

# Энергетическая установка электромобиля

КУРБАСОВ А.С., КУРБАСОВ М.Б.

*Обсуждается возможность создания электромобиля, в котором в качестве энергетической установки, питающей асинхронный тяговый двигатель, используется магнетогидродинамический генератор, работающий на природном газе.*

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, электромобиль, магнетогидродинамический генератор, природный газ

Известно, что главным загрязнителем атмосферы крупных городов являются автомобили, несмотря на ужесточение требований к качеству бензина и выхлопным устройствам. Принципиальное и основное решение проблемы – использование электромобилей, колеса которых приводятся во вращение асинхронным тяговым двигателем, питаемым от аккумулятора. Однако громоздкая аккумуляторная батарея при сравнительно малой энергоёмкости не обеспечивает длительной работы автомобиля, требует частых подзарядок или смены аккумулятора. Этим снижается практическая полезность электромобиля: при высокой цене – низкая производительность, неудобство для городского автохозяйства.

Трудности разработки электромобилей на базе аккумуляторных батарей представлены в [1], где как наиболее приемлемые названы никель-железные аккумуляторы, имеющие удельную энергию примерно 0,04 кВт·ч/кг. Для городского микроавтобуса при средней мощности 40 кВт такая батарея будет слишком тяжелой, не говоря о необходимости частых подзарядок. В последние годы за рубежом начали применять литий-ионные батареи повышенной удельной энергоёмкости, но из-за их дороговизны спрос на такие электромобили остается малым.

Как альтернатива рассматривается промежуточный вариант между электромобилем и автомобилем на базисном топливе. Это автомобили, работающие на природном газе, выхлопы которых содержат значительно меньше вредных для окружающей среды веществ. В США принята программа стимулирования применения газа на автомобилях, под которую выделено 15 млрд долл. [2].

Идея масштабного развития газомоторного парка поддерживается и в России [3, 4], учитывая большие запасы газа. Опытными исследованиями, ведущимися на базе КАМАЗа, установлено, что токсичные выбросы становятся значительно меньше норм Евро-4 и это уменьшение по элементам

*The possibility of constructing an electric vehicle in which a magnetohydrodynamic generator operating on natural gas is used as an installation supplying power to an induction traction motor is discussed.*

**Key words:** electric vehicle, magnetohydrodynamic generator, natural gas

составляет: NМУС–1,9 раз, СН<sub>4</sub> – 3,2 раза, СО – 200 раз, NO<sub>x</sub> – 1,6 раз [4]. Природный газ можно использовать как в баллонах, сжатым до высоких давлений, так и в сжиженном виде. Последний вариант предпочтительнее и широко используется, в том числе в быту. У сжиженного природного газа, накаченного в бытовой баллон при давлении 10–20 атм, энергосодержание составляет примерно 120000 кДж/кг. Баллон вмещает 25–30 кг сжиженного газа, такой энергии достаточно для суточной работы микроавтобуса «Газель» или «Соболь». Преимущества таких машин по эксплуатационным показателям в сравнении с электромобилем на аккумуляторной батарее очевидны. Однако привод электромобиля с асинхронным двигателем – решение более современное, чем с двигателем внутреннего сгорания.

Уместен вопрос: нельзя ли газобаллонное устройство сочетать с электрическим приводом колес? Такая принципиальная возможность появляется, если газовый баллон как источник тепловой энергии совмещать с магнетогидродинамическим (МГД) генератором, обеспечивающим питание асинхронного двигателя для привода колес. Проблема создания МГД-генераторов для силовой энергетики 30–40 лет назад рассматривалась как важнейшая государственная задача и у нас, и в других странах. Однако пока не создано ни одного промышленного МГД-генератора, хотя работы продолжают. Освещение исследований опытных МГД-генераторов дано в [5], в которой, кстати, академиками В.А. Кириллиным и А.И. Шейдлиным отмечено, что несомненный интерес МГД-генераторы будут представлять для транспортных средств, что и вдохновило авторов настоящей статьи на попытку подтвердить это мнение. Некоторый опыт применения МГД-генераторов имеется в виде импульсных источников для геологоразведки [6].

Прежде всего отметим некоторые качественные преимущества МГД-генератора в сравнении с дви-

гателем внутреннего сгорания (ДВС). В обоих агрегатах присутствуют камеры сгорания, где энергия топлива преобразуется в механическую энергию движения газа, сообщаящую перемещение поршней в ДВС, или обеспечивающую создание ЭДС в МГД-генераторе. Объем камер сгорания автомобильных ДВС составляет обычно 2–4 л при массе двигателей 300–800 кг. Эффективность МГД-генератора и ДВС определяется такими параметрами канала с газом, как температура, давление и скорость перемещения газа. Если принять температуру и давление одинаковыми для обоих вариантов, то скорость перемещения газа у МГД-генератора может быть в сотню раз выше, чем у ДВС. В этом существенное преимущество МГД-генераторов перед ДВС, у которых значение указанной скорости, ограниченное инерционной массой поршневого механизма и связанных с ним узлов, составляет 6–10 м/с.

На рис. 1 дана блок-схема предлагаемой конструкции электромобиля: I – баллон с газом; II – МГД-генератор; III – преобразователь постоянного тока в переменный с изменяющимися напряжением, частотой и амплитудой, необходимый для питания асинхронного двигателя и как орган, задающий режим работы электромобиля; IV – тяговый двигатель.

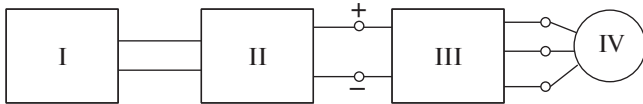


Рис. 1. Блок-схема энергетической установки электромобиля

В МГД-генераторах формирование электромагнитных сил  $F_K$  и ЭДС  $E_K$  определяется произведениями пространственных векторов:

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V}; \quad F_K = \vec{\phi} i_K,$$

где  $B$  – индукция магнитного потока, создаваемого полюсной системой;  $V$  – скорость движения ионизированного газа;  $i_K$  – ток канала в зоне магнитного поля.

Обычно МГД-генераторы имеют одноканальную конструкцию. Однако в [7, 8] показано, что эффективность МГД-генератора увеличивается, если число каналов больше двух, что и принято в настоящей статье.

Далее эскизно намечены элементы конструкции МГД-генератора для электромобиля и пояснены происходящие в нем процессы. Эскиз поперечного разреза МГД-генератора дан на рис. 2. Имеются два канала  $I$ , выполненные в виде расширяющихся сопел относительно оси  $AA$ . По обеим сторонам каналов расположены обмотки возбуждения  $2$  для

создания магнитного потока. К стенкам каналов прилегают элементы конструкции  $3$ , которые могут быть заполнены магнитопроводящим порошком. Для защиты обмоток возбуждения от высокой температуры ионизированного газа предусмотрены теплоизолирующие перегородки  $4$ . Магнитный поток должен быть замкнутым, поэтому целесообразны ферромагнитные накладки  $5$ , обеспечивающие снижение МДС для создания индукции  $B$  в каналах. Ионизированный газ при повышенных давлении и скорости поступает в узкое сечение каналов через боковые отверстия, расположенные по оси  $AA$ . При индукции  $B$  и движении газа со скоростью  $V$  в проводнике – ионизированном газе – создается ЭДС  $\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V}$ .

Продвижению ионизированного газа от мень-

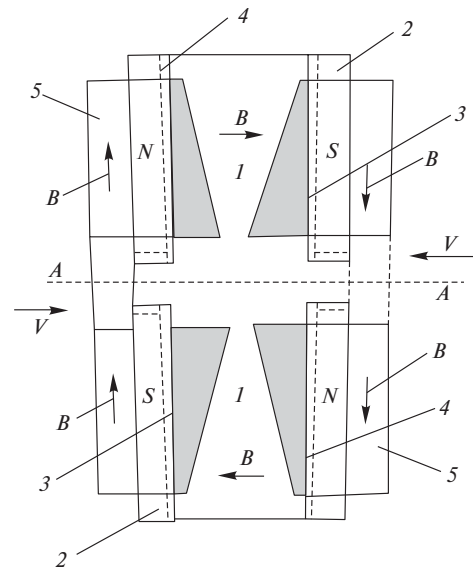


Рис. 2. Эскиз поперечного разреза МГД-генератора

шего сечения канала к большему препятствует сила  $F_K = B \times i$ . Электромагнитная мощность в МГД-генераторе пропорциональна произведению  $E$  и  $F_K$ .

Расчет МГД-генератора сложен, поскольку канал выполнен в виде суживающегося сопла с неравномерным распределением индукции, скорости движения ионизирующего газа неодинаковы, кроме того, необходимо учесть ряд побочных явлений, характерных для машин такого рода.

Выполним поверочный расчет машины. Намечая размеры ее элементов, исходим из заданной мощности 40 кВт, средних значений индукции в каналах и скорости перемещения по ним ионизированного газа. При таких условиях вычислим ЭДС и токи в каналах, предварительно задав его размеры: высота 0,3 м, средняя ширина 0,08 м, поперечная длина 0,6 м. Далее выполним расчет полюсной системы и потерь в ней, затем определим ЭДС и токи ионизированного газа, а также потери в каналах.

*Расчет полюсной системы.* МДС в воздушном зазоре одного полюса  $F_{\delta} = 0,8B_c \delta 10^6$  А. Примем среднюю индукцию  $B_c = 0,4$  Тл, зазор  $0,04$  м, тогда

$$F_{\delta} = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,04 \cdot 10^6 \text{ А.}$$

Ввиду низкого значения индукции МДС ферромагнитных участков можно не учитывать. Примем ток полюсов  $100$  А, тогда число витков на полюс  $12,8 \cdot 10^3 / 100 = 128$ .

Принимая плотность тока  $5$  А/мм<sup>2</sup>, получаем сечение  $q = 100 / 5 = 20$  мм<sup>2</sup>. Длина одного витка  $L_B = 2(0,3 + 0,6) = 1,8$  м (здесь  $0,6$  м – поперечная длина канала). Длина всех витков катушки  $L_K = 1,8 \cdot 128 = 230,4$  м. Сопротивление катушки  $R_K = \rho L_K / q = 1 / 57 \cdot 230 / 20 = 0,2$  Ом. Потери в катушке  $\Delta P_K = I_K^2 R_K = 100^2 \cdot 0,2 = 2000$  Вт =  $2$  кВт. Потери в полюсной системе  $2 \cdot 4 = 8$  кВт. При большом зазоре потери значительны, но приемлемы.

*Расчет ЭДС, токов и потерь в канале.* ЭДС и токи в канале направлены тангенциально по отношению к оси  $AA$ , длина канала в этом направлении  $L_K = 0,6$  м, тогда ЭДС составит  $E = B_c L_K V_K$ . Принимая  $B_c = 0,4$  Тл и  $V_K = 1000$  м/с, получаем  $0,4 \cdot 0,6 \cdot 1000 = 240$  В; каналы соединены последовательно, поэтому  $2E = 480$  В. При мощности установки  $40$  кВт ток канала  $40000 / 480 = 83,3$  А. Для расчета электрических потерь необходимо знать омическое сопротивление ионизированного газа. По данным [6], удельная проводимость ионизированного газа составляет  $45$  Ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup>, тогда при длине канала  $0,6$  м получим проводимость  $45 \cdot 0,6 = 27$  Ом<sup>-1</sup> или сопротивление канала  $r_K = 1 / 27 = 0,037$  Ом. Электрические потери в двух каналах составят  $I_K^2 r_K = 83,3^2 \cdot 0,037 = 257$  Вт.

Столь малые омические потери объясняются тем, что сечение канала значительно при его малой длине и небольшом токе. КПД электрической части энергетической установки составит  $\eta_{\varepsilon} = 40 / (40 + 8 + 0,26) = 0,828$ . Термический КПД тепловой машины зависит от разности температур ионизированного газа на входе в канал и выходе из него. Примем его значение равным  $0,4$ , учитывая, что по циклу Карно он не может быть больше  $0,5$ , тогда обобщенный КПД энергетической установки электромобиля составит  $\eta_c = \eta_{\varepsilon} \eta_T = 0,828 \cdot 0,4 = 0,33$ . КПД электромобиля с аккумуляторной батареей может быть выше, но незначительно, так как существенно внутреннее сопротивление батареи, а тягово-эксплуатационные показатели такой машины несовершенны.

Вычислим продолжительность хода газового электромобиля на одном баллоне сжиженной смеси бутан-метан. В баллон при давлении  $16$  атм

закачивается до  $30$  кг газа. Энергоемкость одного килограмма такого газа составляет  $120000$  кДж/кг [9], тогда энергоемкость баллона будет  $120000 \cdot 30 = 3,6 \cdot 10^9$  кДж. При мощности  $40$  кВт и  $8$  ч непрерывной работы электромобиля суточный расход энергии составит  $40 \cdot 8 = 320$  кВтч или  $1,15 \cdot 10^9$  Дж. С учетом полного КПД энергетической установки расход газа должен увеличиться до значения  $1,15 / 0,33 = 3,49 \cdot 10^9$  кДж. Следовательно, одного баллона газа вполне достаточно для суточной работы электромобиля.

Таким образом, по объему и массе генераторной установки газовый вариант электромобиля предпочтительней установки на базе аккумулятора и может найти применение не только на микроавтобусах, но и на грузовых автомобилях, в том числе большегрузных самосвалах, где электрический привод – единственно приемлемый.

В статье представлен на обсуждение эскизный вариант решения острой экологической проблемы, которая нуждается в детальной тщательной переработке с привлечением заинтересованных организаций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Электромобиль.** Техника и экономика/Под ред. В.А. Щетина. – Л.: Машиностроение, 1987.
2. **Балабаева И., Васильев В.** Шире внедрять газобаллонную технику на автомобильном транспорте. – Автомобильная промышленность, 2010, № 2.
3. **Пронин Е.** Развитие газомоторного рынка России. – Транспорт РФ, 2006, № 4.
4. **Балабаева И.** Альтернативное топливо и системы приводов для легких грузовиков. – Автомобильная промышленность, 2009, № 9.
5. **Магнитогидродинамический** метод получения электроэнергии/Под ред. В.А. Кирилина, А.Е. Шейдлина. – М.: Энергия, 1971.
6. **Велихов Е.П., Волков Ю.М.** Перспективы развития МГД-энергетики и ее применение в геологии и геофизике. – М.: Мир, 1981.
7. **Патент № 2346378 (РФ).** Электрическая машина радиального движения/А.С. Курбасов.
8. **Курбасов А.С.** Электрические машины с радиальным передвижением подвижной тяги. – Электричество, 2009, № 1.
9. **Куликов В.Т., Покалюк А.И.** Топливо и масла. – М.: МИИТ, 1969.

[30.05.10]

*Авторы: Курбасов Александр Севостьянович окончил в 1951 г. Московский электромеханический институт железнодорожного транспорта по специальности электромеханик. Защитил докторскую диссертацию в 1967 г. Почетный профессор Московского государственного университета путей сообщения (МГУПС).*

*Курбасов Михаил Борисович окончил МГУПС в 2009 г. по специальности математик-программист. Сотрудник фирмы ООО «Неткрекер».*