

На правах рукописи

ЛЕОНОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ТОРЦЕВОЙ ЭЛЕКТРОМАШИННЫЙ ГЕНЕРАТОР
ДЛЯ ПИТАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
СКВАЖИННОЙ АППАРАТУРЫ**

05.09.01 – "Электромеханика и электрические аппараты"

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2001

Работа выполнена на кафедре интегрированных компьютерных систем управления Томского политехнического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хорьков К.А.

Консультант кандидат технических наук, доцент
Щипков А.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заслуженный конструктор России
Гусельников Э.М.
кандидат технических наук, доцент
Баклин В.С.

Ведущее предприятие: научно-производственный центр
“Полюс”, г. Томск

Защита диссертации состоится 26 декабря 2001г. в 15 часов на заседании диссертационного совета К212.269.03 в актовом зале Томского политехнического университета (634034, г.Томск, пр. Ленина, 30, ТПУ).

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ТПУ.

Автореферат диссертации разослан “___” ноября 2001г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент _____ А.Е. Алехин

Актуальность темы. Появление современных промышленных технологий в нефтедобывающей отрасли стимулировало развитие автоматизированного оборудования для инженерного сопровождения буровых работ. Так при проводке горизонтальных и наклонно-направленных скважин успешно применяются забойные инклинометрические телесистемы, позволяющие непрерывно отслеживать траекторию построения новой скважины.

Во время длительной эксплуатации забойных телесистем были выявлены недостатки, обусловленные невысокой надежностью работы скважинного прибора. Наиболее существенным из них считается малое время межрегламентного периода работ (порядка 40 ч) автономного электромашинного синхронного генератора, применяемого в качестве источника электропитания инклинометра. Недостаточная надежность работы генератора связана с негерметичным исполнением конструкции машины. При бурении сальниковые уплотнители изнашиваются, и буровой раствор попадает в активную зону электрической машины. В результате воздействия агрессивной среды разрушается изоляция обмоток и система возбуждения генератора. Для технического осмотра и текущего ремонта скважинного генератора буровая колонна полностью поднимается на поверхность земли, что приводит к простоям оборудования и повышению затрат при бурении новой скважины. Таким образом, для сокращения капитальных затрат перед разработчиками автоматизированного оборудования поставлена задача увеличения продолжительности работы скважинного генератора до времени межрегламентной замены турбобура (порядка 250 ч).

Разрешить поставленную задачу предлагается путем применения магнито-электрического генератора торцевой конструкции с герметичным исполнением статора машины. В воздушном зазоре между ротором и статором торцевого генератора устанавливается перегородка (экран) из немагнитного материала, надежно защищающая обмотку якоря от воздействия внешней среды [1].

Для оценки возможности применения данной конструкции в качестве источника питания инклинометра необходимо определить максимальную величину

преобразуемой мощности в ограниченном объеме скважинного пространства и разработать электромашинный генератор с требуемыми удельными энергетическими показателями.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование электромашинного синхронного генератора торцевой конструкции, предназначенного для электропитания скважинного прибора. В связи с этим решаются следующие задачи:

- разработка конструкции скважинного генератора;
- оценка возможности применения торцевого синхронного генератора в качестве источника питания инклинометра;
- разработка математической модели для исследования трехмерного магнитного поля торцевого генератора;
- проведение комплекса теоретических исследований для определения оптимальных размеров геометрии магнитной системы;
- изготовление опытного образца торцевого генератора для экспериментальной оценки результатов теоретических исследований.

Научной новизной работы является:

- обоснование выбора обмоточных характеристик статора для построения генератора с наибольшей удельной мощностью;
- анализ неоднородности объемного магнитного поля в зубце статора торцевого генератора;
- определение влияния геометрии магнитной системы на энергетические характеристики торцевой машины;
- вывод уравнения для нормальной составляющей потока статора торцевого генератора;
- вывод уравнения для проводимости рассеяния торцевого генератора;

- оптимизация геометрических размеров активной части машины с целью получения наибольших удельных показателей мощности торцевого генератора.

Практическую ценность представляют следующие результаты исследовательской работы:

- разработана новая конструкция скважинного электромашинного генератора;
- составлена математическая модель трехмерного магнитного поля торцевого генератора с учетом особенностей геометрии и нелинейной характеристики элементов магнитной системы;
- на основе анализа трехмерных магнитных полей получены рекомендации по проектированию торцевых машин с возбуждением от постоянных магнитов;
- определено уравнение регрессии, выражающее результирующий магнитный поток в зубце статора в зависимости от величины внешнего диаметра, МДС поля якоря, длины и относительной ширины зубца машины;
- для уточнения методики электромагнитного расчета определена зависимость магнитной проводимости пазового рассеяния от основных размеров магнитопровода машины;
- выполнено экспериментальное исследование опытных образцов скважинного генератора.

Методы исследования

При исследовании электромагнитных процессов, протекающих в магнитной системе торцевого генератора, были использованы:

- метод интегрирования по источникам поля;
- метод ротатбельного униформ – планирования второго порядка;
- физическое моделирование магнитных полей;
- эксперименты с макетными образцами торцевого электромашинного генератора.

Апробация

Результаты проведенных исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на следующих конференциях:

- V международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов “Радиоэлектроника, электротехника и энергетика” (г. Москва, 1999г.);
- V областная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии” (г. Томск, 1999г.);
- научно-техническая конференция “Научные проблемы западносибирского нефтегазового региона” (г. Тюмень, 1999г.);
- VI международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии” (г. Томск, 2000г.);
- научно-техническая конференция “Технология и автоматизация атомной энергетики” (г. Северск, 2000г.);
- межотраслевая научно-практическая конференция “Снежинск и наука” (г. Снежинск, 2000г.);
- XVI научно-техническая конференция “Электронные и электромеханические системы и устройства” (г. Томск, 2000г.);
- VI научно-техническая конференция Сибирского химического комбината, (г. Северск, 2000г);
- международная научно-практическая конференция “Моделирование: теория, методы и средства” (г. Новочеркасск, 2001г.).

Публикации

По результатам выполненной работы опубликовано 9 тезисов докладов, 4 научные статьи и оформлена заявка на патентование вновь разработанной конструкции скважинного генератора, предназначенного для электропитания инклинометра.

Реализация результатов работы

Основные выводы, полученные при исследовании синхронного генератора торцевой конструкции, используются при выполнении работ по проектированию электромашинного скважинного источника питания, разрабатываемого по заданию ОАО НПФ “Геофит”.

На основе приведенной методики расчета трехмерных магнитных полей разработана компьютерная программа, которая широко используется в учебном процессе при подготовке студентов – электромехаников в Северском технологическом институте.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из пяти разделов и заключения, содержащих 115 страниц машинописного текста, 15 таблиц и 63 рисунка, списка литературы из 103 наименований и приложения.

В первом разделе описана общая характеристика выполненной работы. Сформулированы основные задачи, цель, научная новизна и практическая ценность диссертации. Приведена краткая аннотация выполненной работы по разделам.

Во втором разделе приведены основные вопросы проектирования магнито-электрического электромашинного источника питания скважинного прибора.

Согласно опыту эксплуатации забойных телесистем для увеличения продолжительности работы скважинного генератора необходимо повысить герметичность конструкции электрической машины с сохранением энергетических характеристик и показателей качества электроэнергии, присущих применяемым в настоящее время источникам питания инклинометрических телесистем.

До настоящего времени было предложено несколько способов герметичного исполнения магнитной системы скважинного генератора:

- применение активной муфты для передачи вращающего момента гидротурбины к ротору цилиндрического синхронного генератора, расположенного в герметичном корпусе;
- герметичное исполнение используемых в настоящее время скважинных генераторов, посредством установки экранирующего цилиндра в воздушном зазоре электрической машины;
- выполнение конструкции генератора в виде обращенной цилиндрической машины для герметичного исполнения магнитопровода и обмотки статора.

Приведенные магнитные системы имеют общий недостаток, который заключается в значительном увеличении воздушного зазора машины и, как следствие, в снижении ее энергетических характеристик. При таком построении рабочей зоны резко возрастает падение МДС на воздушном зазоре и уменьшается основной магнитный поток. Для сохранения энергетических характеристик генератора необходимо увеличить МДС полюсной системы (т.е. высоту полюса из постоянного магнита), что в цилиндрической машине с ограниченным внешним диаметром сделать практически невозможно.

Нами предложена новая конструкция скважинного генератора, выполненная на базе торцевой машины, которая наряду с герметичным исполнением статора позволяет увеличить высоту магнитов до требуемого значения [2]. Герметичность статора достигается установкой в воздушном зазоре немагнитной перегородки (экрана), препятствующей попаданию бурового раствора в полость статора и предотвращающей разрушение изоляции обмотки агрессивной средой. Полюсную систему генератора составляют высококоэрцитивные постоянные магниты (марка Нм36Р), защищенные снаружи корпусом (обечайкой) из немагнитного материала.

Скважинный генератор (рис.1) работает следующим образом. Под действием давления бурового раствора на лопатки гидротурбины к валу машины прикладывается вращающий момент, который приводит в движение ротор генератора. Вращающийся магнитный поток, создаваемый полюсной системой, пересекает

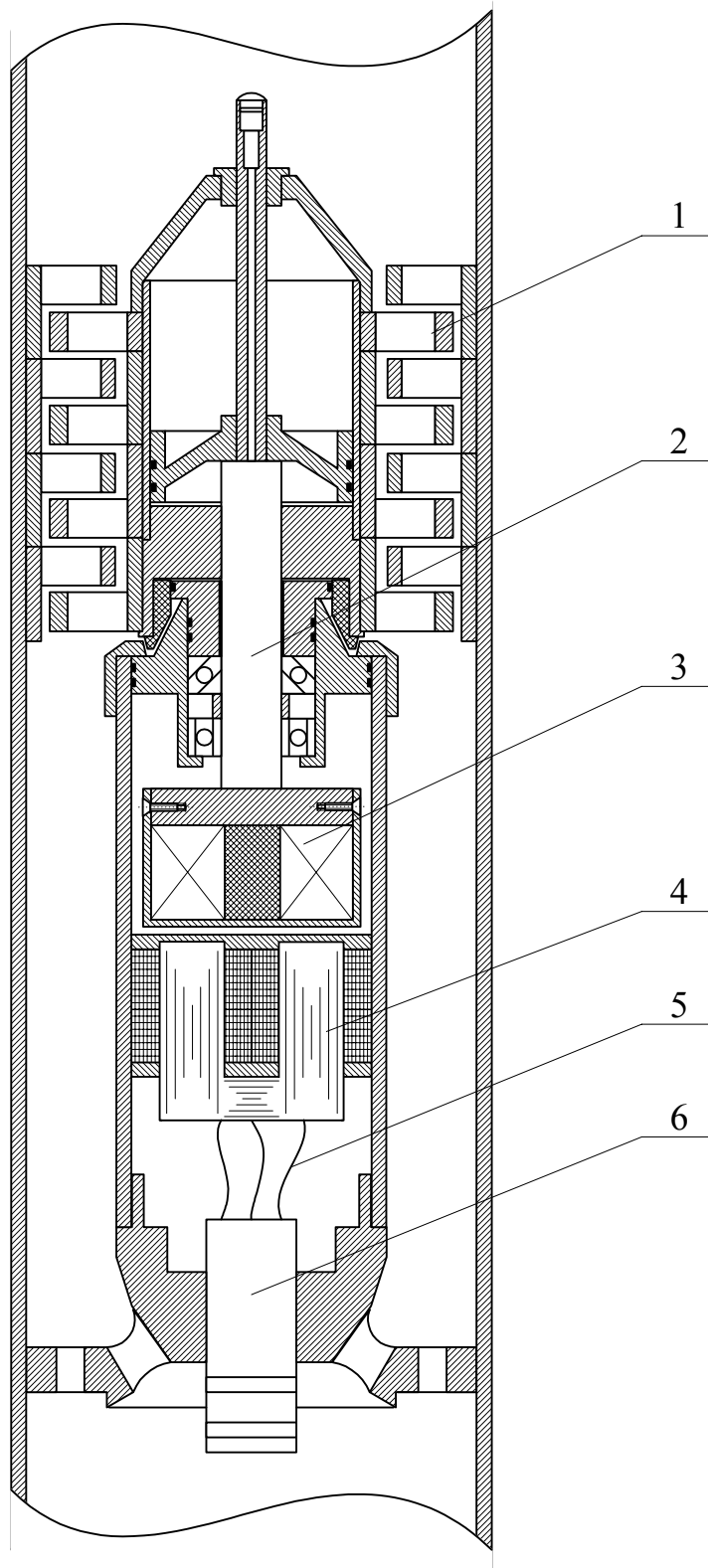


Рис.1. Конструкция скважинного генератора,
выполненная на базе синхронной машины торцевого исполнения:

- 1 - гидротурбина; 2 - вал электрической машины;
- 3 - ротор; 4 - статор генератора; 5 - выводы обмотки; 6 - разъем наконечника

воздушный зазор и герметичную перегородку, проходит по магнитопроводу статора и создает в катушках обмотки якоря ЭДС.

Для определения основных размеров машины и возможных вариантов исполнения магнитной системы проведен электромагнитный расчет торцевого генератора [3]. Программа расчета построена по методике проектирования цилиндрических машин с учетом особенностей торцевого исполнения магнитной системы. Результаты предварительного расчета нескольких вариантов исполнения магнитной системы торцевого генератора приведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты электромагнитного расчета

Номер варианта	Число фаз	Количество пар полюсов	Число зубцов статора	Активная мощность, Вт
Внешний диаметр генератора 60 мм				
1	1	2	4	92
2		3	6	58
3	3	2	3	56
4		2	6	65
Внешний диаметр генератора 120 мм				
1	1	2	4	235
2		3	6	185
3	3	2	6	210
4		3	9	152

Согласно результатам электромагнитного расчета наилучшие по энергетическим показателям варианты построения магнитной системы получаются при выполнении торцевой машины с количеством пар полюсов $p = 2$ и числом зубцов статора $z = 4$ при однофазном исполнении генератора и $z = 6$ при трехфазном исполнении.

В результате электромагнитного расчета доказана принципиальная возможность создания торцевого генератора требуемой мощности в ограниченном объеме скважинного прибора. Однако, учитывая значительное влияние неоднородно-

сти магнитного поля в магнитопроводе на характеристики торцевого генератора, дальнейшая оптимизация геометрии магнитной системы проводится на основе расчета трехмерных магнитных полей [4].

В третьем разделе приведены методика и алгоритм расчета трехмерного магнитного поля [5,6]. Метод интегрирования по источникам поля реализован на общей концепции метода вторичных источников, в котором ферромагнитные части магнитопровода генератора учитываются введением распределенных по их объему вторичных (“фиктивных”) источников магнитного поля. Расчет заключается в решении общего интегрального выражения напряженности через намагниченность элементов магнитной системы [7-9]:

$$\overline{H}(q) = \frac{J_{cm}}{4\pi} \int_V \frac{[\overline{dl}_g, \overline{r}_{gq}]}{r_{gq}^3} dS_g - \frac{1}{4\pi} \text{grad}_q \int_V \frac{\overline{M}_p \overline{r}_{pq}}{r_{pq}^3} dV_p, \quad (1)$$

где $\overline{H}(q)$ – напряженность магнитного поля в вакууме, А/м; $\overline{dl}_g$ – вектор, равный по модулю элементарному участку тока и совпадающий с ним по направлению, м; J_{cm} – плотность стороннего тока, А/м²; $\overline{M}_p$ – намагниченность элементарного объема dV_p , А/м; $\overline{r}_{gq}$ – радиус-вектор, проведенный от участка элементарного тока $\overline{dl}_g$ в точку наблюдения q , м; $\overline{r}_{pq}$ – радиус-вектор, проведенный из элементарного намагниченного объема dV_p в точку наблюдения q , м; r_{gq}, r_{pq} – модуль соответствующего радиус-вектора, м; dS_g – площадь поперечного сечения элементарного проводника, м².

Алгоритм программы расчета магнитного поля торцевого генератора содержит следующую последовательность действий:

1. Описание расчетной области, которое заключается в разбиении магнитной системы на элементарные объемы с последующим определением их координат. При описании расчетной области статора торцевой машины была выбрана математическая модель, содержащая три стержня (зубца), при условии исследования поля в среднем стержне (рис.2). Расчетная область полюсной системы описывает-

ся полностью и в данном случае содержит две пары полюсов (рис.3). Математическое описание обмотки якоря производится с учетом изменения формы витка по мере увеличения количества слоев в катушке.

2. Итерационный расчет по определению вторичных источников магнитного поля. Расчет проводится по методу покоординатных итераций (метод Зейделя). После преобразований выражения (1) система расчетных уравнений принимает вид [10]:

$$\begin{aligned}
 M_x^{k+1}(q) &= \frac{B(H_x^{k+1}(q))}{\mu_o} - H_x^{k+1}(q); \\
 H_x^{k+1}(q) &= \frac{J_{cm}}{4\pi} \left[\sum_{j=1}^m \frac{r_{gqzj} \Delta l_{gyj} - r_{gqyj} \Delta l_{gzj}}{r_{gqj}^3} \right] - \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(r_{pqyi}^2 + r_{pqzi}^2 - 2r_{pqxi}^2) M_{xi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{3r_{pqxi} r_{pqyi} M_{yi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} - \frac{3r_{pqxi} r_{pqzi} M_{zi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} \right]; \\
 M_y^{k+1}(q) &= \frac{B(H_y^{k+1}(q))}{\mu_o} - H_y^{k+1}(q); \tag{2} \\
 H_y^{k+1}(q) &= \frac{J_{cm}}{4\pi} \left[\sum_{j=1}^m \frac{r_{gqxj} \Delta l_{gzj} - r_{gqzj} \Delta l_{gxj}}{r_{gqj}^3} \right] - \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(r_{pqxi}^2 + r_{pqzi}^2 - 2r_{pqyi}^2) M_{yi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{3r_{pqyi} r_{pqxi} M_{xi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} - \frac{3r_{pqyi} r_{pqzi} M_{zi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} \right]; \\
 M_z^{k+1}(q) &= \frac{B(H_z^{k+1}(q))}{\mu_o} - H_z^{k+1}(q); \\
 H_z^{k+1}(q) &= \frac{J_{cm}}{4\pi} \cdot \left[\sum_{j=1}^m \frac{r_{gqyj} \Delta l_{gxj} - r_{gqxi} \Delta l_{gyj}}{r_{gqj}^3} \right] - \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^n \left[\frac{(r_{pqxi}^2 + r_{pqyi}^2 - 2r_{pqzi}^2) M_{zi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} - \right. \\
 &\quad \left. - \frac{3r_{pqzi} r_{pqxi} M_{xi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} - \frac{3r_{pqzi} r_{pqyi} M_{yi}^k \Delta V_i}{r_{pqi}^5} \right].
 \end{aligned}$$

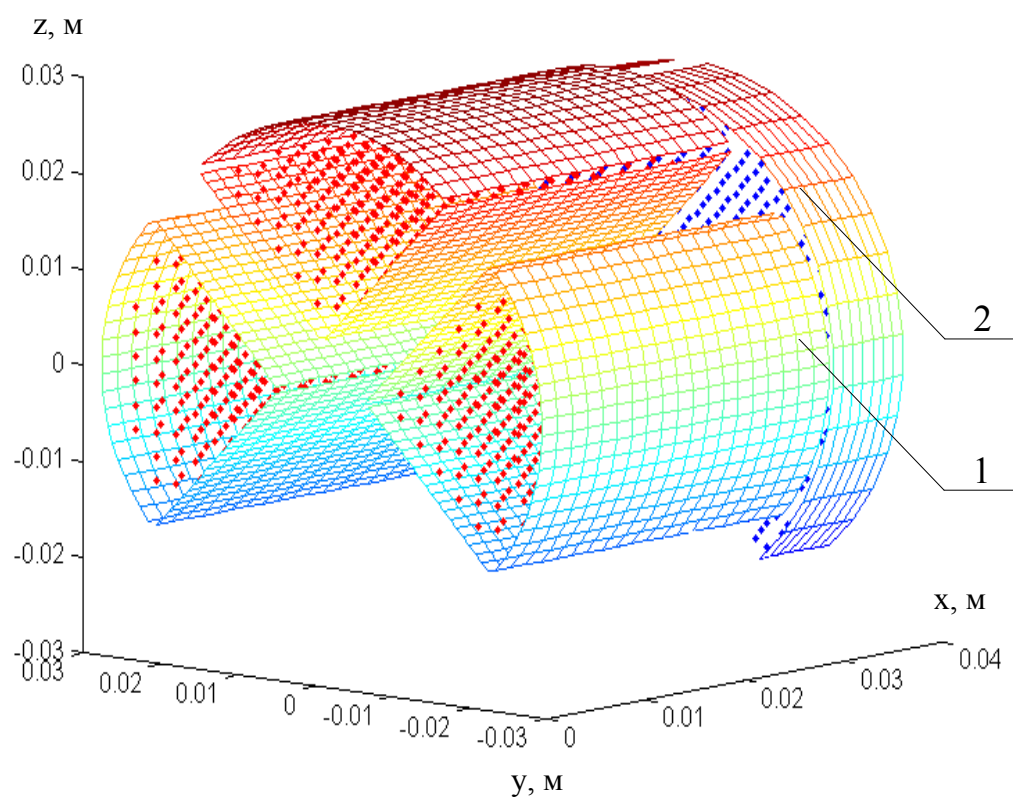


Рис.2. Расчетная область магнитопровода статора:
1 – стержень статора; 2 – ярмо статора машины

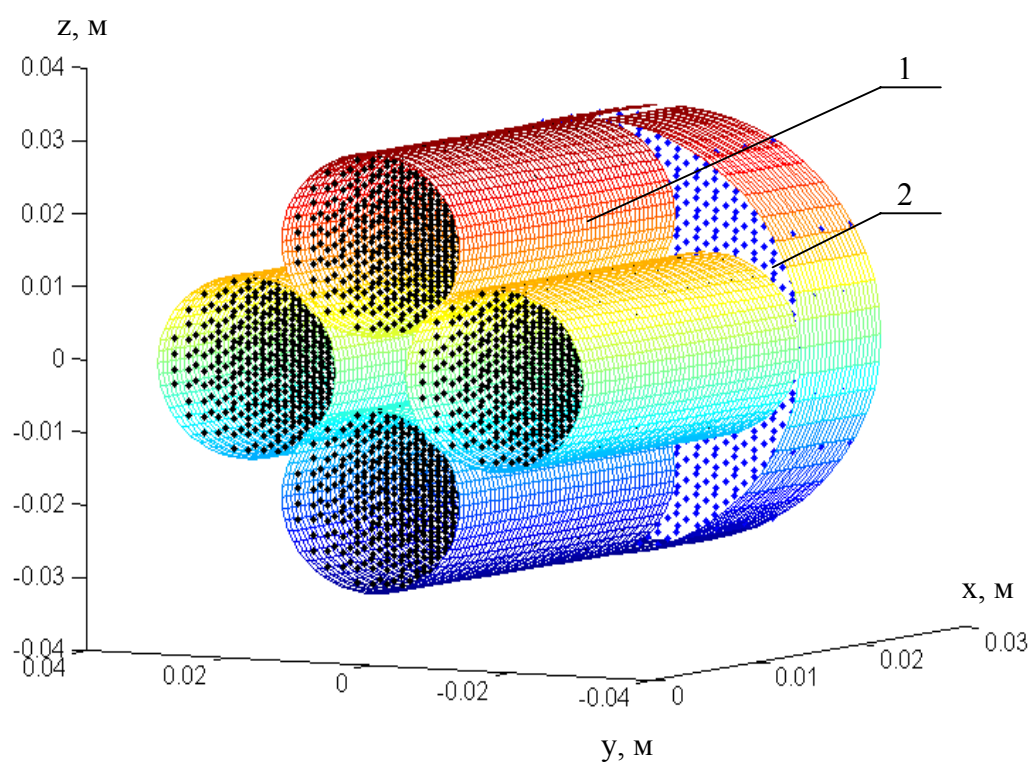


Рис.3. Расчетная область полюсной системы:
1 – полюс ротора; 2 – ярмо ротора машины

На первом шаге итерационного процесса нулевое распределение векторов намагниченности по объему пассивных элементов магнитной системы (2) определяется через напряженность поля первичных источников.

3. Расчет магнитного поля в исследуемой области магнитной системы и определение ее интегральных характеристик (магнитного потока, падения МДС на участке магнитной цепи, потокосцепления обмотки и электромагнитных сил) [11].

Программа расчета трехмерного магнитного поля торцевого генератора разработана в среде системы *Matlab* [12,13].

Для оценки адекватности математической модели было выполнено сравнение результатов математического и физического моделирования на примере исследования магнитного поля элементарных магнитных систем. Расхождение характеристик поля в данном случае не превысило 8%.

В четвертом разделе приведены результаты теоретических исследований неоднородности магнитного поля в стержне статора торцевого генератора. На рис.4 приведено объемное распределение магнитного поля в стержне генератора, работающего в режиме холостого хода. Плоскость, проведенная через точку $x = 0$, соответствует границе раздела сред (воздушный зазор – ферромагнитный стержень). На рис.5 и рис.6 приведены проекции векторов поля в плоскостях xu и xz . Приведенные результаты качественно отражают значительную неоднородность поля в стержне статора, что подтверждает необходимость рассмотрения трехмерного распределения параметров магнитного поля при проектировании малогабаритных торцевых машин.

Исследование магнитного поля вдоль стержня статора выполнено по величине результирующего магнитного потока Φ_p . На рис.7 представлены зависимости $\Phi_p = f(L_z)$ для генератора с внешним диаметром 60 мм. На графике точка $L_z = 0$ соответствует границе раздела сред между стержнем статора и рабочим воздушным зазором. В результате исследований установлено, что вид характеристики $\Phi_p = f(L_z)$ практически не изменяется при увеличении длины стержня

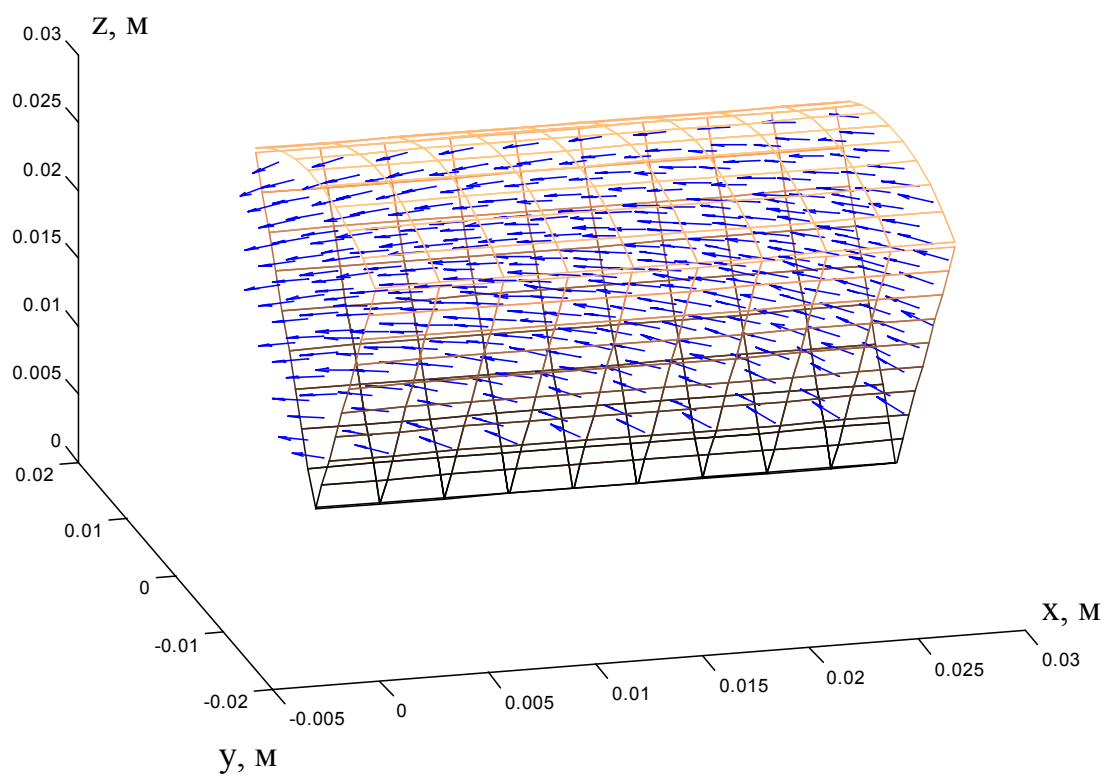


Рис.4. Магнитное поле в стержне торцевого генератора

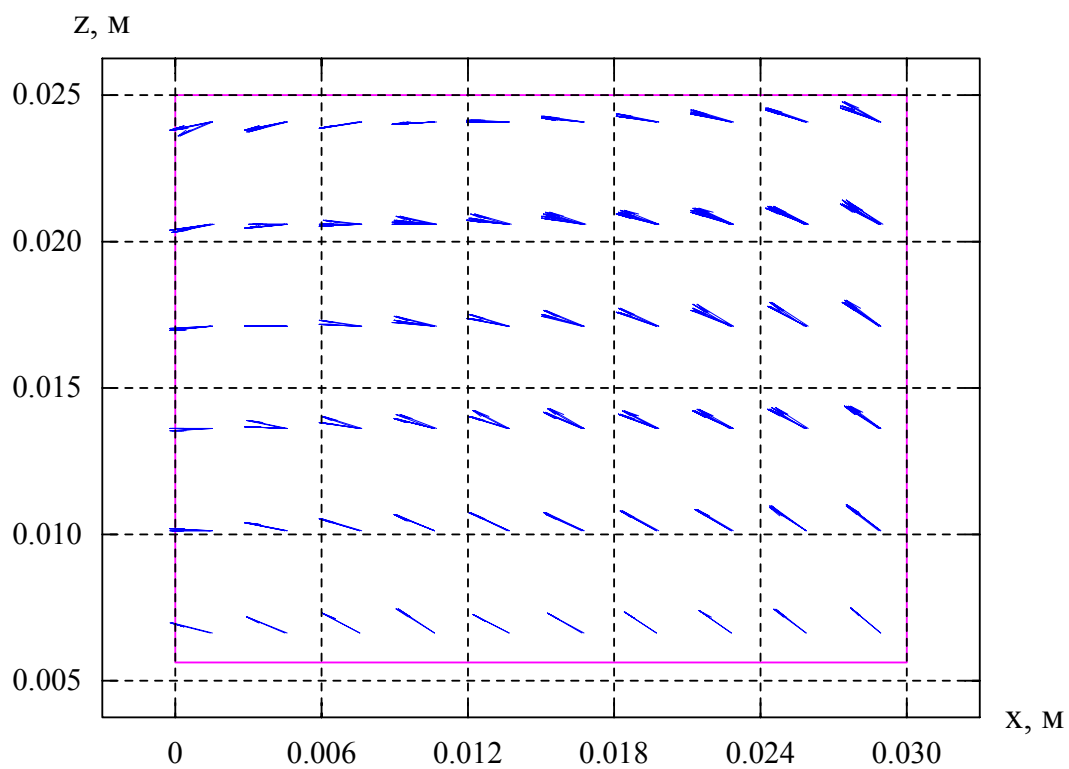


Рис.5. Проекция векторов поля на плоскость xz

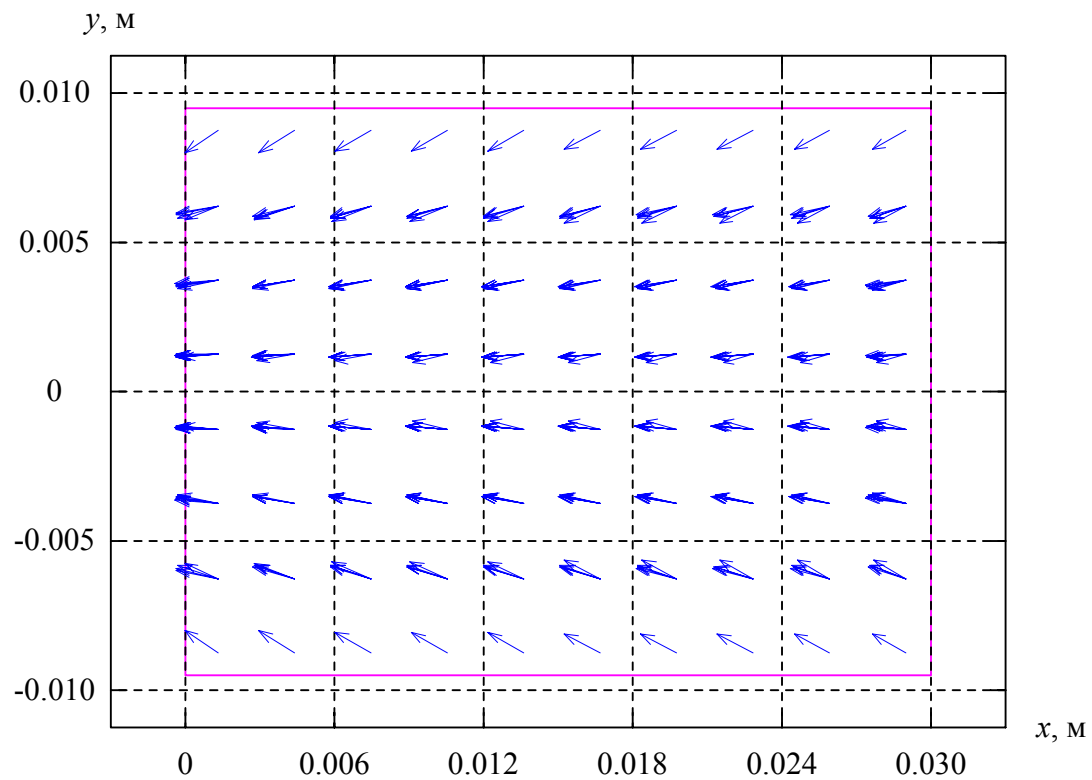


Рис.6. Проекция векторов поля на плоскость $xу$

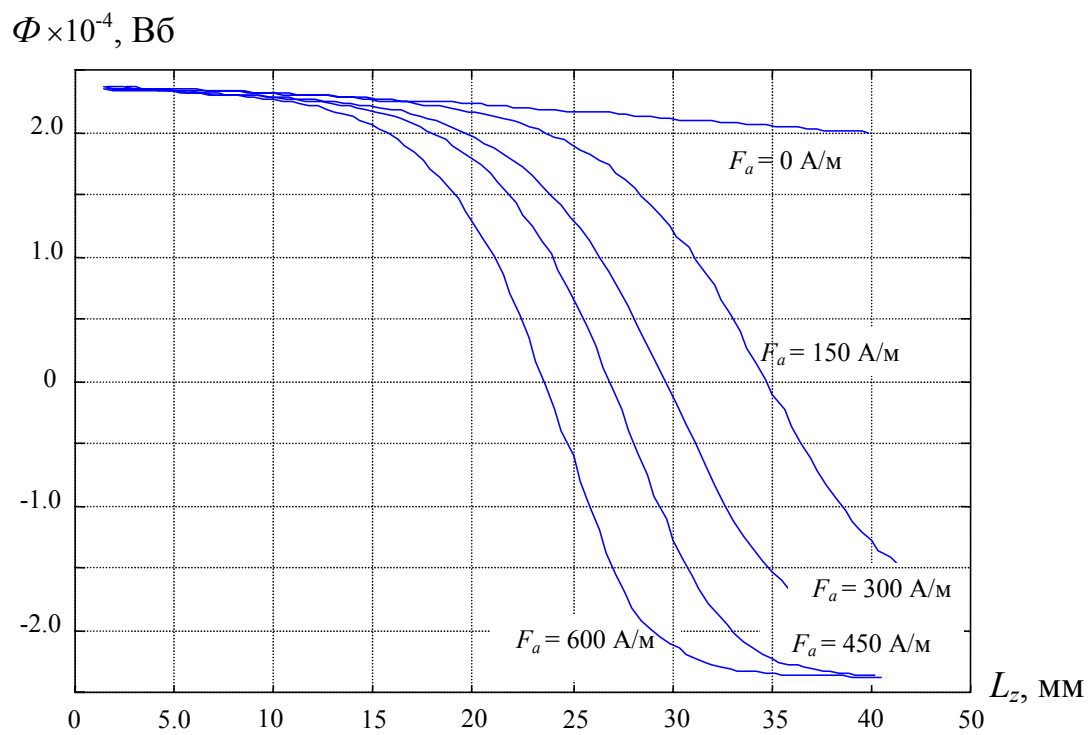


Рис.7. Характеристики изменения магнитного потока по длине стержня статора

машины и зависит в основном от величины МДС поля якоря. Поэтому на основе проведенных расчетов можно определить эффективную длину стержня при заданном значении тока якоря. Например, согласно рис.7 выполнение длины стержня более $L_z = 30$ мм при МДС поля якоря $F_a = 300$ А/м нецелесообразно вследствие значительного снижения величины основного магнитного потока.

Рассмотрены характеристики, показывающие изменение нормальной составляющей вектора индукции магнитного поля B_n вдоль радиуса машины, при нескольких значениях МДС обмотки якоря. Существенная неоднородность поля наблюдается вблизи границ элементов магнитопровода и в значительной степени проявляется при увеличении МДС поля якоря, что необходимо учитывать при проектировании малогабаритных торцевых машин.

Далее проанализировано влияние параметров геометрии статора на величину усредненного магнитного потока Φ'_p в стержне машины и определены характеристики геометрии, в большей степени влияющие на энергетические показатели торцевого генератора. Под Φ'_p понимается среднее значение нормальной составляющей потока по нескольким поперечным сечениям стержня равномерно распределенным в аксиальном направлении.

Для уточнения методики электромагнитного расчета и оптимизации размеров геометрии торцевого генератора с внешним диаметром 60 мм и 120 мм определено комплексное воздействие характеристик геометрии на величину результирующего магнитного потока Φ'_p , Вб:

$$\begin{aligned} \Phi'_p = & \left(0,00000047 F_a^2 - 4,3 b_z^{*2} - 13,8 L_z^2 - 1079 D_{vn}^2 - 0,0122 F_a + \right. \\ & + 11,8 b_z^* - 184,5 L_z + 246 D_{vn} + 0,016 F_a b_z^* + 0,102 F_a L_z + \\ & \left. + 0,0295 F_a D_{vn} + 293 b_z^* L_z - 425 b_z^* D_{vn} + 754 L_z D_{vn} - 4,41 \right) \cdot 10^{-4} \end{aligned} \quad (3)$$

где D_{vn} – внешний диаметр машины, м; L_z – длина стержня статора, м; b_z^* – относительная ширина стержня; F_a – МДС поля якоря, А/м. Уравнение регрессии получено посредством статистической обработки результатов расчета трехмерного магнитного поля по методу планирования эксперимента.

Для уточнения методики электромагнитного расчета определено уравнение регрессии, выражающее магнитную проводимость рассеяния статора через основные характеристики геометрии магнитной системы:

$$\Lambda_{sa} = \left(-145 D_{vn}^2 + 615 L_z^2 + 64 D_{vn} - 78 L_z - 3 b_o^* - \right. \\ \left. - 205 D_{vn} L_z - 67 D_{vn} b_o^* + 74 L_z b_o^* + 1,56 \right) \cdot 10^{-5} \quad (4)$$

где D_{vn} – внешний диаметр машины, м; L_z – длина стержня статора, м; b_o^* – относительная ширина паза статора.

По результатам оптимизации размеров геометрии торцевого генератора определены наилучшие варианты исполнения магнитной системы и энергетические характеристики скважинного генератора с внешним диаметром 60 мм и 120 мм.

В пятом разделе приведены результаты экспериментальных исследований. Для более полного экспериментального исследования разработано и изготовлено две конструкции торцевого генератора, отличающиеся построением активной зоны статора машины [14]. В первом варианте конструкция статора выполнена с однофазным исполнением силовой обмотки (количество стержней статора $z = 4$), секции которой состоят из ряда сосредоточенных катушек, распределенных вдоль оси стержня статора машины. Во втором варианте конструкция торцевого генератора выполнена с трехфазным исполнением обмотки якоря (количество стержней $z = 6$), секции которой намотаны послойно, причем каждый слой имеет изолированные выводы. Повышение информативности достигается изменением схемы соединений катушек и слоев секций обмотки. Геометрические размеры макетных

образцов торцевого генератора соответствуют вариантам машин, рассматриваемых при проведении теоретических исследований.

В ходе испытаний было рассмотрено несколько схем соединений катушек и слоев секций обмотки торцевого генератора, позволяющие реализовать режимы работы электрической машины с согласованной нагрузкой. В результате были получены специальные внешние характеристики (рис.8 и 9), которые дают возможность повысить энергетические показатели машины при изменении сопротивления нагрузки в широких пределах.

В режиме холостого хода были определены значения ЭДС катушек и слоев секций, которые дают возможность оценить характер изменения магнитного поля по высоте и длине магнитопровода торцевой машины. В наибольшей степени ЭДС холостого хода претерпевает изменение по длине стержня машины, что говорит о преобладающем влиянии аксиальных размеров статора на пазовое рассеяние генератора.

В ходе экспериментальных исследований также были определены выходные характеристики макетных образцов торцевого генератора при изменении величины воздушного зазора и скорости вращения вала машины.

При сравнении экспериментальных характеристик с результатами теоретических исследований, получено максимальное расхождение не более 10%, свидетельствующее о высокой точности математической модели, реализованной на решении объемных полевых задач.

В заключении приведены основные результаты выполненных научных исследований, которые состоят в следующем:

1. В результате обзора и сравнения нескольких способов построения герметичной конструкции магнитной системы скважинного генератора была разработана и обоснована новая конструкция скважинного электромашинного источника питания, выполненная на базе торцевой машины с возбуждением от высококоэрцитивных постоянных магнитов;

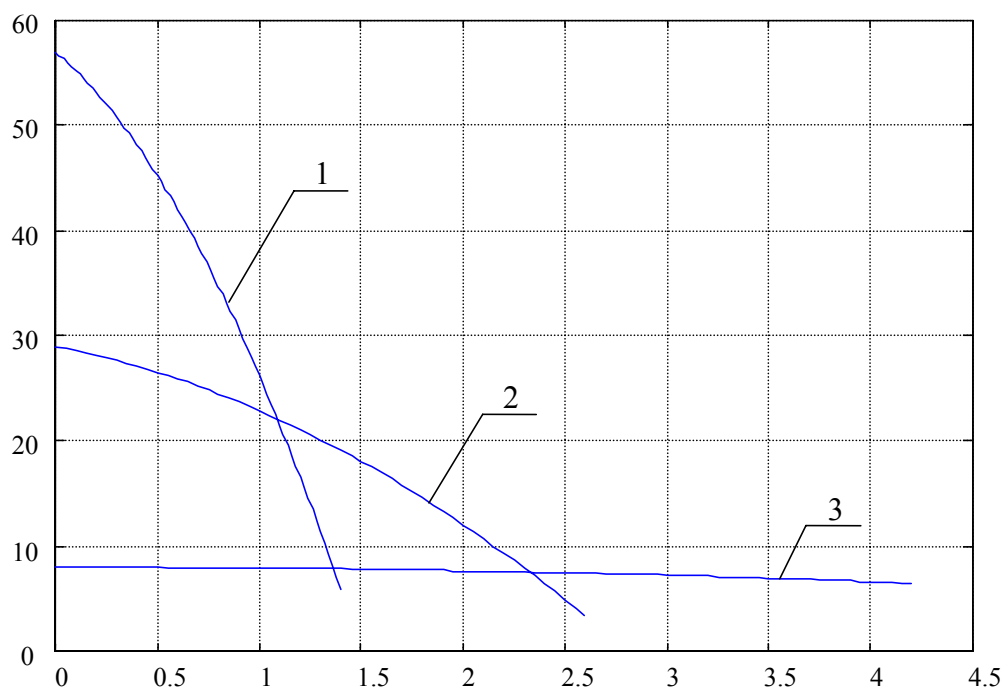


Рис.8. Внешние характеристики однофазного генератора:
соединение катушек и слоев секций обмотки якоря
1 – последовательное; 2 – смешанное; 3 – параллельное

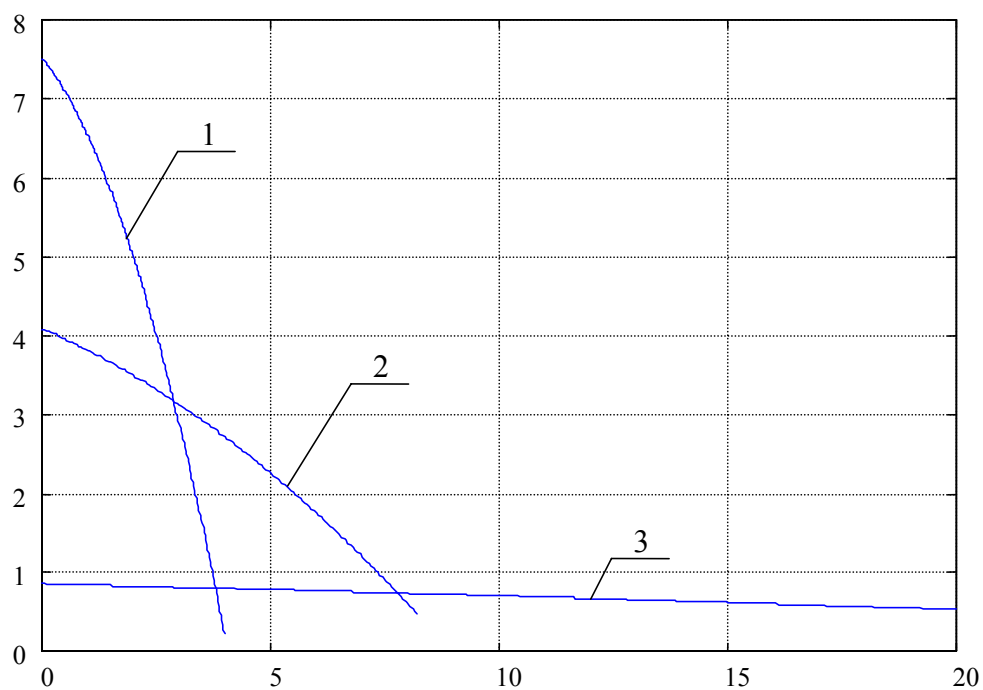


Рис.9. Внешние характеристики трехфазного генератора, приведенные для одной фазы:
соединение катушек и слоев секций обмотки якоря
1 – последовательное; 2 – смешанное; 3 – параллельное

2. Определены требуемые внешние характеристики, которыми должен обладать разрабатываемый скважинный генератор для электропитания инклинометрической аппаратуры мощностью 150 Вт (в скважинах 128 мм) и 250 Вт (в скважинах 220 мм) при изменении омического сопротивления нагрузки в пределах 1 – 15 Ом;

3. Разработана математическая модель торцевого генератора, которая дает возможность исследовать магнитное поле электрической машины с учетом особенностей геометрии и нелинейности характеристик элементов магнитной системы.

4. Исследована неоднородность объемного магнитного поля в стержне торцевого генератора. Проведен анализ изменения характеристик поля по длине стержня и вдоль радиуса торцевой машины. Установлено, что для каждого значения токовой нагрузки генератора можно определить эффективное значение длины стержня и ширины паза статора машины;

5. Определено уравнение регрессии, показывающее зависимость усредненного магнитного потока Φ_p' при изменении основных размеров геометрии статора и величины поля якоря машины. На основании полученного уравнения регрессии определены оптимальные размеры геометрии статора скважинного генератора торцевого исполнения с внешним диаметром 60 мм и 120 мм.

6. На основе исследований объемного магнитного поля машины получено уравнение для проводимости рассеяния статора, позволяющее уточнить методику электромагнитного расчета торцевого генератора.

7. При выполнении экспериментальных исследований определены внешние характеристики макетных образцов торцевого генератора, которые при сравнении с результатами теоретических исследований показывают высокую точность моделирования электромагнитных процессов.

Результаты исследований и основное содержание работы отражены в следующих публикациях:

1. Щипков А.А., Леонов С.В. Торцевой синхронный генератор для питания скважинного прибора // Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сб. статей. / Под ред. А.К. Хорькова. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2000. – С.229.

2. Малевич Г.И., Ким Ю.В., Хорьков К.А., Щипков А.А., Леонов С.В. Заявка на патент №2000131085 “Скважинный электромашинный источник питания инклинометрической системы” с приоритетом от 14.12.2000г.

3. Леонов С.В., Хорьков К.А., Щипков А.А. Особенности проектирования торцевого синхронного генератора для малогабаритных электротехнических установок // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Пятая Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Тез. докл. В 2-х томах. Том 2. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – С.353.

4. Леонов С.В., Щипков А.А. Надежный источник питания для скважинного прибора // Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазового региона: гуманитарные, естественные и технические аспекты: Тез. докл. науч.-техн. конф. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 1999. – С.192.

5. Леонов С.В., Щипков А.А. Программа расчета объемного магнитного поля торцевого электромашинного генератора с постоянными магнитами // Шестая международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии”. Сб. статей. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С. 275.

6. Leonov S.V., Schipkov A.A. Three-dimensional magnetic field calculation of the electric generator with permanent magnets // The sixth International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientist “Modern Techniques and Technology (MTT’ 2000)” – Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2000. P.178.

7. Леонов С.В. Программа расчета трехмерного магнитного поля торцевого генератора с учетом нелинейной характеристики элементов магнитной цепи // Электронные и электромеханические системы и устройства: Сб. науч. трудов НПП “Полус”. – Томск: МП “РАСКО” при издательстве “Радио и связь”, 2001. – С.318.

8. Останин К.В., Леонов С.В. Методика расчета магнитных систем с постоянными магнитами // Научно-техническая конференция: “Технология и автоматизация атомной энергетики”. Тез. докл. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С.16.

9. Леонов С.В., Щипков А.А. Расчет торцевого генератора методом интегрирования по источникам поля // Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы межд. науч.-практ. конф. /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: УПЦ “Набла” ЮРГТУ (НПИ), 2001. – С.6.

10.Щипков А.А., Леонов С.В. Расчет систем намагничивания // Материалы 6–ой научно-технической конференции Сибирского химического комбината. Тез. докл. В 3-х частях. Часть 1. – Северск.: Изд-во СТИ ТПУ, 2001. – С.253.

11.Леонов С.В. Определение магнитной проводимости полюсов магнито-электрического синхронного турбогенератора // Пятая областная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии”. Сб. статей. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – С.300.

12.Щипков А.А., Леонов С.В. Расчет трехмерных магнитных полей с учетом нелинейности магнитных материалов // Тезисы Межотраслевой научно-практической конференции “Снежинск и наука” Под ред. В.М. Сковпеня. – Снежинск: Изд-во СФТИ, 2000. – С.59.

13.Леонов С.В., Михайлов А.А., Хорьков К.А., Щипков А.А. Расчет магнитных систем с постоянными магнитами // Научно-техническая конференция: "Технология и автоматизация атомной энергетики" Тез. докл. – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – С.38.

14. Ульянов С.А., Леонов С.В. Результаты испытаний торцевого магнитоэлектрического генератора // Научно-техническая конференция: “Технология и автоматизация атомной энергетики”. Тез. докл. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – С.20.