

УДК 621.313

М.Л. Глебова, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

А.Н.Гетья Харьковское агрегатное конструкторское бюро

В.Б. Финкельштейн, д-р техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

РАЗРАБОТКА БЕСКОНТАКТНОГО ГАЗОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА

Описаны особенности проектирования и эксплуатации, создаваемых в Украине газозлектрогенераторов, в частности генератора на 10 кВт, 12000 об/мин.

Описано особливості проектування й експлуатації, створюваних в Україні газозлектрогенераторів, зокрема генератора на 10 кВт, 12000 об/хв.

Features of designing and the operation created in Ukraine of electrogenerators, using kinetic energy of gas, in particular the generator on 10 kw, 12000 rev/min are described

Ключевые слова: кинетическая энергия газа, газозлектрогенератор, раскрой магнитопровода, обмоточные данные.

Постановка задачи.

В ОАО «ТУРБОГАЗ» разрабатывается установка, предназначенная для преобразования кинетической энергии газа в электроэнергию. На рис. 1 показан генератор, закрепленный в трубе 1 с расположенным на валу

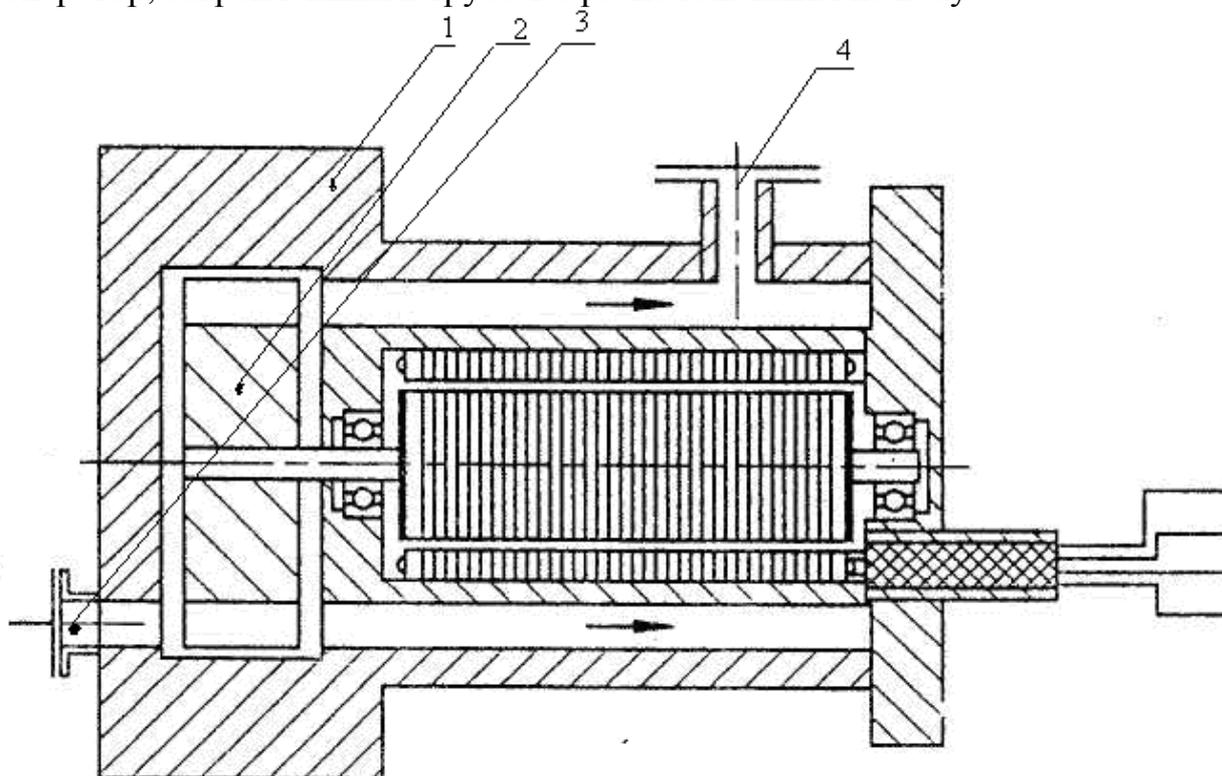


Рис. 1. Газозлектрогенератор

генератора рабочим колесом турбины 2. Подаваемый во входное отверстие 3 под большим давлением газ вращает рабочее колесо турбины и выходит через выходное отверстие 4.

Одним из основных требований, предъявляемых к конструкции такого генератора, является исключение возможности соприкосновения токоведущих частей с протекающим внутри и снаружи генератора газом. Это достигается капсулированием обмотки. Капсула должна быть эластичной, чтобы при тепловых изменениях длины обмотки, за счет различия коэффициентов линейного расширения материала капсулы и обмотки, не сдиралась изоляция проводов.

Наиболее полно удовлетворяет требованию исключения возможности соприкосновения токоведущих частей с протекающим внутри и снаружи генератора газом магнитоэлектрический синхронный генератор с постоянным двухполюсным магнитом на роторе.

Анализ последних достижений. Аналогичная конструкция активной части генератора применена германской фирмой RMG REGEL + MESSTECHNIK

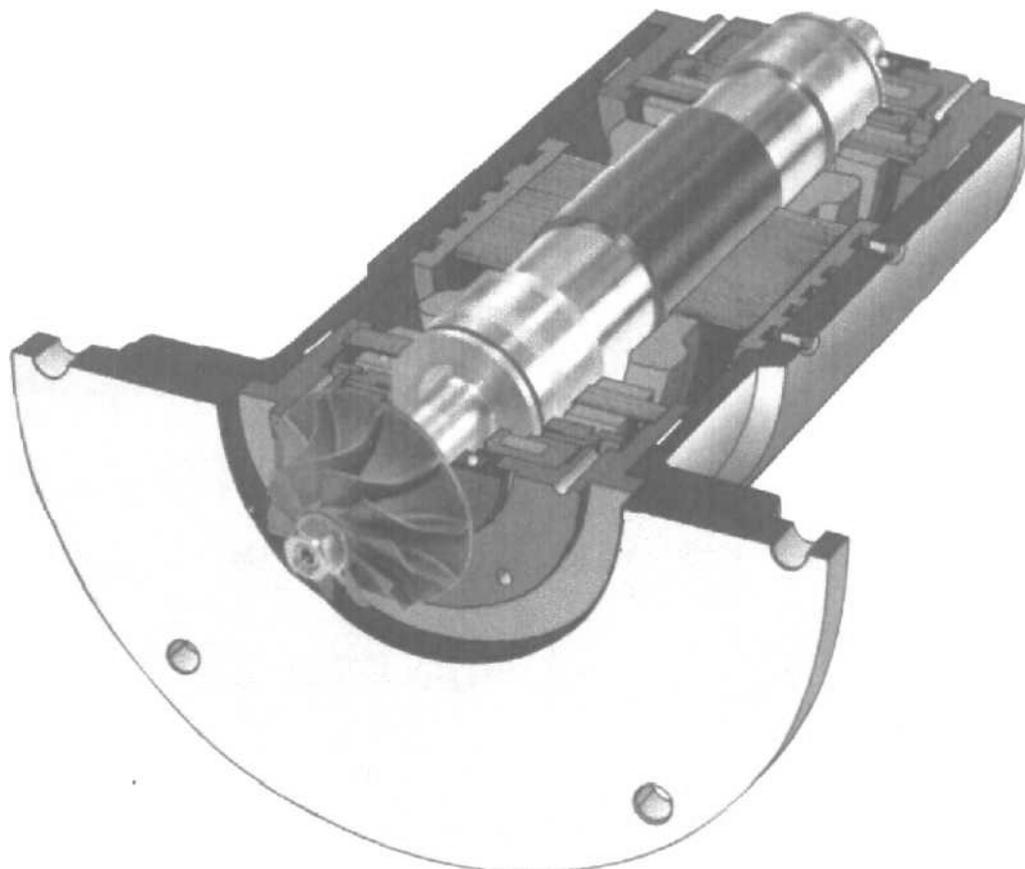


Рис. 2.

GmbH рис. 2. Ее генераторы имеют мощность 160 и 550 кВт при скорости вращения 45000 и 32000 об/мин соответственно.

Такие высокие скорости вращения обусловлены с одной стороны ограниченностью размеров постоянных магнитов и их механической проч-

ности, а с другой необходимостью выполнения генераторов в малых габаритах. При этом частота выходного напряжения 750 и 533 Гц. Существенным отличием является то, что генераторы указанной фирмы охлаждаются водой, обтекающей внешнюю поверхность статора (якоря), а генератор ОАО «Турбогаз» встраивается в трубу и охлаждается, обтекающим его по наружной и внутренней поверхностям, газом.

Цель работы: разработка бесконтактного генератора для эксплуатации в среде обтекающего его природного газа, обеспечивающего выработку электроэнергии за счет кинетической энергии газа.

Изложение материала. Важным обстоятельством является колебание скорости вращения генератора при эксплуатации в пределах $\pm 15\%$ от номинальной – 12000об/мин (частота выходного напряжения 200 Гц). Это приводит к такому же изменению частоты и напряжения на выходе генератора. Для обеспечения стабильных потребительских величин напряжения и частоты напряжение генератора подается на преобразователь, в котором оно выпрямляется, а затем преобразуется в напряжение частотой 50 Гц и величиной 380 В. Но преобразователь может только уменьшать напряжение. Поэтому генератор следует проектировать таким образом, чтобы при номинальной скорости вращения напряжение на выходе было не менее 460 В.

Следует также учитывать, что турбина, вращающая генератор, при отсутствии момента сопротивления генератора, т.е. при отсутствии потребительской нагрузки в несколько раз увеличивает скорость вращения генератора. Это приведет к увеличению напряжения на выходе генератора в такое же количество раз, что недопустимо. Чтобы этого не произошло при сбросе нагрузки потребителем, система автоматического регулирования, в этой ситуации, подключает к генератору балластную нагрузку, обеспечивающую сохранение скорости вращения генератора.

Особенности раскроя магнитопровода статора (якоря)

Притом что, принципиально, статор синхронного генератора ничем не отличается от статора асинхронного двигателя, раскрой магнитопровода статора при возбуждении поля постоянным магнитом имеет специфические особенности.

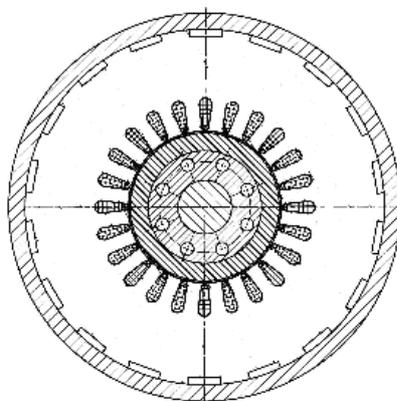


Рис. 3. Радиальное сечение активной части генератора

Магнитная индукция на поверхности магнита B_r составляет $0,8 \div 1,2$ Тл. Магнитная же индукция в зазоре асинхронного двигателя не превышает $0,6$ Тл. Следовательно, если сохранить раскрой асинхронного двигателя (что было бы весьма желательно из технологических соображений) то сталь магнитопровода перенасытится. Это приведет к резкому увеличению потерь в стали, снижению КПД и не рациональному использованию энергии магнита. Для исключения указанных негативных факторов ширины зубцов статора и высота спинки статора увеличены и магнитная индукция в зубцах и спинке, при магнитной индукции магнита порядка 1 Тл, не превышает $1,35$ Тл.

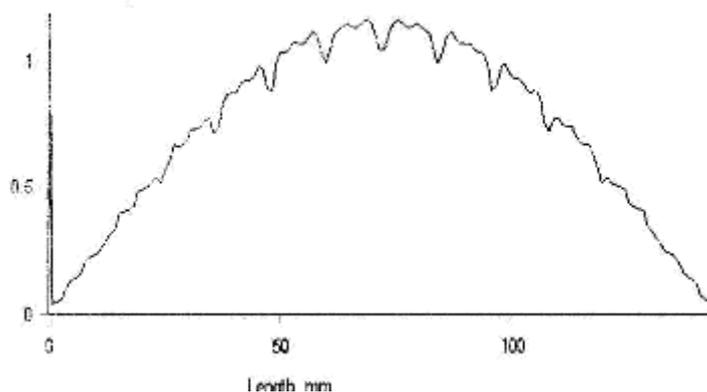


Рис. 4. Распределение магнитной индукции в воздушном зазоре в пределах полюсного деления

Обеспечение указанных величин магнитной индукции приводит к увеличению наружного диаметра магнитопровода статора, по сравнению с диаметром статора асинхронного двигателя, но при этом уменьшается длина магнитопровода.

Электромагнитный расчет

Электромагнитный расчет состоит для генератора из двух частей:

1. Определение геометрических размеров, обмоточных данных, величин магнитной индукции в зубцах и спинке магнитопровода статора и энергетических показателей.
2. Решение полевой задачи методом конечных элементов при токах фаз, соответствующих фиксированному моменту времени. При этом магнитная индукция в воздушном зазоре должна быть не ниже магнитной индукции определенной в п.1, что обеспечивается выбором марки магнита и подбором его толщины, при наличии немагнитного бандажа толщиной 1 мм.

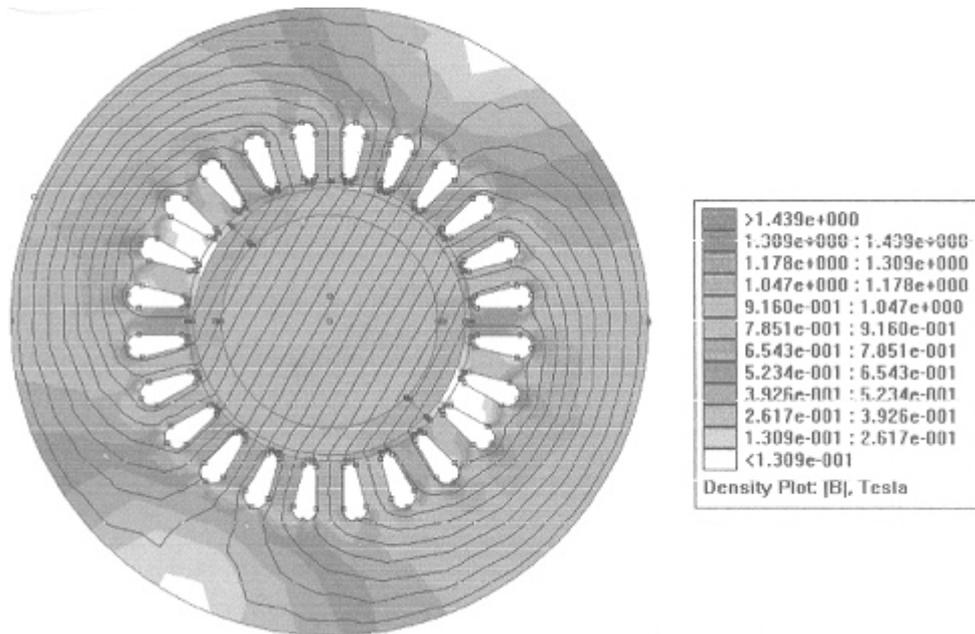


Рис. 5. Расчетная картина поля

Поле рассчитано по программе femm.

На основании электромагнитного расчета получены следующие расчетные энергетические характеристики:

Номинальная мощность	10 кВт
Напряжение на выводных концах генератора (линейное)	460 В
Коэффициент полезного действия	89%
Ток фазный	до 23 А
Наружный диаметр по дну наружных пазов	211 мм
Длина пакета	67 мм
Диаметр расточки	94 мм
Число внутренних пазов статора	24
Потери в обмотке статора	230 Вт
Потери в стали	513 Вт
Потери механические (на трение в подшипниках)	400 Вт
Добавочные потери	64 Вт

Эскиз магнитной системы приведен на рис. 3.

Обмоточные данные

Число эффективных проводников в пазу	12
Число элементарных проводников в пазу	48
Число параллельных проводников	4
Число параллельных ветвей	1
Марка обмоточного провода	ПЭТ-200
Диаметр обмоточного провода $d_{\text{гол}}/d_{\text{изол}}$	1,18/1,28 мм
Коэффициент заполнения паза	0,749
Шаг обмотки по пазам	1-12; 2-11

Геометрические размеры и параметры магнита

Марка магнита (Ниодим-Железо-Бор, проспект фирмы „Полимагнит”) N42S	
Намагниченность двухполюсная (желательно радиальная)	
Наружный диаметр магнита	91,4 мм
Внутренний диаметр магнита	69,4 мм
Длина магнита	71 мм
Остаточная магнитная индукция	1,3 Тл
Коэрцитивная сила по индукции	963 кА/м
Максимальная магнитная энергия	326 Дж/м ³
Рабочая температура	150°С

Размеры банджа магнита

Наружный диаметр	93,4 мм
Внутренний диаметр	91,4 мм
Материал банджа	Титан BT1

Статор

Статор (якорь) шихтованный, изготавливается из электротехнической стали 3413 ГОСТ 21427.1- 83 толщиной 0,3 мм с двухсторонним лаковым покрытием.

Ротор

Ротор изготавливается из стали Ст-3 (или любая другая магнитная сталь).

Выводы и рекомендации

1. Описанный генератор с указанными обмоточными данными и параметрами магнита обеспечит генерирование мощности 10 кВт в заданном диапазоне скоростей вращения.
2. При колебаниях скорости турбины в пределах $\pm 15\%$ с помощью преобразователя возможно получение стабильного напряжения 380/220 В частотой 50 Гц .
3. Для поддержания скорости турбины в заданных пределах, при колебаниях потребительской нагрузки, системой автоматического регулирования должна подключаться регулируемая балластная нагрузка такой величины, чтобы сумма потребительской и балластной мощностей составляла 10 кВт.
4. Статор и ротор должны охлаждаться обтекающим их природным газом и при этом температура обмотки не должна превышать 155°С, а температура магнита 130°С.
5. Обмотка генератора должна быть закапсулирована, материал капсулы