

## ГЕНЕРАТОР ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ПЕРЕДВИЖНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

М. И. Юрьев, А. В. Волков, Л. С. Аванесов,  
М. Л. Круглова, И. В. Кривенцов, Н. В. Кузьминых

*Описаны технические условия работы магнитоэлектрического генератора, особенностью которого является широкий диапазон изменения частот вращения. Данная разработка предназначена для мобильных систем, где подобный генератор может быть размещён и должен длительно и надёжно работать на различных видах транспортных средств – автодорожных, железнодорожных, морских, воздушных, в которых актуальны вопросы минимизации массы и габаритов. Разработана конструкция магнитоэлектрического синхронного генератора коллекторного исполнения на основе высокоэнергетических магнитов. Проведены его электромагнитные и тепловые расчёты в разных режимах эксплуатации.*

**Ключевые слова:** магнитоэлектрический синхронный генератор, конструкция с тангенциальным намагничиванием (коллекторная), коллекторная конструкция, высокоэнергетические магниты, температурный режим.

### Технические условия работы генератора

Предлагаемый к разработке генератор должен стать основой системы электропитания, включающей в себя системы управления и защиты к нему. Он относится к классу мобильных электросистем, которые могут быть размещены и длительно надёжно работать на различных видах транспортных средств – автодорожных, железнодорожных, морских, воздушных. К таким системам предъявляются особо жёсткие требования по массогабаритным характеристикам, помимо требований по надёжности и качеству выдаваемого напряжения.

Отсутствие скользящих контактов и обмотки возбуждения, а также стабильность свойств постоянных магнитов в условиях вибраций и нагрева вплоть до температуры порядка 250 – 300 °С позволяет использовать магнитоэлектрические синхронные генераторы в самых различных условиях при различных способах их перемещения.

Возможные особенности эксплуатации генератора таковы, что он должен быть пылевлагонепроницаемым, хорошо обдуваемым. Такие требования могут быть применены к генератору, расположенному на транспортном средстве, при работе в открытом пространстве при температуре внешней среды от –50 до + 50 °С.

В предложении на создание электроэнергетической установки были оговорены следующие технические данные:

Номинальная мощность, кВт	42
Род тока	Постоянный
Напряжение выпрямленное, В	142
Диапазон регулирования частоты вращения, мин <sup>-1</sup>	от 875 до 3500
КПД, %	92

Задачей настоящей работы является поиск новых конструктивно-технологических решений, являющихся приоритетными при создании высоконадёжных необслуживаемых источников электропитания, и разработка на их основе генератора, отвечающего современным требованиям по удельным массовым и объёмным характеристикам. Следует отметить также, что на основе таких генераторов может быть решена проблема создания вентильных регулируемых генераторов с выходом постоянного тока напряжением 142 В.

### Выбор конструктивного исполнения

Одним из важных требований условий эксплуатации генератора является его работа с минимумом обслуживания (необслуживаемый) в условиях многолетней эксплуатации (до 30 лет). Поэтому при выборе типа особое внимание уделялось тем конструкциям, у которых отсутствуют вращающиеся обмотки, вращающиеся контакты. Однако генераторы классического исполнения – с возбуждением от обмотки возбуждения, расположенной на вращающихся полюсах ротора, не обойдены вниманием при оценке их массогабаритных характеристик и надёжности в процессе эксплуатации. Для повышения показателей надёжности за счёт исключения щёточно-контактного узла на роторе в таких генераторах применяются встроенные возбудители с вращающимися выпрямителями, что существенно усложняет конструкцию генераторов, приводит к дополнительному значительному увеличению объёмов и массы генераторов. Показатели надёжности таких генераторов снижаются.

До сих пор российской промышленностью выпускаются генераторы для электропитания транспортных средств мощностью 20 – 30 кВт с враща-

ющимися выпрямителями и контактными кольцами. Их эксплуатация является достаточно трудоёмкой, и они имеют более низкую надёжность за счёт подвижных контактов. Также проблематична их работа в условиях возможной запылённости.

Наиболее подходят к применению и отвечают предъявляемым техническим требованиям конструкции генератора с когтеобразными полюсами и внешне- или внутризамкнутым потоком, а также индукторного типа одно- или разноимённополюсные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов, конструкции которых весьма разнообразны. Все названные типы должны быть рассмотрены при обосновании окончательного выбора типа генератора.

Генератор с когтеобразными полюсами и внешним магнитопроводом является генератором повышенной надёжности, поскольку не имеет скользящих контактов. Обмотка возбуждения его располагается на корпусе или на щитах и не требует дополнительного обслуживания. Генератор без ремонта может эксплуатироваться десятками лет, за исключением периодов смены смазки подшипников. Многолетняя работа таких генераторов, разработанных и изготовленных в АО «НИИЭМ» неоднократно зафиксирована. Однако подшипниковые щиты и корпус генератора имеют повышенную толщину, поскольку должны проводить магнитный поток. Вследствие этого генератор имеет повышенную массу и габариты.

Генератор с когтеобразными полюсами был рассмотрен при выборе типа. Для обозначенного диапазона частот вращения ротора удельная масса и габариты, на основании опыта разработок АО «НИИЭМ», является соизмеримой с удельной массой приведённых генераторов явнополюсной конструкции. Поэтому подробные данные этого типа в статье не приводятся.

Как электрическую машину высокой надёжности можно рассматривать индукторный генератор – машину, в которой все обмотки являются неподвижными, а изменение магнитного потока, пронизывающего обмотку якоря, вызывается перемещением ферромагнитных масс. По конструкции различают два типа индукторных машин – одноимённополюсные и разноимённополюсные. Одноимённополюсные – двухпакетные или однопакетные с дополнительным воздушным зазором – имеют обмотку возбуждения, расположенную на корпусе, создающую аксиальный магнитный поток; при этом для одного пакета этот пакет имеет одну полярность, а для другого – противоположную.

Разноимённополюсные индукторные машины имеют обмотку возбуждения, расположенную непосредственно в пакете статора в специальных пазах. Такое расположение обмотки возбуждения позволяет получить на статоре несколько пар полюсов возбуждения в одном статоре.

Принципиально индукторные генераторы имеют преимущества в системах с высокой частотой тока, а следовательно, в высокооборотных электрических машинах. При частоте переменного тока 50 Гц эти машины получаются громоздкими, хотя и имеют высокую надёжность, поскольку не имеют скользящих контактов и вращающихся обмоток.

Известно также, что среди всех типов синхронных генераторов индукторные генераторы имеют в ~2,5 раза худшее использование магнитного потока в рабочей зоне, требуют магнитопроводящего корпуса, а часто и щитов для замыкания полного магнитного потока, сечения которых определяются не конструктивно-механическими соображениями, а условиями пропускания магнитного потока. Указанные обстоятельства резко увеличивают материалоемкость и массу.

В последние годы стали широко изготавливаться и внедряться в изделия высокоэнергетические магниты состава «неодим – железо – бор», в том числе и при производстве электрических машин, которые получили название «магнитоэлектрические». Конструкции их могут быть весьма разнообразными. И выбор той или иной конструкции зависит от требуемой мощности, частоты вращения ротора, условий работы электрической машины.

Наиболее рациональной конструкцией для оговоренных выше условий работы считается генератор с возбуждением от постоянных магнитов с коллекторным исполнением ротора – магниты располагаются на роторе поочередно между полюсами по типу коллекторных пластин, что позволяет максимально использовать магнитный поток в зазоре электрической машины. Жёсткость внешней характеристики МЭГ, невозможность иметь прямое регулирование по аналогии с генераторами, имеющими обмотку возбуждения, является главным недостатком этого типа электрической машины. Однако современные электронные устройства и методы регулирования позволяют получить регулируемый генератор в широком диапазоне частот вращения ротора.

Выше дано краткое описание всех возможных к применению в заданных условиях типов электрических машин, как электромагнитных, так и магнитоэлектрических.

В табл. 1 представлены к рассмотрению некоторые показатели обозначенных выше типов электрических машин, изготовленных и эксплуатируемых до настоящего времени. Показатели по массовым и удельным характеристикам всех представленных изделий дают наглядное представление об уровне разработок.

Первой строкой табл. 1 представлен генератор ЭГВ-32, индукторный разноимённополюсный, от компании ЗАО «Кросна-Мотор», воспроизведённый на основе VEM-генераторной установки для

пассажирских вагонов RGA4-32, разработанной в ГДР в 1977 году и поставляемый в нашу страну вплоть до 1990-х гг. Данные предоставлены заводом-изготовителем г. Тверь.

Второй строкой таблицы приводятся сведения о генераторе индукторном 2ГВ.003.12 от АО «Рижский электромашиностроительный завод» также разработки 1970-х гг., изготавливаемый и поставляемый до настоящего времени вагоностроительным заводом. Данные также предоставлены заводом-изготовителем.

Далее приведены сведения о генераторах серий ЕСС и ДГС на основании каталогов [4, 5].

Последние строки таблицы по магнитоэлектрическим генераторам МЭГ-8 и МЭГ-16 содержат результаты разработки АО «НИИЭМ» с применением высокоэнергетических магнитов, где показано существенное уменьшение удельной массы генератора. Новые достижения были отмечены комиссией по проведению государственных испытаний при приёмке соответствующей ОКР в АО «НИИЭМ». Разработки уникальны и аналогов не имеют.

Общим недостатком всех генераторов электромагнитного типа, представленных в таблице, являются их высокие массогабаритные показатели и сложность изготовления, а также пониженные показатели надёжности из-за наличия обмотки возбуждения. Традиционные конструктивные исполнения генераторов на заданные условия работы исчерпали свои возможности по улучшению удельных массогабаритных характеристик.

Из предварительного описания и представленной таблицы генераторов разных типов следует, что наиболее надёжными, долговечными, наименее обслуживаемыми и обладающими наименьшей удельной массой, являются генераторы с высококоэрцитивными постоянными магнитами на роторе для создания магнитного потока.

Для оговоренных выше условий работы предполагается магнитоэлектрический генератор (МЭГ) с коллекторным исполнением ротора, при этом магниты тангенциально намагничены. Такое расположение магнитов на роторе позволяет получить возможность максимального использования магнитного потока в зазоре электрической машины [1 – 3].

Успехи в создании высокоэнергетических постоянных магнитов на основе редкоземельных металлов и уровень развития элементной базы силовой полупроводниковой электроники позволяют реализовать преимущества генераторов с возбуждением от постоянных магнитов, с использованием новых принципов регулирования при создании генераторных компонентов с заданными характеристиками.

В качестве материала постоянных магнитов выбран NdFeB (Неодим – Железо – Бор) согласно ГОСТ Р 52956-2008 со следующими характе-

ристиками: остаточная индукция намагничивания  $B_r$  составляет 1,1 – 1,2 Тл; коэрцитивная сила  $H_c$  – 750 – 840 кА/м; максимальная удельная энергия  $W_H \max$  – 210 – 250 кДж/м<sup>3</sup>. Магниты из такого материала имеют стабильные характеристики при температуре до 180 °С. Указанные характеристики позволили применить названные магниты в рассматриваемом генераторе с широким диапазоном скоростей вращения ротора. Выбранная конструкция позволяет наилучшим способом использовать создаваемый магнитом поток при минимальном рассеянии его энергии.

В процессе выбора типа бесконтактного генератора проработаны различные конструкции, проведены электромагнитные расчёты и при примерном равенстве электромагнитных нагрузок получено, что удельная масса МЭГ мощностью 42 кВт составляет 7,3 кг/кВт, в то время, как другие бесконтактные генераторы такой мощности имеют данный показатель: индукторный – 23 кг/кВт, с когтеобразным ротором и внешним магнитным потоком – 15,3 кг/кВт.

### Описание конструкции генератора

Конструкция и технология изготовления электрической машины очень тесно связаны, так как в конструктивном проекте машины заложены основы технологии её изготовления. Принцип технологичности конструкции заключается в том, что при разработке конструкции в равной степени учитываются как условия эксплуатации, так и требования, предъявляемые производством. Технология обеспечивает высококачественное выполнение машины, а конструкция учитывает простоту её изготовления.

Синхронный генератор МЭГ-42 спроектирован в горизонтальном исполнении для работы на передвижном объекте в диапазоне изменения скоростей вращения ротора от 875 мин<sup>-1</sup> до 3500 мин<sup>-1</sup>.

Конструктивное исполнение машины определяется защитой её от влияния окружающей среды, расположением подшипников и креплением машины.

Конструкция закрытого вида, у которой внутреннее пространство отделено от внешней среды, но не настолько плотно, чтобы её можно было считать герметической. Закрытый генератор МЭГ-42 может применяться в условиях запылённости воздуха до 2,5 г/м<sup>3</sup> при работе в движении или 0,5 г/м<sup>3</sup> при работе без движения.

На рис. 1 представлена конструкция синхронного генератора МЭГ-42 закрытого обдуваемого исполнения – без отверстий в корпусе и подшипниковых щитах.

Внутренняя поверхность станины является гладкой для лучшей передачи тепла от пакета статора к стенке станины. На наружной поверхности станины имеются продольные рёбра для увеличения поверхности охлаждения. Охлаждение наружной поверхности генератора МЭГ-42 производится вентилятором, насаженным на консольный конец вала.

Таблица 1

## Сравнение разных типов генераторов

Тип и исполнение	Мощность, кВт	Рабочий диапазон частот вращения, мин <sup>-1</sup>	Объём активной зоны: $D_i \times L_i$ , мм	Наибольший диаметр активной зоны $D_a$ , мм	Масса, кг	Удельная масса, кг/кВт	Охлаждение	Примечание
ЭГВ-32, индукторный разноимённополюсный	32	650 – 3450	310 × 350	441	725	23	Исполнение закрытое, обдуваемое	Изготовлен, эксплуатируется
2ГВ.003.12, индукторный	8	1000 – 4000	–	–	260	32,5	Исполнение закрытое, обдуваемое	Изготовлен, эксплуатируется
ЕСС-82-4, с обмоткой возбуждения и вращающимися выпрямителями	30	1500	–	–	435	14,5	Вентиляция вытяжная, исполнение пылезащищённое	Эксплуатируется на автотранспорте
ДГС 91-4ШФ2, с обмоткой возбуждения и вращающимися выпрямителями	30	1500	–	–	475	15,8	Вентиляция вытяжная, исполнение пылезащищённое	Эксплуатируется
МЭГ-8, с постоянными магнитами	8	3000	180 × 80	235	55	6,9	Самовентиляция	Изготовлен, прошёл GI
МЭГ-16, с постоянными магнитами	16	3000	180 × 120	235	85	5,3	Самовентиляция	Изготовлен, прошёл GI

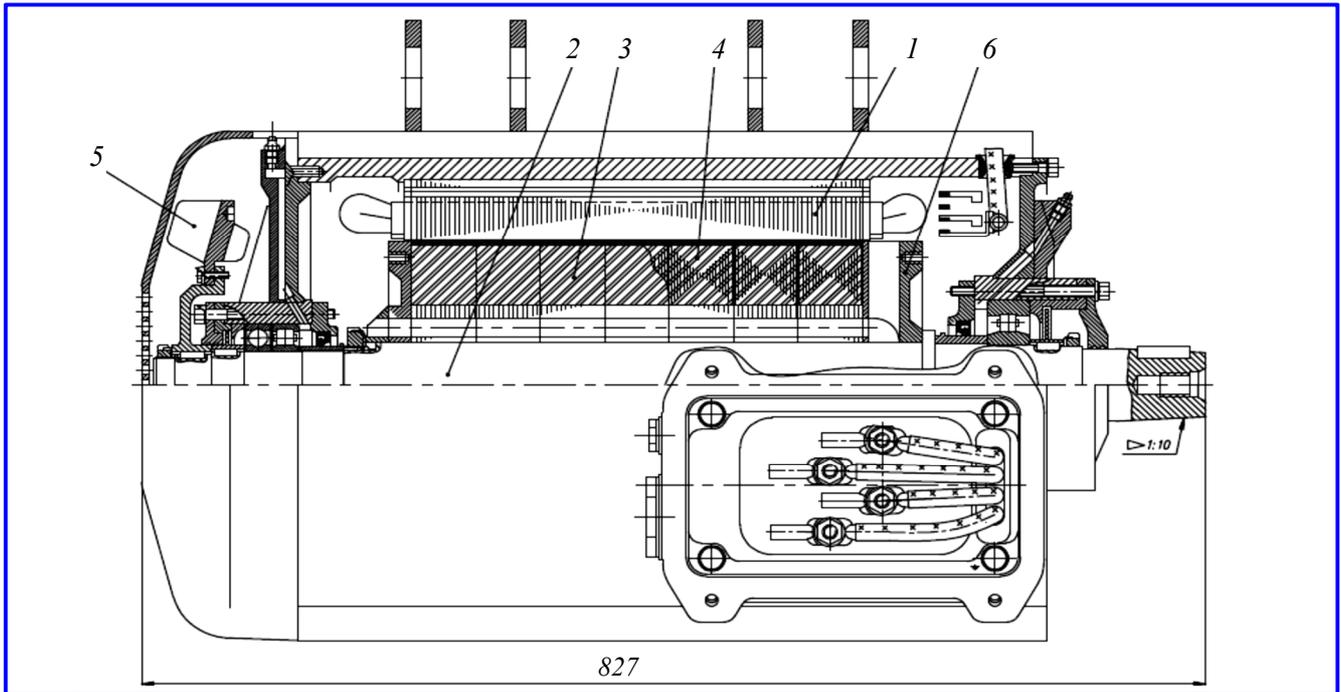


Рис. 1. Генератор МЭГ-42: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – магнит постоянный; 4 – шихтованный сердечник; 5 – вентилятор; 6 – нажимной диск ротора с лопатками вентилятора

Пакет статора предполагается набирать из лакированных листов электротехнической стали толщиной 0,2 мм на внутреннюю оправку, обеспечивая скос пазов на одно пазовое деление. Пакет спрессовывается. Сборка листов статора на внутреннюю оправку позволяет избежать обработки внутренней поверхности статора, так как она получается достаточно гладкой. Это снижает потери в стали за счёт возможного замыкания листов при обработке и устраняет возможность повреждения изоляции обмоток отогнутыми зубцами или металлическими стружками. На внешней поверхности пакета предусматривают установку запирающих скоб в специальных пазах, после чего наружную поверхность пакета обрабатывают под посадку с натягом в корпус.

Обмотку якоря размещают в пазах статора, пропитывают и в готовом виде обмотанный статор запрессовывают в станину (корпус).

Ротор набирается из немагнитных дисков для размещения в них постоянных магнитов и шихтованных магнитопроводов полюсов. Толщина дисков определяется длиной элементарного магнита.

Конструктивно каждый из немагнитных дисков представляет собой набор листов из титанового сплава толщиной 2 мм (как основа остова конструкции ротора) с окнами, склеенных между собой в размер толщины диска. В окна вкладываются постоянные магниты определённой направленности намагничивания и магнитопроводы, шихтованные из тонколистовой электротехнической стали. Магниты и магнитопроводы устанавливаются в

титановый остов ротора на клею в определённой последовательности, с ориентацией на шпоночный паз в отверстии для установки дисков на вал ротора. От проворачивания на валу диски удерживаются шпонкой. Таким образом, установленные на вал диски образуют с помощью постоянных магнитов чётное количество полюсов, расположенных вдоль оси вала ротора, а между постоянными магнитами располагаются магнитопроводы из магнитопроводящих шихтованных сердечников.

Для внутренней вентиляции узлов генератора на вал ротора со стороны привода надет вентилятор. Благодаря этому вентилятору нагретый воздух внутри генератора протягивается через осевые вентиляционные каналы ротора и подается в полость подшипникового щита со стороны привода. Для создания непрерывной циркуляции воздуха внутри генератора в ярме пакета статора предусмотрены продольные отверстия, способствующие выравниванию температур воздушной среды генератора, что улучшает охлаждение обмотки и других узлов генератора. Во всех дисках предусмотрены отверстия для прохода охлаждающего ротор воздуха. На торце ротора со стороны привода предусмотрены лопатки центробежного вентилятора, которые предназначены для протягивания воздуха по каналам под постоянными магнитами при вращении ротора. Воздух после охлаждения пакета ротора выбрасывается во внутреннюю полость щита со стороны привода, охлаждая лобовые части обмотки статора, всю разводку фазных проводов и выводов обмотки.

Таблица 2  
**Электромагнитные нагрузки генератора  
 (холостой ход/нагрузка)**

Наименование величин, обозначение	$n_{\max}, 3500 \text{ мин}^{-1}$	$n_{\min}, 875 \text{ мин}^{-1}$
Магнитная индукция, Тл :		
– в воздушном зазоре;	0,917/0,695	0,905/0,855
– в ярме сердечника якоря	1,466/1,110	1,446/1,366
Линейная нагрузка якоря, А/см	268,5	268,5
Плотность тока в ОЯ, А/мм <sup>2</sup>	4,18	4,18

Таблица 3  
**Масса активных материалов и габаритные размеры в сравнении с индукторным генератором близкой мощности**

Наименование величин, размерность	МЭГ-42	ЭГВ-32
Расчётные массы, кг:		
– меди обмотки якоря;	25	60
– стали сердечника якоря;	86	171
– магнитов;	46	–
– обмотки возбуждения;	–	16,4
– суммарная активных материалов генератора	302	725
Удельная масса, кг/кВт	7,3	23
Габаритные размеры, мм:		
– высота	510	597
– длина	827	900
– ширина (по месту крепления/по коробке выводов)	780/440	780/620

После сборки пакет ротора, состоящий из дисков с полюсами и магнитами, нажимных массивных шайб, должен быть сжат до исчезновения зазоров между деталями. Опорой ротора служат подшипники качения.

Подшипниковые узлы генератора имеют роликовые подшипники, несущие основную радиальную нагрузку от вала ротора и механическую радиальную нагрузку. Осевую нагрузку вдоль оси вала ротора воспринимает один подшипник роликовый однорядный, взятый такого же габарита, как и рядом установленный роликовый однорядный радиальный подшипник с короткими цилиндрическими роликами. Эта пара подшипников установлена со стороны, противоположной выходному концу вала.

В конструкции подшипниковых щитов предусмотрена возможность, позволяющая разбирать генератор без снятия подшипников с вала, а обработку щитов вести за одну установку на станке и тем добиваться более точной соосности между станиной и щитами. В подшипниковых щитах разработана конструкция, обеспечивающая возможность наклона ротора до 10° к горизонтальной поверхности.

**Результаты электромагнитного расчёта**

В табл. 2 приведены индукции в некоторых местах генератора, уровень линейной нагрузки и плотность тока в обмотке якоря при оговорённых ранее режимах эксплуатации.

Из таблицы видно, что уровень электромагнитных нагрузок является средним, он рассчитан на длительное многолетнее использование генератора.

В табл. 3 приведены расчётные массы основных узлов генератора.

Полученный уровень магнитных и электрических нагрузок является оптимальным для длительной работы генератора в заданных условиях. При этом масса самого генератора, а также его габариты являются минимально возможными, удовлетворяющими требованиям технического задания.

В результате электромагнитных расчётов получены внешние характеристики генератора для максимальной и минимальной частот вращения (рис. 2 и 3).

Из приведённых рисунков следует, что в обозначенном диапазоне частот вращения, магнитная система генератора произведёт требуемое минимальное напряжение на зажимах генератора. При этом на минимальных оборотах напряжение на зажимах генератора будет требуемое заказчиком, а на максимальных оборотах будет сильно завышено, и будет необходимо в процессе регулирования его понижать специальными мерами воздействия.

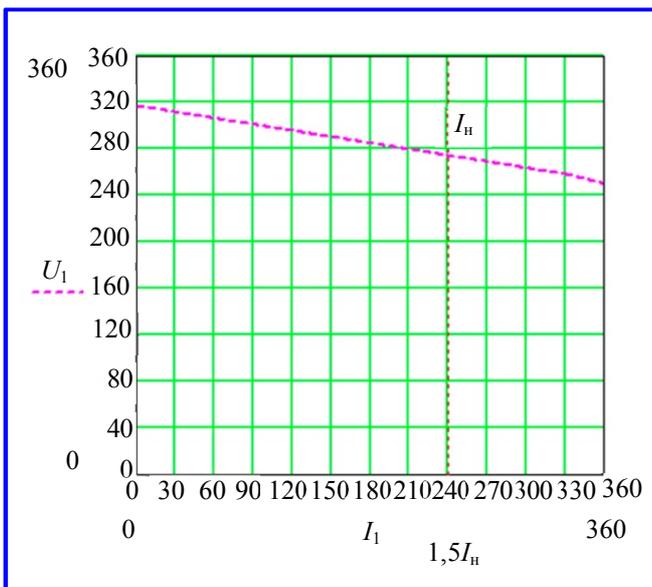


Рис. 2. Внешняя характеристика при частоте переменного тока 350 Гц ( $n_{\max} = 3500 \text{ мин}^{-1}$ )

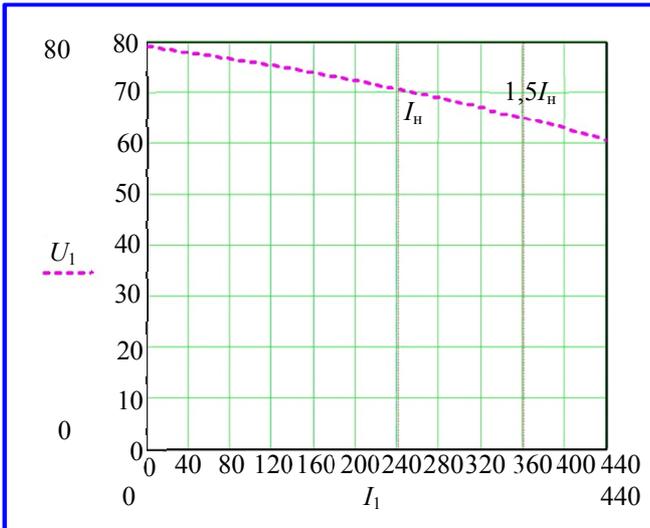


Рис. 3. Внешняя характеристика при частоте переменного тока 87,5 Гц ( $n_{\min} = 875 \text{ мин}^{-1}$ )

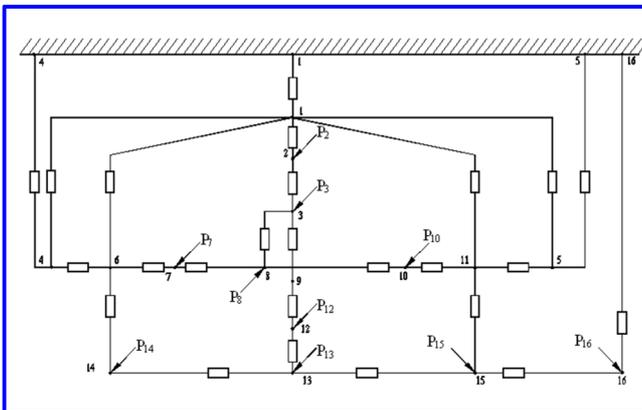


Рис. 4. Тепловая схема замещения МЭГ-42

### Результаты расчётов теплового состояния элементов генератора

Как следует из проведённых электромагнитных расчетов, уровень потерь в режиме максимальной скорости движения существенно превышает уровень потерь при минимальной скорости движения. Следовательно, и нагрев элементов конструкции, особенно магнитов на роторе, будет существенно выше. И именно этот режим для генератора будет определяющим.

Тепловой расчёт генератора осуществлялся с целью оценки его теплового состояния в период работы в стационарном режиме нагрева для режимов максимальной и минимальной частот вращения ротора.

Теплофизические параметры воздушной среды для определения коэффициентов теплоотдачи с поверхностями элементов в полости генератора соответствуют температуре 60 °С – ожидаемой средней температуре охладителя и

нормальному атмосферному давлению воздуха. В расчёте принималось, что температура окружающего воздуха составляет 40 °С. В основу теплового расчёта положен принцип эквивалентных схем замещения.

Расчёт установившихся превышений температуры при стационарном нагреве проведён по программе PEREGREV. Программа разработана в АО «НИИЭМ» применительно к электрическим машинам рассматриваемого класса.

На рис. 4 представлена тепловая схема замещения генератора МЭГ-42. Схема содержит 16 узлов и 25 тепловых эквивалентных сопротивлений. Каждое из эквивалентных сопротивлений может содержать несколько элементарных сопротивлений теплопроводности, теплоотдачи с поверхностями, а также сопротивлений подогрева охладителя. Соответствие узлов схемы замещения элементам конструкции двигателей следующее:

Охлаждаемая поверхность корпуса	1
Ярмо сердечника якоря	2
Зубцы сердечника якоря	3
Подшипниковые щиты	4,5
Лобовые части обмотки якоря (ОЯ)	6, 11
Пазовые части обмотки якоря (ОЯ)	7, 10
Поверхность зубцов сердечника в основном зазоре	8
Поверхность ротора в основном зазоре	9
Магниты ротора	12
Подшипники	14, 15
Вентилятор	16

В узлах схемы замещения приложены потери; значения потерь даны при температуре 75 °С и нормальном атмосферном давлении. Потери, связанные с нагрузкой, определены при номинальном значении тока.

Потери в узлах схемы замещения имеют следующий смысл:

$P_2, P_3$ – потери в ярме и зубцах сердечника якоря
$P_7, P_{10}$ – потери в лобовых частях ОЯ
$P_8$ – потери в пазовых частях ОЯ
$P_{12}, P_{13}$ – потери дополнительные и трения ротора о среду в основном зазоре
$P_{14}, P_{15}$ – потери в подшипниках
$P_{16}$ – потери вентиляционные

Для расчёта требуются температурные коэффициенты составляющих потерь, чтобы получить значения потерь, соответствующих рассчитанным

в узлах температурам. Результаты теплового расчёта для основных элементов конструкции генератора приведены в табл. 4.

Таблица 4  
Температуры основных элементов конструкции генератора, °С

Узлы генератора	$n_{\max},$ 3500 мин <sup>-1</sup>	$n_{\min},$ 875 мин <sup>-1</sup>
Ярмо якоря	100	82
Зубцы якоря	130	90
ОЯ (средняя)	130	100
Корпус	75	72
Щит (горячий)	135	99
Магниты на роторе	135	99

Полученные результаты теплового расчёта подтверждают возможность применения изоляции класса *F* для проводов обмотки якоря. Принятые в проекте магниты полюсов из «неодим – железо – бор» на температуру эксплуатации 150 °С также могут быть применимы на основании результатов теплового расчёта.

Поступила в редакцию 15.12.2017

*Михаил Игоревич Юрьев, инженер 3-й категории.*

*Алексей Викторович Волков, кандидат технических наук, директор отделения.*

*Леонид Степанович Аванесов, ведущий инженер.*

*Маргарита Леонидовна Круглова, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.*

*Игорь Викторович Кривенцов, ведущий инженер-конструктор.*

*Наталья Владимировна Кузьминых, инженер-конструктор 1-й категории.*

*Т. (495) 994-51-10, (495) 994-53-27, e-mail: oemip@niiem.ru.*

*Научно-исследовательский институт электромеханики (АО «НИИЭМ»).*

### Заключение

Разработан магнитоэлектрический генератор мощностью 42 кВт, который при заданном уровне электромагнитных нагрузок, имеет пониженный уровень массовых и габаритных показателей по сравнению с генераторами аналогичной мощности других конструкций. Работа имеет целью продвижение изделий передовой техники, разрабатываемой в АО «НИИЭМ», и представление их заинтересованному Заказчику.

### Литература

1. Балагуров В. А., Галтеев Ф. Ф., Ларионов А. Н. Электрические машины с постоянными магнитами. – М. – Л., 1964.
2. Ермилов М. А., Мизюрин С. Р. Расчёт магнитоэлектрических синхронных генераторов. – М. : МАИ, 1968.
3. Бут Д. А. Бесконтактные электрические машины. – М. : Высшая школа, 1990.
4. Каталог 01.08.04-66 Генераторы синхронные трёхфазного тока серии ЕСС, МЭП, 1966.
5. Каталог 01.27.03-66 Унифицированные дизель-энергетические агрегаты серии АД мощностью 5, 10, 20, 30, 50 и 75 квт, передвижные, МЭП, ВНИИЭМ, 1966.

## PERMANENT MAGNET EXCITED GENERATOR FOR AUTONOMOUS MOBILE POWER SUPPLY SYSTEMS

**M. I. Iurev, A. V. Volkov, L. S. Avanesov,  
M. L. Kruglova, I. V. Kriventsov, N. V. Kuzminykh**

*The article describes technical conditions of operation of a magnetolectric generator whose feature is a wide range of variable rotation rates. This generator is designed for mobile systems in which such generator can be installed and shall demonstrate the long-term and reliable operation on different transport means (automobile, railway, sea and air transport), where minimization of mass and dimensions is a pressing issue. The design of a magnetolectric synchronous generator of collector type based on high-power magnets has been developed. Electromagnetic and thermal calculations for different operation modes of this generator have been performed.*

**Key words:** *magnetolectric synchronous generator, tangential magnetization (collector) design, collector design, high-power magnets, temperature conditions.*

### List of References

1. Balagurov V. A., Galteev F. F., Larionov A. N. Electrical machines with permanent magnets. – M. – L., 1964.
2. Ermilov M. A., Miziurin S. R. Design of magnetolectric synchronous generators. – M. : MAI, 1968.

3. But D. A. Contactless electrical machines. – М. : Vysshaya Shkola (High School) Publishers, 1990.
4. Catalog 01.08.04-66 Three-phase synchronous generators of ESS series. Direct drive mechanisms, 1966.
5. Catalog 01.27.03-66 Unified diesel power generating units of AD series (mobile; 5, 10, 20, 30, 50 and 75 kW). Direct drive mechanisms, VNIEM, 1966.

***Mikhail Igorevich Iurev**, Third Category Engineer.*

***Aleksei Viktorovich Volkov**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Head of Division.*

***Leonid Stepanovich Avanesov**, Leading Engineer.*

***Margarita Leonidovna Kruglova**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Leading Researcher.*

***Igor Viktorovich Kriventsov**, Leading Design Engineer.*

***Natalia Vladimirovna Kuzminykh**, First Category Design Engineer.*

*Tel.: +7 (495) 994-51-10, +7 (495) 994-53-27, e-mail: oemip@niiem.ru.*

*Scientific and Research Institute of Electromechanics (JSC «NIIEM»).*