



Л. Ашкинази

МГД-генератор

Человеческое общество не может жить без энергии. Пока основной источник энергии для человека — природное топливо: уголь, нефть, газ. Но запасы этого топлива не вечны. Правда, мы знаем другие источники энергии — Солнце и атом. В будущем основными источниками станут именно они, но их освоение требует времени, а запасы природного топлива тем временем убывают. Как эффективнее использовать эти запасы? Естественное предложение — повышать коэффициент полезного действия устройств, преобразующих энергию природного топлива в электрическую энергию. Немаловажным преимуществом преобразования энергии с высоким КПД является уменьшение загрязнения окружающей среды.

Так были заложены идейные основы нового метода преобразования энергии, который дает возможность использовать природное топливо с большим КПД, чем в традиционных ТЭС. Этот метод называют магнитогидродинамическим.

МГД-генератор

Представим себе трубу, сделанную из электроизоляционного материала и имеющую на двух противоположных стенках изнутри проводящие электроды. Труба помещена в магнитное поле. Внутри трубы движется струя горячего газа. Такова принципиальная схема магнитогидродинамического генератора — МГД-генератора. (Движение горячей струи газа во многих отношениях похоже на движение жидкости. Отсюда — название и самого метода, и генератора.) В МГД-генераторе механическая энергия движущегося горячего газа преобразовывается в электрическую энергию. Посмотрим, как это делается.

Пусть для определенности газ в МГД-канале (так называют трубу с электродами на внутренних стенках) движется слева направо со скоростью \vec{v} , а индукция \vec{B} магнитного поля направлена так, как показано на рисунке.

Если в газе, движущемся по МГД-каналу, есть свободные электроны, то под действием силы Лоренца $F = evB$ они будут дрейфовать в газе по направлению к ближайшему к нам (на рисунке) электроду и скапливаться на нем. В результате между электродами на стенках МГД-канала будет создаваться разность потенциалов. Если мы подключим к электродам какую-нибудь электрическую нагрузку, то по цепи нагрузки будет протекать ток.

Итак, задача решена — поместив поток горячего газа в трубу с двумя электродами и магнитное поле, мы сделали генератор электрической энергии.

Механизм возникновения тока в МГД-генераторе такой же, как и в любом электрическом генераторе — ток возникает в проводнике, движущемся в магнитном поле. Но только в электрических генераторах эти проводники металлические, твердые, а в МГД-генераторе это — горячий газ.

Однако это лишь принцип действия. Чтобы понять, при каких условиях будет работать такой генератор, вычислим его параметры — ЭДС и внутреннее сопротивление. Пусть сопротивление нагрузки бесконечно, иначе говоря — нагрузка разомкнута. Каково будет напряжение \mathcal{E} на выходе генератора, то есть ЭДС? Оно равно работе по перемещению

1*



единичного заряда между электродами. Поскольку эта работа производится против силы $F = evB$, при ширине канала, равной d , $\mathcal{E} = Fde = vBd$. Для $d = 3$ м, $v = 1500$ м/с и $B = 5$ Тл \mathcal{E} составит 22,5 кВ — вполне значительную величину, достаточную для практических применений.

Вернемся на минуту во времена Фарадея и оценим ЭДС для пары электродов, опущенных в Темзу (конечно, река — это не струя проводящего газа, а струя проводящей жидкости, но принципиальной разницы нет). Темза — река широкая (это хорошо), но медленная (это плохо), а магнитное поле Земли маленькое (это тоже плохо). Полагая $d = 30$ м, $v = 0,1$ м/с, $B = 10^{-4}$ Тл, получим $\mathcal{E} = 3 \cdot 10^{-5}$ В. (Такую величину Фарадей изобретать не собирался.)

Теперь найдем внутреннее сопротивление МГД-генератора. Как известно, сопротивление металлического проводника длины L и сечения S равно $R = \frac{\rho L}{\pi r^2 S}$, где ρ — удельное сопротивление материала, r — радиус. Если считать, что концентрация свободных электронов в металле, n , — та же, что и в газе, то сопротивление R можно вычислить по формуле $R = \frac{L}{en^2 S}$. Для $L = 3$ м, $n = 10^{20}$ м⁻³, $S = \pi (d/2)^2$ получим $R \approx 0,11$ Ом. Тогда $\mathcal{E} = 22,5$ кВ, $R = 0,11$ Ом, $I = \mathcal{E}/R \approx 200$ А. Тогда мощность $P = \mathcal{E}I \approx 4,5$ МВт. Это — теоретическая мощность. На практике она будет меньше из-за потерь на нагрев газа, потерь на ионизацию, потерь на нагрев электродов и потерь на нагрев магнитного поля.

Таким образом, МГД-генератор — это устройство, которое преобразует механическую энергию движущегося горячего газа в электрическую энергию. Оно состоит из трубы с электродами на внутренних стенках, помещенной в магнитное поле. Газ движется в трубе, и в результате возникает ЭДС. Если подключить нагрузку, то будет течь ток.

1*

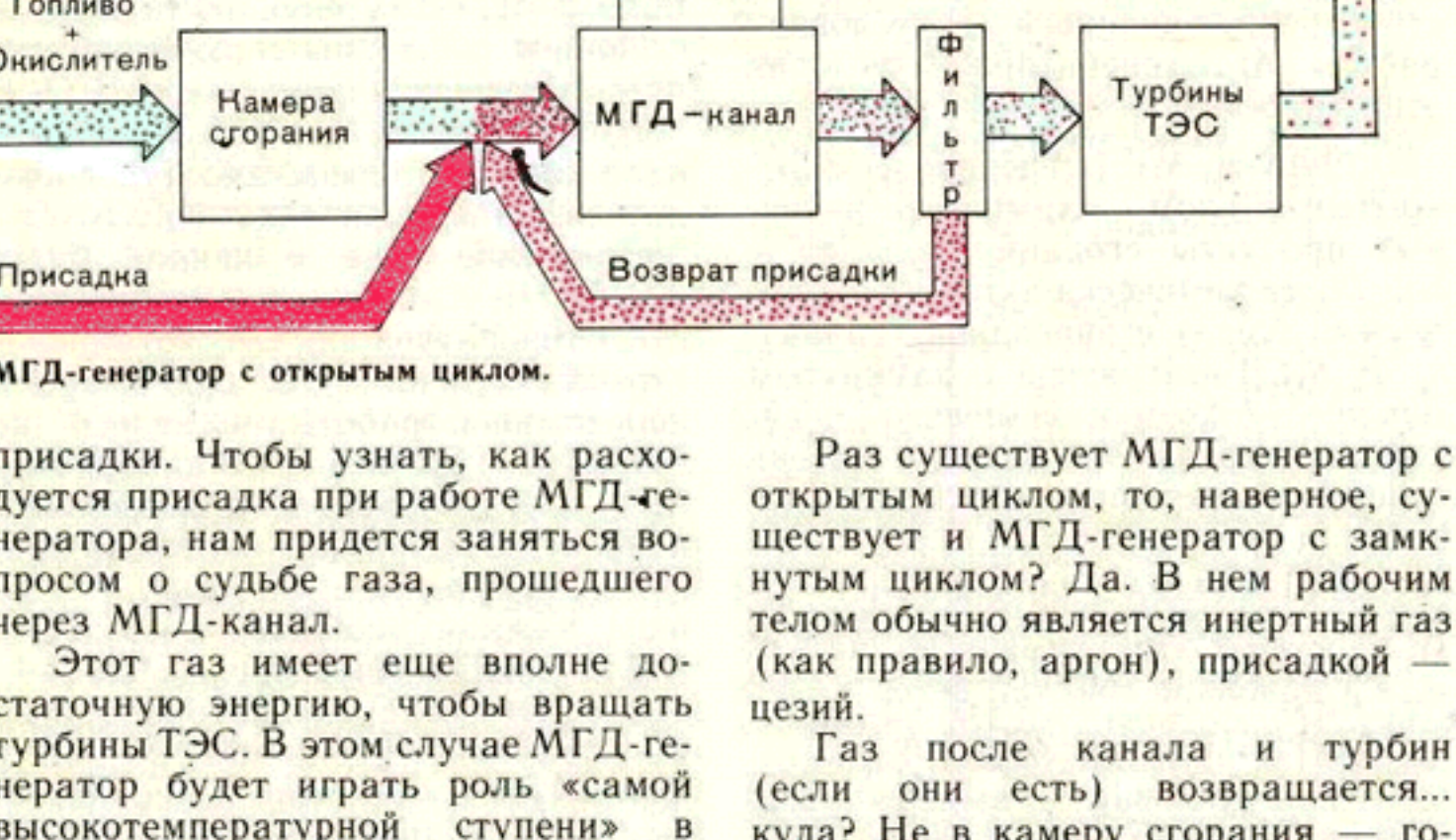
единичного заряда между электродами. Поскольку эта работа производится против силы $F = evB$, при ширине канала, равной d , $\mathcal{E} = Fde = vBd$. Для $d = 3$ м, $v = 1500$ м/с и $B = 5$ Тл \mathcal{E} составит 22,5 кВ — вполне значительную величину, достаточную для практических применений.

Вернемся на минуту во времена Фарадея и оценим ЭДС для пары электродов, опущенных в Темзу (конечно, река — это не струя проводящего газа, а струя проводящей жидкости, но принципиальной разницы нет). Темза — река широкая (это хорошо), но медленная (это плохо), а магнитное поле Земли маленькое (это тоже плохо). Полагая $d = 30$ м, $v = 0,1$ м/с, $B = 10^{-4}$ Тл, получим $\mathcal{E} = 3 \cdot 10^{-5}$ В. (Такую величину Фарадей изобретать не собирался.)

Теперь найдем внутреннее сопротивление МГД-генератора. Как известно, сопротивление металлического проводника длины L и сечения S равно $R = \frac{\rho L}{\pi r^2 S}$, где ρ — удельное сопротивление материала, r — радиус. Если считать, что концентрация свободных электронов в металле, n , — та же, что и в газе, то сопротивление R можно вычислить по формуле $R = \frac{L}{en^2 S}$. Для $L = 3$ м, $n = 10^{20}$ м⁻³, $S = \pi (d/2)^2$ получим $R \approx 0,11$ Ом. Тогда $\mathcal{E} = 22,5$ кВ, $R = 0,11$ Ом, $I = \mathcal{E}/R \approx 200$ А. Тогда мощность $P = \mathcal{E}I \approx 4,5$ МВт. Это — теоретическая мощность. На практике она будет меньше из-за потерь на нагрев газа, потерь на ионизацию, потерь на нагрев электродов и потерь на нагрев магнитного поля.

Таким образом, МГД-генератор — это устройство, которое преобразует механическую энергию движущегося горячего газа в электрическую энергию. Оно состоит из трубы с электродами на внутренних стенках, помещенной в магнитное поле. Газ движется в трубе, и в результате возникает ЭДС. Если подключить нагрузку, то будет течь ток.

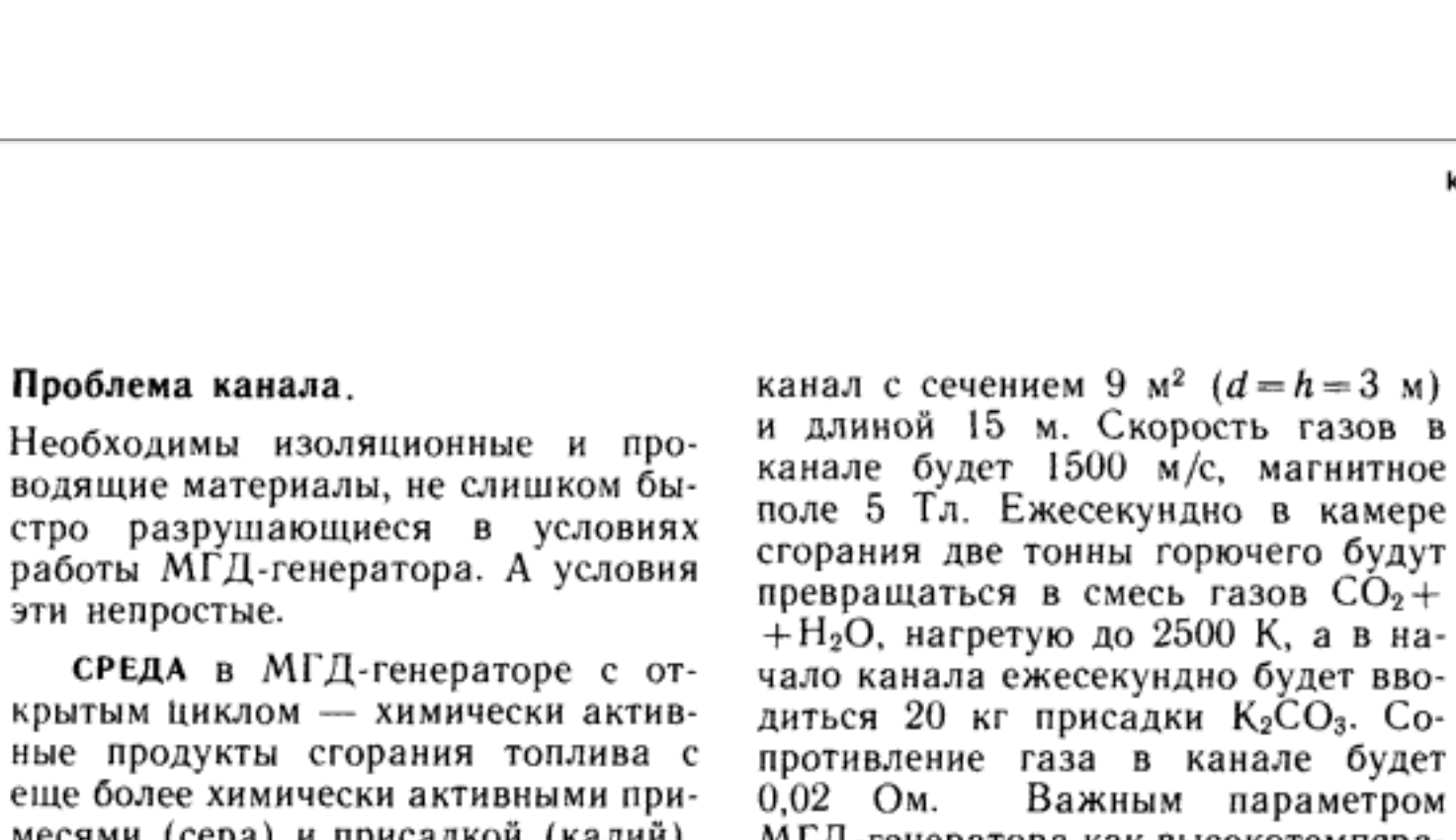
1*



МГД-генератор с открытым циклом.

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .



МГД-генератор с закрытым циклом.

1*

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .

1*

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .

1*

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .

1*

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .

1*

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .

1*

присадки. Чтобы узнать, как расходится присадка при работе МГД-генератора, нам придется заняться вопросом о судьбе газа, прошедшего через МГД-канал.

Этот газ имеет еще вполне достаточную энергию, чтобы вращать турбины ТЭС. В этом случае МГД-генератор будет играть роль «самой высокотемпературной ступени» в ТЭС. Это еще более повысит его КПД. После МГД-канала и турбины газ выбрасывается в атмосферу. И хотя фильтры задерживают на выходе из канала почти 95% присадки, из труб МГД-электростанции мощностью 2000 МВт все равно будет выбрасываться в атмосферу 4 тонны присадки в час. Поэтому в МГД-генераторе, который после канала выбрасывает газы в атмосферу, цезий применять нельзя — слишком дорого обойдется. Для таких МГД-генераторов, называемых МГД-генераторами с открытым циклом, в качестве присадки возможно применение только калия в виде K_2CO_3 или K_2SO_4 .

1*

1*

1*