

УДК 621.313.522

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ
В ЭНЕРГЕТИКЕ
PROSPECTS FOR THE USE OF MAGNETOHYDRODYNAMIC
GENERATORS IN THE POWER INDUSTRY**

А. П. Каменко

Научный руководитель – И. Н. Прокопеня, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

А. Kamenko

Supervisor – I. Prokopenya, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** краткое описание принципа работы МГД-генератора и его типов, перспектив его использования в современной энергетике.*

***Abstract:** a brief description of the principle of operation of the MHD generator and its types, prospects for its use in modern power industry.*

***Ключевые слова:** магнитогидродинамическая (МГД) генерация энергии, нетрадиционная генерация энергии, токопроводящая жидкость, МГД-генератор, теплоэнергетика.*

***Keywords:** magnetohydrodynamic (MHD) power generation, nonconventional power generation, conducting fluid, MHD generator, thermal power engineering.*

Введение

Концепция МГД-генерации энергии была впервые представлена Майклом Фарадеем в 1832 году. Он сделал попытку измерить напряжение, созданное движением потока воды в магнитном поле Земли. И надо сказать, что его опыт удался. Даже при весьма несовершенной измерительной технике того времени и не очень хорошем проводнике, каким была вода Темзы, он получал вполне ощутимые, хоть и нестабильные, показания приборов [1].

Этот эксперимент в некотором роде изложил основную концепцию магнитогидродинамического генератора или сокращенно МГД-генератора.

Основная часть

МГД-генераторы – устройства, в которых в соответствии с законами магнитогидродинамики происходит преобразование энергии рабочего тела (движущейся жидкости, обычно ионизированного газа или плазмы) в электрическую энергию.

Принцип работы МГД-генераторов, как и обычных электрических генераторов, основан на законе индукции Фарадея. В электропроводящей жидкости, движущейся со скоростью \vec{v} в магнитном поле \vec{B} , индуцируется электродвижущая сила $(\vec{v} \times \vec{B})$ [2]. Когда электроды, подключенные к внешней цепи, расположены так, чтобы по ним текла жидкость,

электрический ток определенной плотности \vec{j} создается электродвижущей силой, причем ток ограничивается законом Ома. На рис. 1 [3] приведена принципиальная схема теплосиловой установки с МГД-генератором.

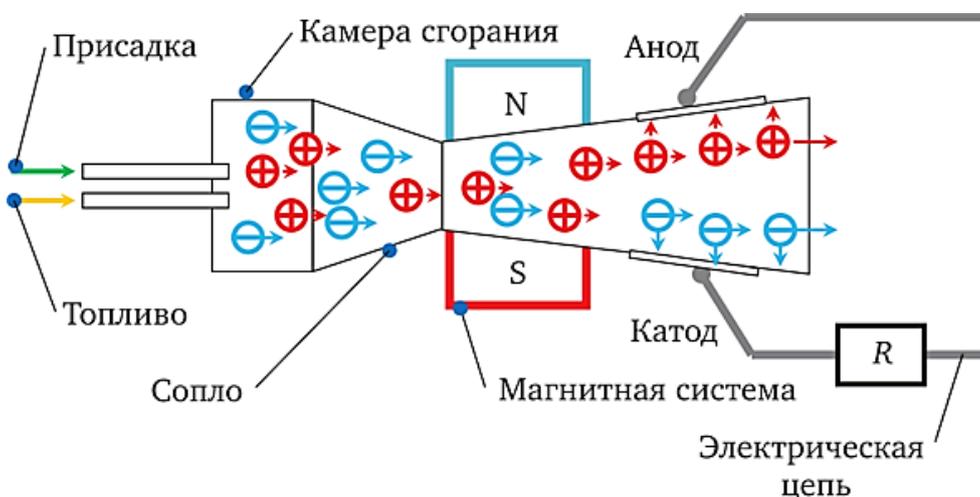


Рисунок 1 – Принципиальная схема теплосиловой установки с МГД-генератором

В канале жидкость работает против электромагнитной объемной силы ($\vec{j} \times \vec{B}$). Часть этой работы расходуется на выработку электроэнергии во внешней цепи (нагрузке). В отличие от обычного турбогенератора, МГД-генератор не имеет движущихся частей, что позволяет существенно повысить температуру рабочего тела.

Выходная мощность МГД-генератора на каждый кубический метр объема его канала пропорциональна произведению проводимости жидкости, квадрату скорости жидкости и квадрату напряженности магнитного поля, через которое проходит жидкость [4]:

$$P = \frac{\sigma v^2 B^2}{\rho} \quad (1)$$

где σ – электропроводность проводящей жидкости, См/м;

v – скорость жидкости, м/с;

B – напряженность магнитного поля, Тл;

ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Чтобы обеспечить эффективную работу МГД-генератора и чтобы он обладал разумными физическими размерами, электропроводность плазмы должна находиться в при температуре выше 1800 К (1527 °С).

Соответствующее значение электропроводности – от 10 до 50 сименс на метр – может быть достигнуто, если в горячий газ вводится добавка, обычно около 1 процента по массе. Эта добавка представляет собой легко ионизируемый щелочной материал, такой как цезий, карбонат калия или натрий и называется «затравкой». В то время как цезий обладает самым низким потенциалом ионизации (3,894 эВ), калий (4,341 эВ) – дешевле.

Горячий газ с его затравкой находится под давлением в несколько миллионов паскаль. Он разгоняется соплом до скорости в 1000–2000 м/с. Затем газ поступает в канал, поперек которого создается мощное магнитное поле.

Как правило, для создания магнитного поля используется сверхпроводящий магнит. Создается электродвижущая сила, действующая в направлении, перпендикулярном как потоку, так и полю, а стенки, параллельные магнитному полю, служат электродами для подачи тока во внешнюю электрическую цепь. Остальные две стенки канала являются электрическими изоляторами.

Теоретически, МГД-система с проводимостью газа 25 См/м, средним магнитным полем в 3 Тл и средней скоростью газа 1000 м/с способна генерировать электроэнергию плотностью около 250 МВт на кубический метр объема канала.

Конструкция МГД-генератора Фарадея.

Конструкция простого генератора Фарадея (рис. 2) [5] включает в себя клиновидную трубу, изготовленную из непроводящего вещества. Мощный электромагнит создает магнитное поле и позволяет проводящей жидкости проходить через него перпендикулярно, вызывая напряжение. Electrodes расположены под прямым углом к магнитному полю для извлечения выходной электрической мощности.

Такая конструкция имеет ограничения, такие как тип используемого поля и плотность. В конечном счете, количество энергии, потребляемое с использованием конструкции Фарадея, прямо пропорционально площади трубки и скорости токопроводящей жидкости.

Основным недостатком МГД-генератора Фарадея является то, что между электродами по бокам используемой трубы может произойти короткое замыкание. Кроме того, конструкция страдает от ограничений, налагаемых плотностью жидкости, а также типом используемого магнитного поля.

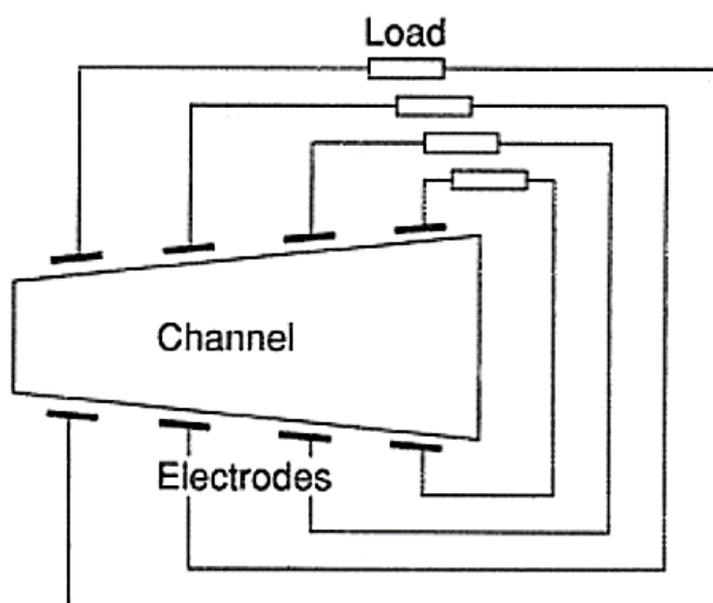


Рисунок 2 – Конструкция МГД-генератора Фарадея

МГД-генератор Холла.

В МГД-генераторе Фарадея большое количество тока, вырабатываемого на выходе генератора, взаимодействует с магнитным полем, присутствующим в системе, и, следовательно, приводит к смещению заряженных частиц в направлении, перпендикулярном направлению пути потока жидкости, которое известно, как эффект Холла. В результате чего создается поперечный ток, перпендикулярный направлению потока текучей среды, и общий создаваемый ток определяется как векторная сумма компонентов, поперечных составляющих тока и осевой составляющей тока. Чтобы преодолеть эту проблему, уменьшить потери энергии и повысить эффективность, разработали другие МГД-конфигурации, такие как МГД-генератор Холла (рис. 3).

В МГД-генераторе Холла первый и последний электроды в канале питают нагрузку. Следующий электрод закорочен на электрод на противоположной стороне канала. Эти короткие замыкания тока Фарадея создают мощное магнитное поле внутри жидкости.

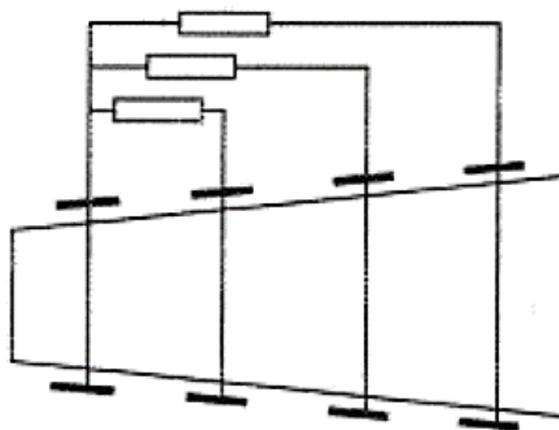


Рисунок 3 – Конструкция МГД-генератора Холла

Однако у этой конструкции есть недостаток в том, что скорость потока жидкости требует смещения средних электродов, чтобы «поймать» токи Фарадея. По мере изменения нагрузки скорость потока жидкости меняется, что приводит к еще большему смещению тока Фарадея и делает генератора очень чувствительным к нагрузке.

Заключение

Можно выделить основные преимущества МГД-генератора:

- внутри циркулирует только рабочая жидкость, и нет движущихся механических частей, что сводит механические потери к нулю;
- температура рабочей жидкости поддерживается стенками генератора;
- КПД выше, чем у большинства других традиционных или нетрадиционных методов генерации;
- производит меньше загрязняющих веществ, чем обычные установки.

Но даже несмотря на перечисленные преимущества более высокие затраты на строительство МГД-систем ограничивают их внедрение. Эта ситуация может измениться, если цены на энергоносители или экологические соображения существенно изменятся.

Литература

1. Электрические сети [Электронный ресурс] / Энергетика завтрашнего дня – магнитогидродинамические генераторы. – Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/energetika-zavtrashnego-dnya-8.html>. – Дата доступа: 15.04.2023.

2. Thermopedia [Электронный ресурс] / Magnetohydrodynamic electrical power generators – Режим доступа: <https://www.thermopedia.com/content/934/>. – Дата доступа: 15.04.2023.

3. Studme [Электронный ресурс] / Цикл теплосиловой установки с магнитогидродинамическим генератором. – Режим доступа: https://studme.org/357676/tehnika/tsikl_teplosilovoy_ustanovki_magnitogidrodinamicheskim_generatorom. – Дата доступа: 15.04.2023.

4. Electrical4u [Электронный ресурс] / MHD Generation or Magneto Hydro Dynamic Power Generation. – Режим доступа: <https://www.electrical4u.com/mhd-generation-or-magneto-hydro-dynamic-power-generation/>. – Дата доступа: 15.04.2023.

5. Elprocus [Электронный ресурс] / What is MHD Generator: Design, Working & Applications. – Режим доступа: <https://www.elprocus.com/mhd-generator/>. – Дата доступа: 15.04.2023.