

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ (МГД) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Рыжиков К.В.¹, Гончаров В.И.²

¹Рыжиков Кирилл Валерьевич – магистрант;

²Гончаров Владимир Иванович - старший преподаватель,
кафедра электромеханики, электрических и электронных аппаратов,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Национальный исследовательский университет
Московский энергетический институт,
г. Москва

Аннотация: за последнее десятилетие магнитная гидродинамика несжимаемой жидкости, а также физика холодной и горячей плазмы оформились в самостоятельную науку, и активно применяются разработки, созданные в этой области. Тематика этой науки весьма интересна и сложна и, тем не менее, она нашла применение в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: магнитная гидродинамика, МГД–двигатель, МГД–генератор, МГД–насос.

Перемещение проводящих жидкостей и жидких металлов магнитогиродинамическими насосами, измерение параметров и скоростей транспортируемых жидкостей, прямое преобразование тепловой энергии в электрическую с помощью магнитогиродинамических генераторов, удержание горячей плазмы в установках управляемой термоядерной реакции, создание плазменных и других двигателей, проблемы входа в земную атмосферу спутников и баллистических ракет – вот далеко не полный перечень применения в технике магнитной гидродинамики [1].

Быстрое распространение за последние годы прикладных наук потянуло за собой создание огромного количества изобретений, которые начали применяться и применяются по сей день. С того момента как появились ядерные реакторы, активно начали применяться жидкометаллические насосы для охлаждения, а также в металлургической отрасли в устройствах транспортировки и перемешивания расплавленных металлов. Весьма продуктивные работы в сфере управляемой термоядерной энергии определили, что удержание горячей плазмы вдали от стенок может быть реализовано только магнитогиродинамическим способом. Развитие в области летательных космических аппаратов и межконтинентальных ракет открыли возможности электромагнитного ускорения ракетного топлива для повышения удельного импульса ракеты.

Активное распространение получила, уже старая, идея получать электрическую энергию из горячих ионизированных газовых потоков или холодной плазмы. МГД–генераторы позволяют существенно повысить КПД энергетических установок и использовать их и на космических кораблях. Другие практические применения МГД–устройств стимулировали дальнейший прогресс в науке и технике.

Сложно предсказать возможные способы применения магнитогиродинамических насосов. При рассмотрении вариантов применения необходимо помнить следующую особенность, что электротехническая медь имеет электропроводность на много выше электропроводности плазмы и жидких металлов, что добавляет особый нюанс к сфере применения подобного устройства. МГД–установки должны применяться только там, где жидкость не может быть заменена твердой медью или другими твердыми проводящими телами.

МГД-машина. Принцип действия и устройство.

Внутри подобных машин токи в рабочем теле (жидкие металлы, плазма) индуцируются переменным магнитным полем, между рабочим телом и внешней электрической цепью отсутствует электрическая связь, а следовательно стенки каналов могут быть неэлектропроводными. По своему принципу работы, индукционные МГД-машины напоминают асинхронный двигатель или генератор.

МГД-машина устроена следующим образом. Индуктор машины состоит из двух ферромагнитных сердечников, собранных из листовой электротехнической стали и многофазной обмотки, расположенной в пазах сердечников. Традиционно применяются трехфазные обмотки, подобные обмоткам нормальных асинхронных машин. Между сердечниками расположен канал с жидким металлом. Стенки канала в зависимости от свойств и температуры жидкого металла могут быть металлическими, графитовыми, керамическими и т. д. В промежутке между каналом и сердечниками традиционно прокладывают слой тепловой изоляции. Но, например, при щелочных металлах тепловая изоляция нередко отсутствует, обмотки изготавливаются из проводников с жаростойкой изоляцией, и машина в целом заключается в оболочку, наполненную каким-либо инертным газом, например, аргоном [2].

Для создания так называемого бегущего поля, обе обмотки на сердечниках индуктора включаются согласно друг с другом. Данное поле можно сравнить с вращающимся полем в асинхронном двигателе. Бегущее магнитное поле индуцирует в жидком металле токи, и в результате взаимодействия этих токов

с магнитным полем возникают электромагнитные силы, действующие на частицы жидкого металла. В жидком металле развивается напор, и металл приходит в движение.

В случае, если протекающий внутри насоса металл разогнать, при помощи внешних усилий, до скорости большей скорости магнитного поля, то МГД-машина перейдет в генераторный режим работы и будет отдавать электрическую энергию в сеть переменного тока.

Индукционные МГД-машины способны взаимодействовать с плазмой, и в режиме двигателя, так и в режиме генератора. Но по сравнению с металлом, обычная термически ионизированная плазма имеет сравнительно малую электропроводность [порядка 10 (ом-м)^{-1} при $v = 2000^\circ\text{C}$ по сравнению с $46 \times 10^6 \text{ (ом-м)}^{-1}$ у меди при $v = 75^\circ\text{C}$]. При подобных показателях индукционные МГД-машины неэффективны, они будут иметь весьма низкий КПД.

Из изложенного можно сделать вывод, что МГД-машины по своему устройству и принципу действия аналогичны электрическим машинам нормального исполнения и отличаются от них главным образом тем, что вместо ротора с твердыми проводниками роль ротора и его обмотки в МГД-машине выполняет жидкий металл или плазма. Как и обычные электрические машины, МГД-машины являются обратимыми, т. е. каждая машина может работать как в режиме генератора, так и двигателя.

МГД-генераторы с жидкометаллическим рабочим телом могут быть применимы в качестве источников электрической энергии в разных стационарных и передвижных устройствах, в частности в космических кораблях. Первичным источником энергии при этом является атомный реактор с жидкометаллическим теплоносителем (например, натрий, калий и их сплавы). После выхода из реактора жидкий металл, за счет содержащейся в нем тепловой энергии, разгоняется в специальных разгонных устройствах до высокой скорости, порядка $100\text{—}200 \text{ м/сек}$ и затем пропускается через канал МГД-генератора, в котором кинетическая энергия металла превращается в электрическую. Очень важной частью такой энергетической установки является разгонное устройство, от совершенства и энергетического к.п.д. которого во многом зависит эффективность всей энергетической установки в целом.

Индукционные МГД-генераторы, при подключении к ним конденсаторных батарей, способны самовозбуждаться аналогично асинхронным генераторам. Техничко-экономические показатели индукционных МГД-машин заметно хуже, чем у нормальных асинхронных электрических машин, что обусловлено следующими причинами. Из-за относительно большой, величины немагнитного зазора между сердечниками индуктора линейные токовые нагрузки обмоток приходится брать большими, в результате увеличивается намагничивающий ток, а вследствие этого потери в обмотках этих машин достаточно велики.

Тема гидродинамических машин весьма интересна и требует глубокого изучения и расширения тематики. В данной статье был рассмотрен принцип работы подобного устройства и озвучены актуальные направления развития данной тематики. Хочется подчеркнуть, что ни одно новое изобретение не появляется из неоткуда, каждому труду предшествуют долгие годы изучения и кропотливой работы. Я считаю, обработка подобной информации весьма плодотворно влияет на формирование интеллекта молодого ученого.

Список литературы

1. Электронная библиотека кафедры Электромеханики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elmech.mpei.ac.ru/books/main.html/> (дата обращения: 14.12.2017).
2. Файловый архив студентов StudFiles. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/2215957/> (дата обращения: 10.12.2017).