

# Инновационные возможности совершенствования транспортных средств

А. С. КУРБАСОВ, докт. техн. наук, профессор Московского университета путей сообщения



**Статья посвящена принципиально новым решениям в области движущихся экипажей — автомобилей, тепловозов и др. Рассматривается вопрос об использовании в качестве энергетической установки магнито-гидродинамических генераторов (МГДГ), что создает условия для превращения автомобиля в электро-мобиль с приемлемыми показателями. Кроме того, с помощью нового решения можно улучшить тягово-эксплуатационные свойства тепловоза. Задача создания электро-мобиля актуальнее модернизации тепловоза, поэтому в статье приведены расчеты по энергетической установке электро-мобиля.**

Использование МГДГ в силовой электроэнергетике 40 лет назад рассматривалось как глобальная задача, работы в этой области вели все передовые страны. Изложение существа вопроса и сведения по накопленному опыту исследований представлены в [1]. Возникли трудности с поддержанием устойчивости высокотемпературной плазмы в течение длительного времени, проблемы с подбором материалов, используемых в МГДГ. Работы были в значительной степени сокращены, хотя отдельные исследования продолжают.

Примечательно, что в [1] академики В. А. Кирилин и А. Е. Шейндлин, говоря о возникших трудностях, отметили безусловную перспективность использования МГДГ в транспортных средствах. Именно это обстоятельство и побудило автора статьи проработать энергетическую установку с МГДГ для электро-мобиля в качестве примера, подтверждающего новые возможности таких генераторов.

Выхлопные газы автомобиля — основные загрязнители атмосферы; для мегаполисов это становится трагедией. Поэтому последние 50 лет все автомобилестроительные фирмы занимаются проблемой электро-мобиля. Однако до массового использования электро-мобилей дело не доходит. Причина в плохих эксплуатационных показателях аккумуляторных батарей, хотя пока только они служили приемлемой энергетической установкой электро-мобиля. Масса аккумуляторной батареи составляет около 30% всей массы электро-мобиля. Необходимость частых подзарядок сокращает

его суточный пробег. Срок службы аккумуляторных батарей ограничен числом циклов заряд-разряд. Появились ионно-литиевые батареи, но их цена столь высока, что электро-мобиль невозможно сделать рентабельным. Эти трудности показаны в [2].

В качестве промежуточного решения экологической проблемы предложено в автомобилях заменить бензин природным газом [3]. Такая тенденция поддерживается в развитых странах, особенно в США. При этом выбросы в атмосферу соединений CO и CH снижаются в два-шесть раз [4]. Для России указанная проблема особенно актуальна, поскольку у нас наибольшие запасы газа. При использовании двигателей внутреннего сгорания замена бензина газом осуществляется достаточно просто, практически не требуется изменения их конструкции. Доказано, что наиболее целесообразно использование сжиженного газа

Следующий шаг — замена двигателя внутреннего сгорания на МГДГ. Это нововведение автора статьи, пилотный проект, требующий предварительного обоснования.

Основные элементы конструкции МГДГ приведены на эскизе поперечного его разреза (рис. 1). В камере сгорания газ ионизируется за счет присадки окислов калия и под повышенным давлением с высокой скоростью подводится к каналу (рис. 1, 1) через боковые отверстия по оси А-А. Каналы выполнены в виде сопла, сужающегося на входе и расширяющегося на выходе. В каналах создается магнитное поле с индукцией  $B$ , образованное полюсной

системой 2. Сужение каналов обеспечивается вставками 3, заполненными ферромагнитным материалом. Чтобы не допустить перегрева полюсов, используются теплоизолирующие прокладки 4. Магнитный поток должен быть замкнутым, что обеспечивается боковыми ферромагнитными прокладками 5.

Электромагнитные процессы в МГДГ, как и в любой электрической машине, связаны следующими векторными уравнениями:

$$\vec{E} = \vec{B} \times \vec{V}; F_k = \vec{\phi} \cdot \vec{i}_k$$

где  $E$  — ЭДС канала;

$B$  — индукция магнитного потока, создаваемого полюсной системой;

$V$  — скорость движения ионизированного газа в каналах;

$F_k$  — электромагнитная сила, препятствующая повышению давления газа в каналах;

$i_k$  — ток канала, направленного поперек оси А-А. Произведение  $E$  на  $F$  составляет электромагнитную мощность МГДГ.

Блок-схема энергетической установки электро-мобиля представлена на рис. 2. Заметим, что блок III необходим и в электро-мобиле с аккумуляторной батареей. Между баком и МГДГ помещен редуктор, превращающий жидкий газ в газообразный.

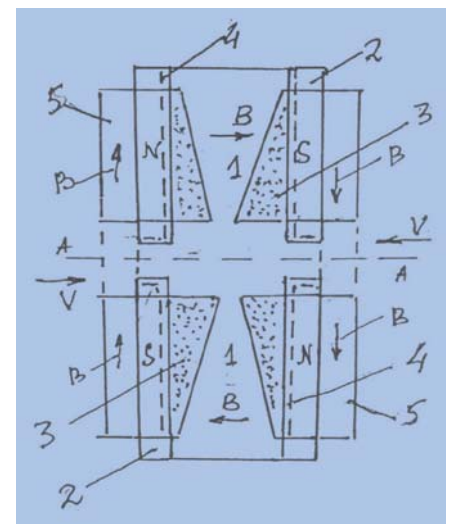
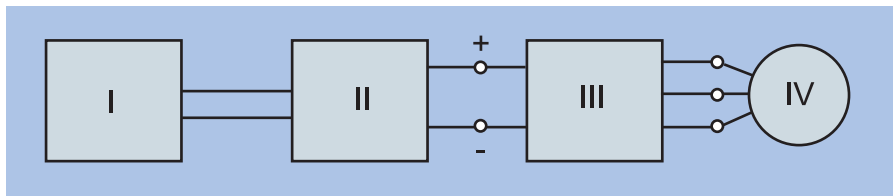


Рис. 1. Эскиз поперечного разреза МГДГ (пояснения в тексте)



**Рис. 2. Блок-схема электромотоцикла.** I — бак с жидким газом, II — МГДГ, III — электронный преобразователь постоянного тока на выходе МГДГ в переменный для питания асинхронного двигателя (блок IV)

Далее был выполнен проверочный расчет МГДГ генератора для электромотоцикла со средней мощностью 30 кВт. Прежде всего отметим некоторые качественные преимущества МГДГ по сравнению с двигателем внутреннего сгорания (ДВС). В том и другом агрегате имеется камера сгорания, где энергия топлива преобразуется в механическую энергию движения газа, обеспечивающую перемещение поршней в ДВС или создание ЭДС в МГДГ. Объем камер сгорания автомобильных ДВС обычно 2–4 л, при этом массы двигателей составляют 300–800 кг. Эффективность МГДГ и ДВС определяется следующими параметрами канала с газом: температурой, давлением и скоростью перемещения газа. Если принять, что температура и давление одинаковые в том и другом варианте, то скорость перемещения газа в МГДГ может быть в сто раз выше, чем в ДВС. В этом существенное преимущество МГДГ перед ДВС, у которых указанная скорость ограничена инерционной массой поршневого механизма и связанных с ним узлов и составляет 6–10 м/с.

Основы расчета МГДГ приведены в [5], где вырабатываемая электрическая мощность  $P$  представлена как

$$P = m \cdot [C_p (T_0 - T_1) + \frac{1}{2} (V_0^2 - V_1^2)],$$

где  $m$  — массовый расход ионизированного газа, кг/с;

$C_p$  — удельная теплоемкость;

$T_0, T_1$  — температура газа на входе в канал и на выходе из него соответственно;

$V_0, V_1$  — скорость газа на входе в канал и на выходе из него соответственно.

Из приведенного выражения ясно, что электрическая мощность в МГДГ формируется за счет разницы температур и скоростей перемещения газа в каналах.

Расчет МГДГ сложен: канал выполнен в виде суживающегося сопла с неравномерным распределением индукции; неодинаковы скорости движения ионизирующего газа, кроме того, для машин такого рода характерны побочные явления.

Выполним расчет машины, наметив размеры ее элементов соответственно заданной мощности 30 кВт, средним значениям индукции в каналах и скоростям перемещения в них ионизированного газа. Прежде всего выберем размеры канала, приняв высоту 0,3 м, среднюю ширину 0,08 м, поперечную длину 0,6 м. Далее выполнен расчет полюсной системы и потери в ней, затем расчет ЭДС и токов ионизированного газа и омические потери в каналах.

### Расчет полюсной системы

Магнитодвижущая сила (м.д.с) на воздушный зазор одного полюса  $F\delta = 0,8 \cdot B_c \cdot \delta \cdot 10^6$  А.

Примем среднюю индукцию  $B_c = 0,4$  Тл, зазор 0,04 м, тогда

$$F\delta = 0,8 \cdot 0,4 \cdot 0,04 \cdot 10^6 = 12,8 \cdot 10^3$$

Ввиду низкой индукции для м.д.с влияние ферромагнитных участков можно не учитывать. Примем ток полюсов 100 А, тогда число витков на полюс  $12,8 \cdot 10^3 / 100 = 128$ .

Приняв плотность тока 5 А/мм<sup>2</sup>, получим сечение  $q = 100 / 5 = 20$  мм<sup>2</sup>. Длина одного витка  $L_k = 2 \cdot (0,3 + 0,6) = 1,8$  м; здесь 0,6 м — поперечная длина канала. Длина всех витков катушки  $L_k = 1,8 \cdot 128 = 230,4$  м. Сопротивление катушки:

$$R_k = \rho \cdot L_k / q = 1/57 \cdot 230/20 = 0,2$$
 Ом.

Потери в катушке  $\Delta P_k = I_k^2 \cdot R_k = 100^2 \cdot 0,2 = 2000$  Вт = 2 кВт.

Потери в полюсной системе 2·4=8 кВт. Потери значительны при большом зазоре, но приемлемы.

### Расчет ЭДС, токов и потерь в канале

ЭДС и токи в канале направлены тангенциально оси А–А, длина канала в этом направлении  $L_k = 0,6$  м. Тогда ЭДС составит  $E = B_c \cdot L_k \cdot V_k$ ; приняв  $B_c = 0,4$  Тл и  $V_k = 1000$  м/с, получим  $E = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 1000 = 240$  В.

Каналы соединены последовательно, тогда  $2E = 480$  В.

Приняв мощность установки 30 кВт, получим ток канала  $30000/480 = 62,5$  А.

Для расчета электрических потерь необходимо знать омическое сопротивление ионизированного газа. По данным [6] удельная проводимость ионизированного газа составляет  $45 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ . Тогда при длине канала 0,6 м получим проводимость  $45 \cdot 0,6 = 27 \text{ Ом}^{-1}$ , или сопротивление канала  $r_k = 1/27 = 0,037$  Ом.

Электрические потери в двух каналах составят  $I_k^2 \cdot r_k = 62,5^2 \cdot 0,037 = 105$  Вт.

Столь малые омические потери объясняются тем, что сечение канала значительно при его малой длине и небольшом токе. КПД электрической части энергетической установки составит  $\eta_s = 40 / (40 + 8 + 01) = 0,83$ .

Термический КПД тепловой машины зависит от разности температур ионизированного газа на входе и выходе каналов. Поскольку он строго не рассчитан, примем его равным 0,4, учитывая, что по циклу Карно он не может быть больше 0,5. Тогда обобщенный КПД энергетической установки электромотоцикла составит  $\eta_c = \eta_s \cdot \eta_T = 0,83 \cdot 0,4 = 0,33$

КПД электромотоцикла с аккумуляторной батареей может быть выше, но значительно, так как существенно внутреннее сопротивление батареи, а тягово-эксплуатационные показатели такой машины несовершенны.

Вычислим продолжительность хода газового электромотоцикла на одном баллоне сжиженной смеси бутан–метан. В баллон при давлении 16 атм. закачивается до 23 кг газа. По имеющимся данным энергоемкость одного килограмма такого газа составляет 55000 кДж, тогда энергоемкость баллона будет  $55000 \cdot 23 = 12,6 \cdot 10^5$  кДж. При мощности 30 кВт и непрерывной работе микроэлектромотоцикла в течение семи часов суточный расход энергии составит  $30 \cdot 7 = 270$  кВтч или  $9,7 \cdot 10^6$  кДж. С учетом полного КПД энергетической установки расход газа должен увеличиться до значения  $9,7 \cdot 10^6 / 0,33 = 29,3 \cdot 10^6$  кДж.

Следовательно, требуются два баллона газа для суточной работы электромотоцикла. На рис. 3 показан микроавтобус с двумя баллонами газа [6].

В статье представлен на обсуждение один из вариантов решения острой экологической проблемы загрязнения автомобилями атмосферы. В качестве примера рассмотрен микроавтобус. Однако газовый электромотоцикл может найти широкий спрос и как грузовой автомобиль, в том числе большегрузный самосвал, где приемлем только электрический привод.



Рис. 3. Фото электромобиля, работающего на газе

Электромобиль — далеко не единственное целесообразное применение сжиженного газа. В сборнике «Сжиженный природный газ: вчера, сегодня, завтра» [7] показано, что он может эффективно использоваться на тепловозах (подтверждено расчетами, выполненными автором настоящей статьи), а также на самолетах. Отметим, что на самолетах, вклад которых в общее загрязнение атмосферы составляет 20%, достигается значительный экономический эффект при улучшении экологической ситуации. Показано, что переход на более дешевый и менее дефицитный по сравнению с керосином сжиженный газ обеспечивает существ-

венное снижение себестоимости перевозок.

Сочетание сжиженного газа — накопителя энергии, с энергетической установкой нового класса — МГДГ, придает новые качества автономным транспортным средствам, расширяя сферу их применения. В России есть отдаленные малонаселенные районы с большими запасами сырья. Для связи места добычи с жилым комплексом мыслима монорельсовая дорога с достаточной провозной способностью, экипаж которой имеет электрический привод, питаемый от МГДГ. Новые идеи — простор для изобретательства.

Таким образом, в России постепенная замена на автомобилях жидкого топлива газом, преимущественно сжиженным, может быть весьма целесообразной. Отметим еще раз, что перевод транспортных средств на электрическую тягу с использованием МГДГ — пока пилотный проект, требующий детальной проработки. Однако и сегодня очевидно, что отсутствие узлов трения в силовой энергетической установке позволит существенно сократить эксплуатацион-

ные расходы, перейти на современное электронное управление экипажами, уменьшить шум. Можно рассчитывать, что МГДГ будет достаточно надежным, работая в режиме низкотемпературной плазмы.

Использование на автономных транспортных средствах электрической тяги позволит расширить их ассортимент с учетом специфических для России условий их применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Магнитогидродинамический метод получения электроэнергии / Ред. В. А. Кирилин, А. Е. Шейдлин. М.: Энергия, 1960.
2. Электромобиль: Техника и экономика / Под ред. В. А. Щегина. Л.: Машиностроение, 1987.
3. Пронин Е. Развитие газомоторного рынка России // Транспорт РФ. 2006. — № 4. — С. 31–34.
4. Балабаева И., Васильев В. Эпоха метана // Автомобильная промышленность. 2010. — № 1.
5. Бертинов А. И., Бут Д. А. Вопросы проектирования линейных МГД-генераторов. М.: МЭИ, 1966.
6. Баранин И. В., Кунис И. Д. Сжиженный газ: вчера, сегодня, завтра. М.: МГТУ им. Баумана, 2009.



**9-10 сентября 2010**  
**Санкт-Петербург**

III Международная конференция  
**«Санкт-Петербург – морская столица РОССИИ**  
**Транспортно-транзитный потенциал»**



**В программе:**  
Перспективы развития транспортно-логистического комплекса России  
Развитие и эксплуатация панъевропейских транспортных коридоров  
Внедрение инновационных технологий в логистике  
Пути развития интермодальных транспортных коммуникаций  
Перспективы создания СРО в транспортно-логистической сфере

**Мероприятие состоится при поддержке и участии:**

- Министерство транспорта Российской Федерации
- Министерство экономического развития Российской Федерации
- Федеральные службы автомобильного, железнодорожного, морского и речного транспорта
- Комитет по транспортно-транзитной политике Правительства Санкт-Петербурга
- Администрации 35 регионов Российской Федерации
- Представители транспортно-логистических, судоходных и промышленных компаний
- Делегаты из стран Европы и Азии

**Дополнительная информация:**

т.: +7 (812) 327-93-70,  
+7 (812) 370-16-02  
[www.global-port.ru](http://www.global-port.ru)








Оператор конференции:

