

Евдокимов А. А.
Evdokimov A. A.
кандидат технических наук, инженер,
ОАО «Сургутнефтегаз»
трест «Сургутремстрой»,
г. Сургут, Российская Федерация



Чарыков В. И.
Charykov V. I.
доктор технических наук,
профессор кафедры «Электрификация
и автоматизация сельского хозяйства»,
ФГБОУ ВО «Курганская государственная
сельскохозяйственная академия
имени Т. С. Мальцева»,
г. Курган, Российская Федерация



Саттаров Р. Р.
Sattarov R. R.
доктор технических наук,
профессор кафедры
«Электромеханика»,
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный
авиационный технический
университет»,
г. Уфа,
Российская Федерация»



Игнатьев С. Г.
Ignatyev S. G.
инженер,
Курганский институт
железнодорожного
транспорта,
филиал ФГБОУ
ВО «Уральский
государственный
университет путей
сообщения»,
г. Курган,
Российская Федерация



Городских А. А.
Gorodskikh A. A.
аспирант кафедры
«Электрификация
и автоматизация сельского
хозяйства»,
ФГБОУ ВО «Курганская
государственная
сельскохозяйственная
академия имени
Т. С. Мальцева»,
г. Курган,
Российская Федерация

УДК 62.253.15

РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 10 кВА ДЛЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

На территории Российской Федерации наиболее энергозависимые регионы расположены в континентальной Евразийской зоне. Уральский федеральный округ характеризуется малыми значениями скорости ветра 1,5–5,5 м/с и разнообразной направленностью ветровых потоков. Разрабатываемый электрический генератор для преобразования механической энергии ветра в электрическую в условиях слабых ветров представляет собой синхронную машину с постоянными магнитами, обладает высоким КПД, низкими оборотами и скоро-

стью вращения, надежностью и простотой изготовления конструкции. Применение магнитоэлектрического генератора в составе ветросиловых установок (ВСУ) позволяет повысить эффективность электроснабжения потребителей. Теоретическая ценность работы заключается в том, что произведен расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора с учетом конструктивных его особенностей, а именно применения высокоиндуктивных постоянных магнитов в металлокомпозитном корпусе. Разработан экспериментальный образец генератора, который установлен на ветросиловую установку мощностью 8 кВА. Постоянные магниты: материал — неодим-железобор, коэрцитивная сила по намагниченности 950 кА/м, остаточная индукция 1,2 Тл, форма в виде прямоугольной призмы: ширина 12 мм, длина 230 мм, высота 10 мм. Постоянные магниты в количестве 60 штук крепятся на поверхности стального цилиндрического ротора с внешним диаметром 370 мм, толщиной 10 мм в отфрезерованных пазах глубиной 2 мм. Полярность магнитов чередуется. Расчет магнитного поля выполнен методом конечных элементов. Произведен расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора, позволяющего рассмотреть распределение магнитной индукции на верхней поверхности металлокомпозитного статора и в статорной обмотке на расстоянии 8 мм от неодимовых магнитов. Распределение нормальной составляющей магнитной индукции по линии, проходящей по середине катушки близко к синусоидальному. Результаты расчета магнитной системы позволяют разработать промышленный образец электрического генератора с требуемыми параметрами.

Ключевые слова: генератор магнитоэлектрический, ветросиловая установка, неодимовый магнит, расчет, магнитное поле, ротор, статор.

THE CALCULATION OF THE MAGNETIC SYSTEM OF MAGNETO-ELECTRIC GENERATORS UP TO 10 kVA FOR WIND TURBINES

On the territory of the Russian Federation most volatile regions are located in the Eurasian continental area. Ural Federal district is characterised by low values of wind speed 1.5–5.5 m/s and varied the direction of wind flows. Developed electrical generator used to convert mechanical wind energy into electrical energy in low winds, is a synchronous machine with permanent magnets, has high efficiency, low Rev, speed, reliability and ease of manufacturing. Application magnetoelectrical generator part of the wind power units (WPU) allows to increase the efficiency of electricity consumers. The theoretical value of the work lies in the fact that the calculation of the magnetic system of the magnetoelectric generator according to constructional features, namely the application of vysokointensivnykh permanent magnets in metal-composite housing. Developed an experimental model of the generator, which is mounted on a wind power plant with capacity of 8 kVA. Permanent magnets: material: neodymium — iron-boron, the coercive force of the magnetization of 950 kA/m, a residual induction of 1.2 T, in the form of a rectangular prism: width 12 mm, length 230 mm, height 10 mm. Permanent magnets in the amount of 60 pieces are fixed on the surface of a cylindrical steel rotor with an outer diameter of 370 mm, thickness 10 mm milled grooves with a depth of 2 mm. The polarity of the magnets alternates. The magnetic field calculation is performed by finite element method. Calculation of the magnetic system of a magneto generator, which allows to consider the distribution of the magnetic induction on the upper surface of metal-composite stator and stator windings at a distance of 8 mm from neodymium magnets. The distribution of the normal component of the magnetic induction along a line that passes through the middle of the coil close to sinusoidal. The results of the calculation of the magnetic system allows to develop the industrial design of the electric generator with the required parameters.

Key words: magnetoelectric generator, wind power installation, neodymium magnet, calculation, magnetic field, rotor, stator.

Введение

Развитие альтернативной, экологически чистой, природосохраняющей энергетики становится одной из главных тем международных саммитов и форумов. В России государственная политика в сфере использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) предусматривает рост доли таких источни-

ков в энергобалансе страны с 1 % в 2009 г. до 4,5 % к 2020 г.

На территории Российской Федерации наиболее энергозависимые регионы расположены в континентальной Евразийской зоне. Уральский федеральный округ характеризуется малыми значениями скорости ветра 1,5–5,5 м/с и разнообразной направленностью ветровых потоков.

Разрабатываемый электрический генератор для преобразования механической энергии ветра в электрическую в условиях слабых ветров представляет собой синхронную машину с постоянными магнитами и обладает высоким КПД, низкими оборотами и скоростью вращения, надежностью и простотой изготовления конструкции.

Актуальность работы не вызывает сомнения в связи с тем, что применение ВИЭ для энергоснабжения потребителей в удаленных районах, малонаселенной местности, объектах малоэтажного строительства, в заповедных районах, на лесных пасеках, в рыболовных артелях и охотничьих угодьях позволяет сохранить экосистему, снизить вредные выбросы, получить энергию там, где отсутствуют традиционные источники или нет возможности доставки энергоресурсов из других регионов. Применение электрического генератора в составе ветросиловых установок (ВСУ) позволяет повысить эффективность электроснабжения потребителей.

Цель исследования — повышение эффективности электроснабжения потребителей путем использования магнитоэлектрического генератора в составе ветростанций.

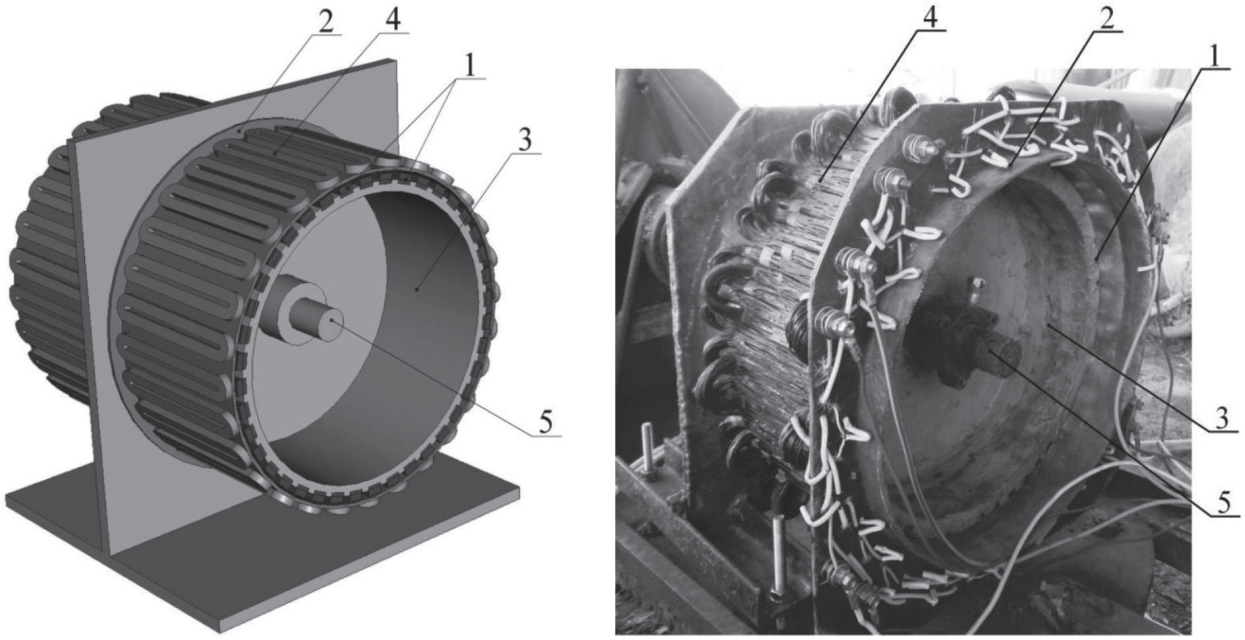
Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

— разработать методику расчета магнитной системы магнитоэлектрического генератора, позволяющую определять магнитную индукцию и ЭДС магнитного поля;

— провести расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора с учетом его конструктивных особенностей.

Результаты исследований. Расчет магнитной системы электрического генератора позволяет определить распределение магнитной индукции над статорными катушками [1].

Внешний вид генератора [2] приведен на рисунке 1. В генераторе 60 полюсов постоянных магнитов с чередующейся полярностью, постоянные магниты 1,2 Тл, схема включения обмотки параллельная, скорость вращения от 1 м/с.



1 — постоянные магниты; 2 — статор; 3 — ротор; 4 — статорная обмотка; 5 — металлический вал

Рисунок 1. Конструкция магнитоэлектрического генератора на постоянных магнитах

У электрического генератора [1] на постоянных магнитах 1, содержащего статор 2 и ротор 3, а также статорную обмотку 4, ротор 3 выполнен из композитного материала сечением П-образной формы. Ротор установлен на металлическом валу 5, магниты 1 с чередующимися полюсами установлены на роторе 3 в пазах, статорная обмотка 4 размещена на композитном статоре 2 и выполнена в виде независимых секций (рисунок 2) длиной 230 мм. Катушки намотаны медным проводом диаметром 0,65 мм.

Электрический генератор на постоянных магнитах работает следующим образом.

При вращении ротора 3 генератора силовые линии полей постоянных магнитов 1 пересекают витки статорной обмотки 4, расположенные на неподвижном статоре 2. В них наводится электродвижущая сила (ЭДС), величина которой зависит от скорости вращения ротора 3.

Размеры элементов магнитной системы генератора, принятые для расчета, приведены на рисунке 3.

Внутренний диаметр стального цилиндра ротора 350 мм, внешний диаметр стального цилиндра ротора 370 мм, магниты сечением 10×12 мм^2 установлены в пазах глубиной 2 мм, внешний диаметр ротора по постоянным магнитам 386 мм. Длина ротора 210 мм.

Постоянные магниты: материал — неодим-железобор, коэрцитивная сила по намагниченности 950 кА/м, остаточная индукция 1,2 Тл, форма в виде прямоугольной призмы: ширина 12 мм, длина 230 мм (задача имеет планарную симметрию, длина магнита, вообще говоря, произвольная), высота 10 мм (намагничивание по высоте). Постоянные магниты в количестве 60 штук крепятся на поверхности стального цилиндрического ротора с внешним диаметром 370 мм, толщиной 10 мм в выфрезерованных пазах глубиной 2 мм (рисунок 3). Полярность магнитов чередуется.

Расчет магнитного поля выполнен методом конечных элементов [2]. Распределение магнитного поля в магнитной системе генератора показано на рисунке 4.

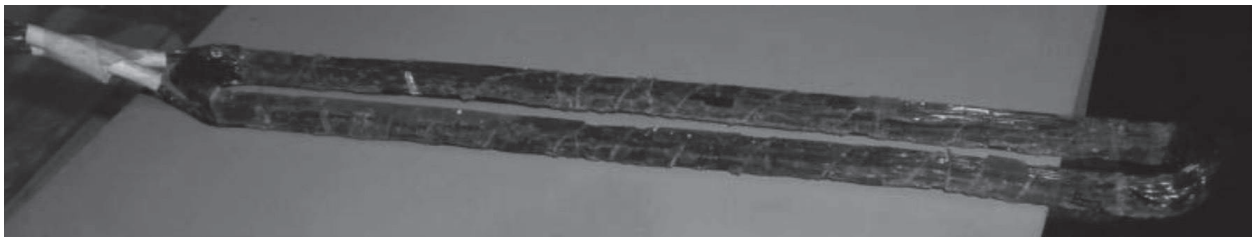


Рисунок 2. Катушка статорной обмотки

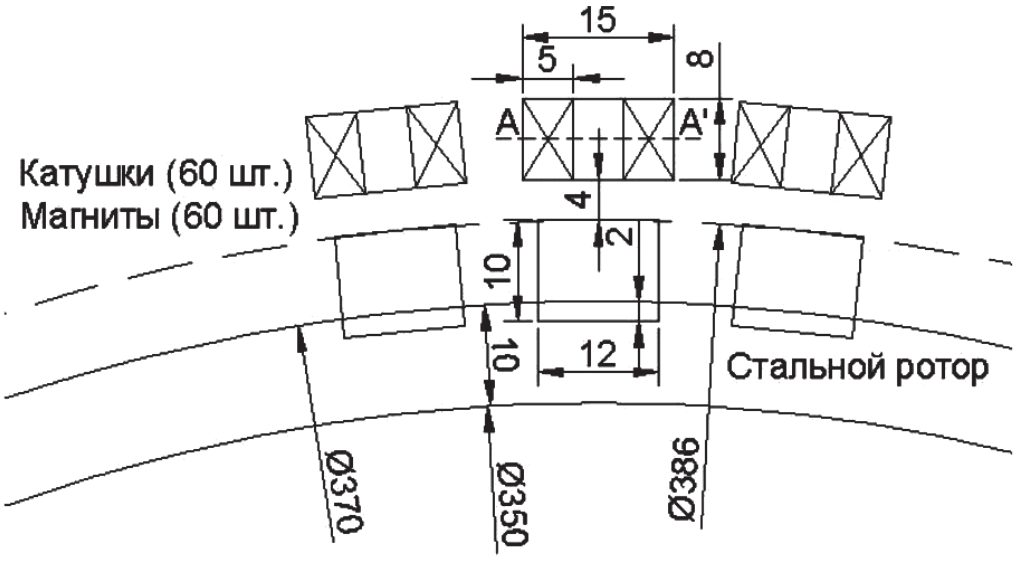


Рисунок 3. Размеры генератора в местах установки постоянных магнитов

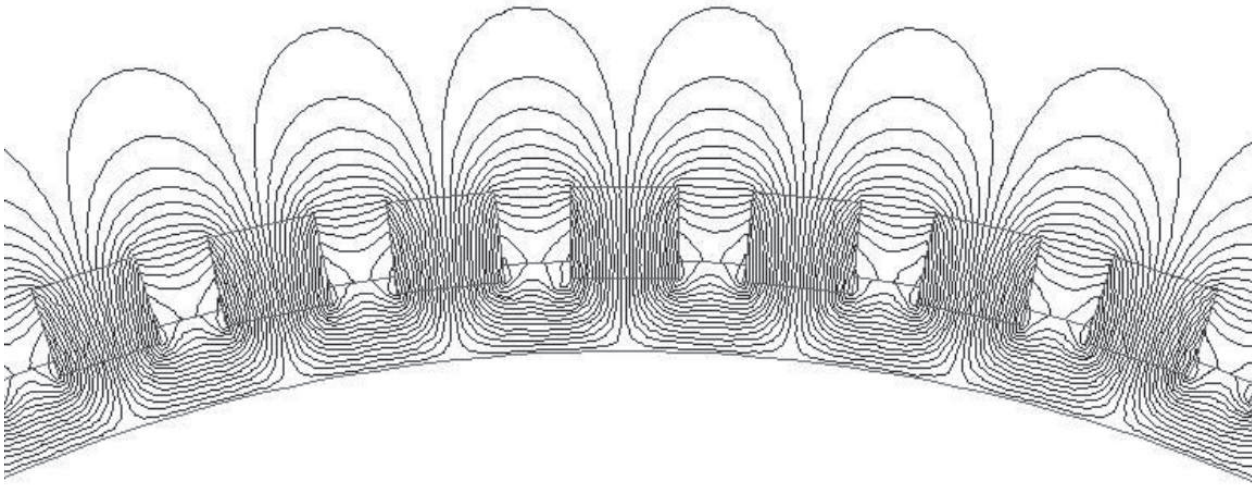


Рисунок 4. Распределение магнитного поля в магнитной системе генератора

На рисунке 5 показано распределение нормальной составляющей магнитной индукции на расстоянии 8 мм над поверхностью одного из магнитов (нормальная составляющая магнитной индукции на линии А-А' на рисунке 3 по центру катушки).

Из рисунка 5 видно, что распределение нормальной составляющей магнитной индукции Bn по линии, проходящей по середине катушки, близко к синусоидальному (пунктирная линия на рисунке 5) и может быть представлено [3–5] формулой:

$$B_n = 0{,}175 \cdot \cos \cdot \frac{\pi \cdot x}{20{,}5} \cdot$$

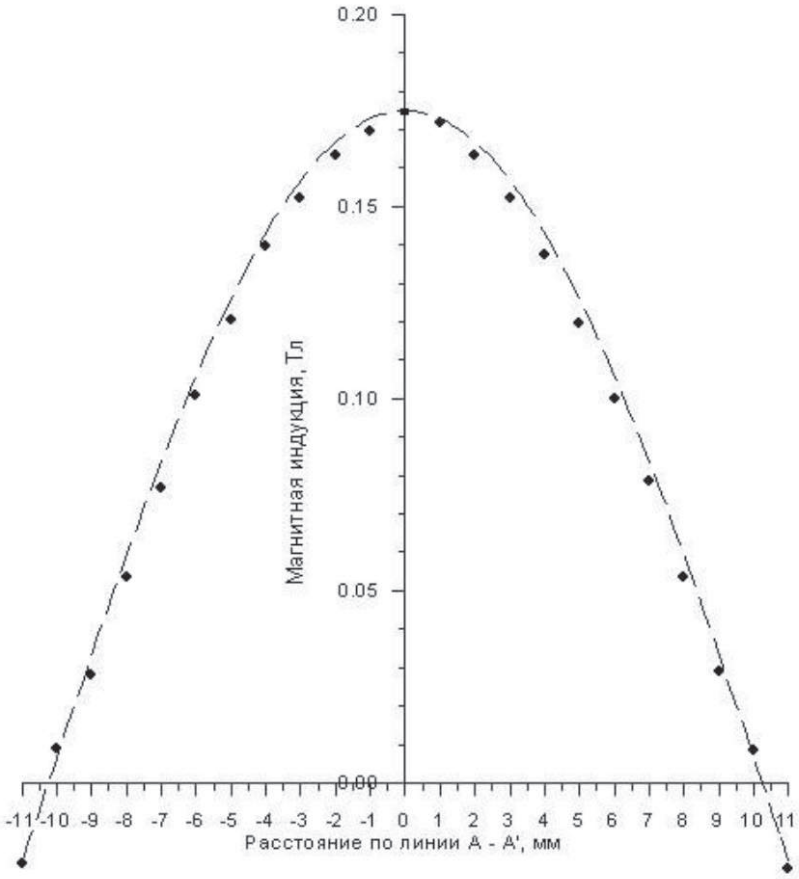


Рисунок 5. Распределение нормальной составляющей магнитной индукции на расстоянии 8 мм над поверхностью одного из магнитов

Среднее значение нормальной составляющей магнитной индукции к плоскости катушки для расчета потокосцепления (среднее по интервалу −5– +5 мм линии А–А') приблизительно равно 0,155 Тл (что соответствует потоку 3,564 мВб при длине катушки 230 мм).

Результаты расчета магнитной системы позволяют разработать промышленный образец магнитоэлектрического генератора с требуемыми параметрами (рисунок 6).

Один из успешных промышленных образцов внедрен в производство (рисунок 7).

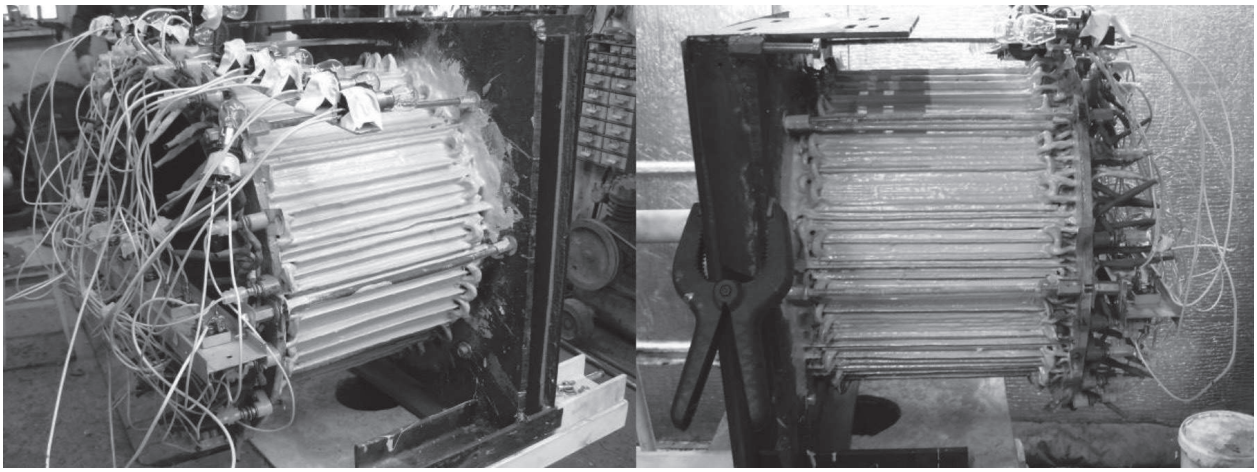


Рисунок 6. Промышленный образец магшнитоэлектрического генератора мощностью 8 кВт



Рисунок 7. Ветросиловая установка

Выводы

Произведен расчет магнитной системы магнитоэлектрического генератора, позволяющий рассмотреть распределение магнитной индукции на верхней поверхности металлокомпозитного статора и в статорной обмотки, на расстоянии 8 мм от неодимовых магнитах, имеющих магнитную индукцию 1,2 Тл. Распределение нормальной составляющей магнитной индукции Bn по линии, проходящей по середине катушки, близко к синусоидальному. Среднее значение нормальной составляющей магнитной индукции к плоскости катушки для расчета потокосцепления приблизительно равно 0,155 Тл (что соответствует потоку 3,564 мВб при длине катушки 230 мм).

Список литературы

1. Андреева Е.Г., Беляев П.В., Семина И.А. Программа расчета магнитного поля системы открытого типа // Навигатор в мире науки и образования. 2012. № 4–7 (20–23). С. 165–166.
2. Пат. 135460 Российская Федерация, МПК H 02 K 19/22, H 02 K 1/16, H 02 K 1/28. Электрический генератор / С.Г. Игнатьев, А.А. Евдокимов. 2013125830/07; заявл. 04.06.2013; опубл. 10.12.2013, Бюл. 34. 7 с.: ил.
3. Нейман Л.А., Петрова А.А., Нейман В.Ю. К оценке выбора типа электромагнита по значению конструктивного фактора // Известия вузов. Электромеханика. 2012. № 6. С. 62–64.
4. Пеккер И.И. Физическое моделирование электромагнитных механизмов. М.: Энергия, 1969. 64 с.
5. Демирчян К.С. Моделирование магнитных полей. Л.: Энергия, 1974. 288 с.

References

1. Andreeva E.G., Beljaev P.V., Semina I.A. Programma rascheta magnitnogo polja sistemy otkrytogo tipa // Navigator v mire nauki i obrazovanija. 2012. № 4–7 (20–23). S. 165–166.
2. Pat. 135460 Rossijskaja Federacija, MPK N 02 K 19/22, N 02 K 1/16, N 02 K 1/28. Jelektricheskij generator / S.G. Ignat'ev, A.A. Evdokimov 2013125830/07; zajavl. 04.06.2013; opubl. 10.12.2013, Bjul. 34. 7 s.: il.
3. Nejman L.A., Petrova A.A., Nejman V.Ju. K ocenke vybora tipa jelektromagnita po znacheniju konstruktivnogo faktora // Izvestija vuzov. Jelektromehanika. 2012. № 6. S. 62–64.
4. Pekker I.I. Fizicheskoe modelirovanie jelektromagnitnyh mehanizmov. M.: Jenergija, 1969. 64 s.
5. Demirchjan K.S. Modelirovanie magnitnyh polej. L.: Jenergija, 1974. 288 s.