

# Разработка стартер-генератора для современных микрогазотурбинных установок

Неустроев Николай #1, Котов Антон \*2, Чуйдук Иван #3

#1 *Кафедра Теоретических основ электротехники, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, [neustroev.nikolai@mail.ru](mailto:neustroev.nikolai@mail.ru)*

#2 *Кафедра Теоретических основ электротехники, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, [aakot@mail.ru](mailto:aakot@mail.ru)*

#3 *Кафедра Теоретических основ электротехники, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, [ivan957495@bk.ru](mailto:ivan957495@bk.ru)*

## **Аннотация**

В настоящее время газотурбинные установки активно развиваются как источники автономного энергоснабжения. Они имеют высокие показатели удельной мощности за счет высокой скорости. На микрогазотурбинные установки приходится более четверти генерируемой мощности всех газотурбинных установок. Наиболее перспективной конструкцией является безредукторное зацепление генератора с турбиной. Генераторы с высокой скоростью имеют особые требования с точки зрения механической прочности вращающихся деталей и надежности подшипниковых узлов. Ближайшим аналогом предлагаемого варианта является синхронный генератор с радиально расположенными постоянными магнитами. Глобальной монополией газотурбинных установок с генераторами этого типа является компания Capstone. Но эта конструкция содержит ряд неразрешимых технических противоречий, которые не позволяют развиваться в этом направлении. Среди них низкий коэффициент полезного действия из-за высоких магнитных потерь, сложность системы охлаждения, невозможность наращивания мощности из-за осевой длины с ограничением диаметра ротора из-за большой величины центробежных сил. В статье рассматривается альтернативный вариант. Это конструкция синхронного генератора с осевыми постоянными магнитами, на примере микрогазотурбинной установки. Описаны конструкция генератора и принцип его работы. Проведено компьютерное моделирование экспериментальной модели в пакетах программного обеспечения Ansys Maxwell и Ansys Thermal.



## **Введение, цели и задачи**

На 1 января в России было использовано около 2150 газотурбинных установок суммарной мощностью около 28 ГВт. Около 26% этой мощности приходится на микрогазотурбины (МГТ), кроме того, потребность в этой установке растет с каждым днем. В связи с этим важно развивать эту область науки. Целью этого исследования является получение высокой мощности в небольших габаритах от новой конструкции машины. Задачи этого исследования: электромагнитный и тепловой расчеты и сравнение полученных результатов с современными прикладными машинами.

## **Методы**

В силу технологических и ценовых факторов авторы предлагают некоторые конструктивные идеи:

1. Одна секция машины содержит одну фазу обмотки.
2. Обмотки изготовлены абсолютно симметрично. Электрическое смещение угла между фазами осуществляется механическим смещением угла между постоянными магнитами.
3. Обмотка делится на две равные части для легкой сборки. Это позволит сбалансировать ротор в сборке

Модель генератора была проанализирована в Ansys Maxwell и Ansys Thermal для определения электромагнитных и тепловых характеристик и подтверждения предыдущих расчетов, выполненных в Mathcad на основе стандартных методов.

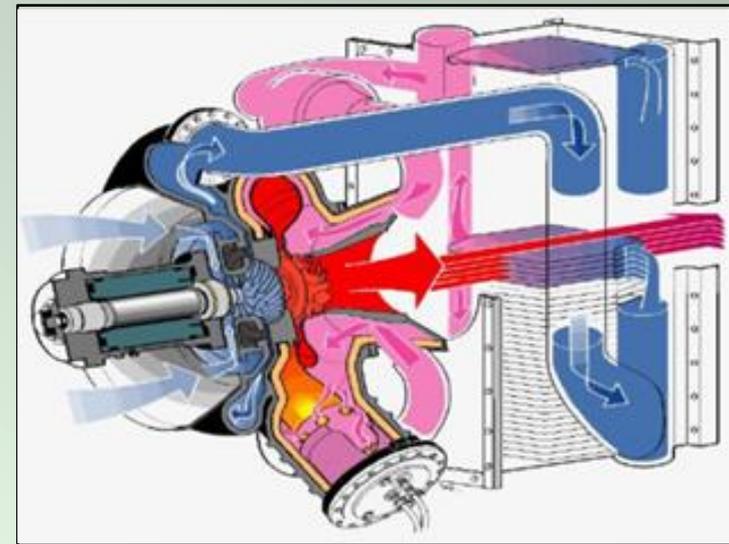


Рисунок 1. Устройство МГТ

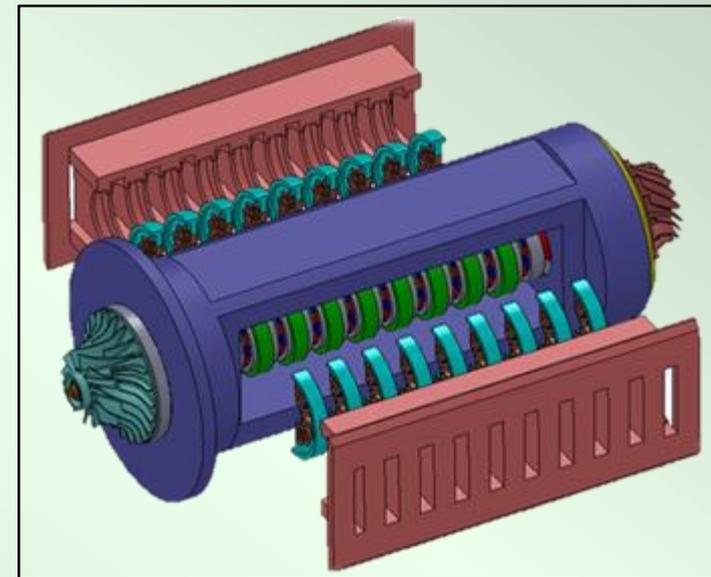


Рисунок 2. Сборка генератора

## Результаты

Стоит отметить, что для предлагаемой конструкции генератора железные потери отсутствуют, вес такого генератора меньше, чем при обычной радиальной конструкции. Кроме того, технология производства рассматриваемого генератора проще, чем технология для радиальной конструкции, из-за отсутствия штамповки, легкой балансировки и сборки

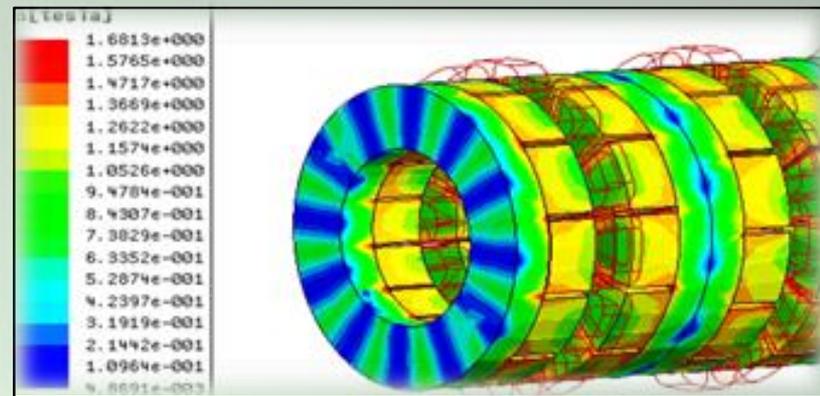


Рисунок 3. Результаты электромагнитного расчета

## Обсуждение

Это исследование показывает, что машины с аксиальным магнитным потоком могут быть применены для микрогазотурбин и может обеспечить лучшие характеристики, чем радиальные машины. Из-за магнитных потерь, которые отсутствуют в предлагаемой машине, возможно получение сравнительно большего коэффициента полезного действия, а также более высокой надежности в сравнении с радиальной конструкцией благодаря использованию нескольких секций.

## Заключение

Эволюция широко используемой в газотурбинных установках радиальной машины ограничена высокими магнитными потерями, низкой механической устойчивостью, проблемами с системой охлаждения, резонансными частотами при ускорении и торможении. Предлагаемый генератор с аксиальным магнитным потоком может решить эти проблемы. На основе выполненных расчетов предлагаемый генератор лучше обычного широко применяемого генератора с радиальным магнитным потоком.

Стоит отметить, что новый тип генератора приводит к изменению конструкции МГТ. Также техническая проблема может возникнуть в части новых высокоскоростных подшипников, однако это направление развития МГТ является перспективным.

## Благодарности

Эта работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете при поддержке Российского научного фонда (проект No 14-19-00327). Авторы благодарны директору университета за возможность выполнить это исследование

