям и механизмам электропривода.

Ведущиеся научные исследования в области аккумуляторных батарей, батарей топливных элементов и других химических источников тока, систем импульсного регулирования электропривода и тяговых электродвигателей позволяют ожидать дальнейшего улучшения технико-экономических параметров электромобилей и соответственного расширения областей рационального их применения.

Создание аккумуляторов с удельным весом 10—20 кг/квт·ч, сроком службы 1200—1500 циклов и стоимостью на 1 квт·ч порядка 15—25 руб. сделает экономически оправданным применение электромобилей грузоподъемностью до 2,0 т и позволит создать легковой электромобиль для городских и местных поездок.

В последнее время появились сообщения, согласно которым названные выше параметры могут быть достигнуты в ближайшие 2—3 года благодаря созданию батареи воздушно-цинковых генераторов, которая при постановке на электромобиль в эксплуатации будет идентична аккумуляторной батарее. Если эти сообщения подтвердятся, то мы в настоящее время находимся на пороге развития массового применения электромобилей.

Вероятно, что в ближайшие годы будут построены первые опытные образцы электромобилей на топливных элементах. Потенциальные возможности совершенствования топливных элементов огромны и, возможно, что в отдаленном будущем электромобили на топливных элементах смогут полностью вытеснить из города автомобили с двигателями внутреннего сгорания.

Будущее автомобильного транспорта за электромобилями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багоцкий В. С., Флеров В. Н. Новейшие достижения в области химических источников тока. Госэнергоиздат, М.—Л., 1963.
2. Великанов Д. П., Ставров О. А. Перспективы применения аккумуляторных электромобилей. «Известия АН СССР, Энергетика и транспорт», 1966, № 3.
3. Галкин Ю. М. Электрические аккумуляторные автомобили. М., Изд-во «Наркомхоз РСФСР», 1938.
4. Галкин Ю. М. Анализ развития электромобилей и перспективы их применения в СССР. М., Машгиз, 1951.
5. Гольд Б. В., Киселева В. А. Нежидкотопливные автомобили и перспективы их применения в СССР, Сб. «Тр. лаборатории двигателей АН СССР», вып. 2, 1956.
6. Лейдерман С. Р. Эксплуатация грузовых автомобилей. М. Изд-во «Транспорт», 1966.
7. Поляк Д. Г. Выбор электрооборудования аккумуляторных автомобилей (электромобилей). (Тр. НАМИ, вып. 4), 1959.
8. Ставров О. А. Новый метод тягового расчета электромобилей. «Автомобильная промышленность», 1965, № 6.
9. Юсти Э., Винзель А. Топливные элементы. М., Изд-во «Мир», 1964.
10. Axialer Luftspalt und eisenloser Retor schaffen neu Bauformen—„Elektro-Techn.“, 1962, 44, N 46-47.
11. Battery electric road vehicles—„Commercial Motor“, 1960, 111, N 2855; 1962, 115, N 2959; 1964, 119, N 3063; 1965, 121, N 3116.
12. Battery electric vehicles—„Electr. Times“, 1965, 148, N 26.
13. Bennet G. L. —New battery motor drive—„Prod. Engng.“, 1963, 34, N 1.
14. Erikson C. R.—The electric auto—„Proc. Amer. Power Conf.“, 1960, 22.
15. Hills S. M.—Battery electric Vehicles“, 1942.
16. Heyman H. W. The economic basis of battery electric road vehicle operation and manufacture—„Proc. Inst. Electr. Engrs.“, 1952, 99, N 71.
17. Yones R. W., Beck N. J.—Automotive fuel cells? — „SAE Journal“, 1962, 70, N 2.
18. Lightweight zinc—air traction battery—„Mod. Transp.“, 1966, 95, N 2444.
19. Kordesch K. V.—Brennstoffelemente mit Kohlelektroden — „Allgem. und prakt. Chem.“, 1966, 17, N 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава 1. Аккумуляторные электромобили	8
История развития	8
Современные электромобили	23
Целесообразность применения электромобилей	56
Глава 2. Электромобили на топливных элементах	61
Современные топливные элементы и их основные характеристики	61
Перспективы применения топливных элементов	69
Глава 3. Перспективы применения воздушно-цинковых генераторов на электромобилях	78
Параметры батарей воздушно-цинковых генераторов	78
Сферы применения электромобилей с воздушно-цинковыми генераторами	83
Глава 4. Перспективы развития электропривода электромобилей	85
Безреостатная схема управления на полупроводниковых управляемых вентилях	85
Перспективы применения новых типов двигателей на электромобилях	96
Заключение	101
Литература	103

Олег Анатольевич Ставров

«ЭЛЕКТРОМОБИЛИ»

Редактор *Л. В. Китаева*
Технический редактор *Е. Н. Галактионова*
Корректор *С. М. Лобова*

Сдано в набор 20/XII 1967 г. Подписано в печать 22/III 1967 г.
 Бумага 84×108¹/₃₂ № 2. Физ. п. л. 3,25 Усл. п. л. 5,40 Уч.-изд. л. 5,43
 Т-02568 Тираж 10 000 Цена 28 коп. Изд. № 1-3-1/14 № 1529 Заказ 105
 Изд-во «Транспорт», Москва, Б-174, Басманный тупик, 6а

Московская типография № 19 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
наб. Мориса Тореза, 34

Цена 28 коп.



ТРАНСПОРТ 1968