

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-3.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN317.pdf>

Статья опубликована 06.06.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Бурцев Л.Ю., Серов А.Б., Качин О.С. Исследование конструкции однофазного асинхронного электродвигателя с повышенным пусковым моментом в программной среде ANSYS Elecromagnetic Suite 3D // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №3 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/61TVN317.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 621.313.333.2**

**Бурцев Леонид Юрьевич**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск<sup>1</sup>  
Инженер кафедры «Электротехнических комплексов и материалов»  
E-mail: [iambreed@tpu.ru](mailto:iambreed@tpu.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_items.asp?id=927575](https://elibrary.ru/author_items.asp?id=927575)

**Серов Александр Борисович**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск  
Ассистент кафедры «Электротехнических комплексов и материалов»  
E-mail: [sabtpu@gmail.com](mailto:sabtpu@gmail.com)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_items.asp?id=828497](https://elibrary.ru/author_items.asp?id=828497)

**Качин Олег Сергеевич**

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Россия, Томск  
Доцент кафедры «Электропривода и электрооборудования»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [kos@tpu.ru](mailto:kos@tpu.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_items.asp?id=581109](https://elibrary.ru/author_items.asp?id=581109)

## **Исследование конструкции однофазного асинхронного электродвигателя с повышенным пусковым моментом в программной среде ANSYS Elecromagnetic Suite 3D**

**Аннотация.** В настоящее время асинхронные электродвигатели (АД) являются одними из основных потребителей производимой электрической энергии (порядка 60-80%) в нашей стране, в том числе и однофазные асинхронные двигатели. Широкое распространение однофазные АД получили в различных сферах применения, преимущественно бытовых, таких как холодильные установки, стиральные машины, станки по обработке дерева и металла, системы вентиляции и отопления, а также в других сферах. Для большинства перечисленных устройств важно, чтобы электродвигатель имел высокий номинальный момент, а также обладал высокой кратностью пускового момента.

Высокая кратность пускового момента особенно необходима для двигателя, применяемого в приводе компрессоров холодильных установок, для обрабатывающих станков по дереву и металлу, а также для различных дробильных и измельчительных установок. Особенно актуальна данная проблема, проявляется при питании устройств от сети с

---

<sup>1</sup> 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (ЭНИН, каф. ЭКМ)

пониженным напряжением, что часто встречается в нашей стране в отдаленных районах, в сельской местности и даже в пригородных поселках.

Повышение номинального момента, а также повышение пускового момента однофазных асинхронных электродвигателей является актуальной задачей для предприятий, занимающихся проектированием и производством данных двигателей. Решение указанной задачи позволит обеспечить стабильную и безопасную работу вышеперечисленных устройств. Кроме этого, для некоторых устройств и приборов за счет увеличения кратности пускового момента можно будет рекомендовать к установке асинхронные двигатели меньшей мощности, что позволит решить ряд таких задач как снижение массо-габаритных показателей установок, расширение возможностей и областей применений некоторых изделий, уменьшение стоимости готового изделия за счет снижения расхода активных материалов.

Коллективом авторов из Томского политехнического университета предложено конструктивное решение, позволяющее повысить пусковой момент электродвигателя за счет определенного изменения геометрии статора [3]. С помощью симуляции в программном продукте ANSYS Maxwell 3D выполнено моделирование различных конструкций асинхронного двигателя с измененным статором. Отмечены улучшения электромеханических характеристик для модифицированной конструкции статора асинхронного двигателя.

**Ключевые слова:** однофазный асинхронный двигатель; пусковой момент; механическая характеристика; моделирование; магнитное поле; немагнитный зазор; статор; ANSYS; Maxwell; 3D

В настоящий момент времени известны различные технические решения, позволяющие решать задачи по повышению момента [1, 2]. Одно из таких решений предложено коллективом авторов Томского политехнического университета [3, 4]. Основная суть предложенного решения заключается в том, что в ярме статора в области пазов, расположенных в зонах магнитных осей основной обмотки, выполнены немагнитные зазоры, которые способствуют образованию мостиков насыщения. Это позволяет снизить индуктивность ротора до двух раз по сравнению с серийной конструкцией статора (прототипом). В результате снижения индуктивности обмотки ротора удастся достичь снижения величины индуктивного сопротивления фазы ротора, и, соответственно, повышения пускового момента. В данной работе объектом исследований стал однофазный асинхронный электродвигатель с рабочей и пусковой обмотками, используемый в шлифовальных машинах настольного исполнения (электроточило «Томск-УХЛ 4», потребляемая мощность напряжение питания, номинальная частота вращения).

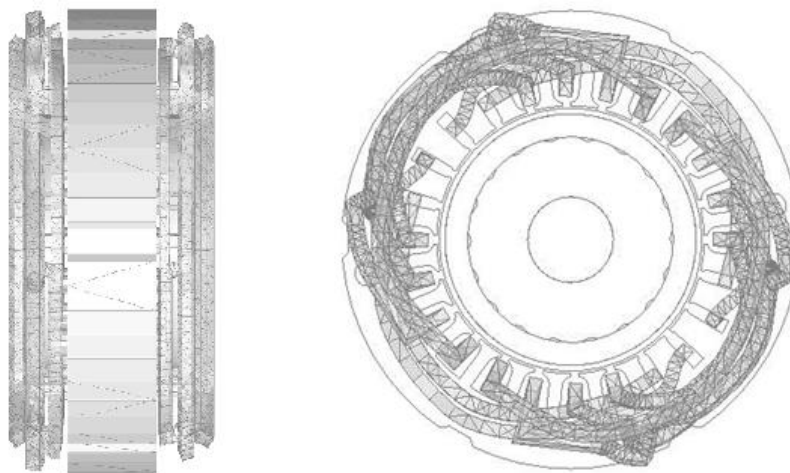
Целью проведенных исследований являлся анализ пусковых характеристик (пусковой момент и время разгона электродвигателя до номинальной скорости вращения) нескольких вариантов исполнения однофазного асинхронного электродвигателя при равных условиях испытаний:

1-ый вариант. Электродвигатель с традиционной конструкцией статора серийного производства (прототип).

2-ой вариант. Электродвигатель с модернизированной конструкцией, изготовленный в соответствии с предложенным техническим решением и отличающийся от прототипа наличием немагнитного зазора в ярме статора электродвигателя.

На первом этапе проведенного исследования были созданы различных геометрические модели в программном продукте для 3D моделирования. Результатом этой работы стало создание двух моделей: модель серийной конструкции однофазного электродвигателя

(прототипа) и модифицированной конструкции электродвигателя. При помощи программной платформы ANSYS Electronics Desktop была настроена модель асинхронного двигателя в среде ANSYS Maxwell 3D. С помощью приложения ANSYS Maxwell 3D была проведена симуляция работы асинхронного электродвигателя в режиме холостого хода и получены механические характеристики. Для оценки величины индукции в элементах магнитопровода асинхронного электродвигателя было получено распределение магнитного поля в трёхмерной модели электродвигателя. Модель стандартного однофазного асинхронного электродвигателя (прототипа) изображена на рисунке 1.

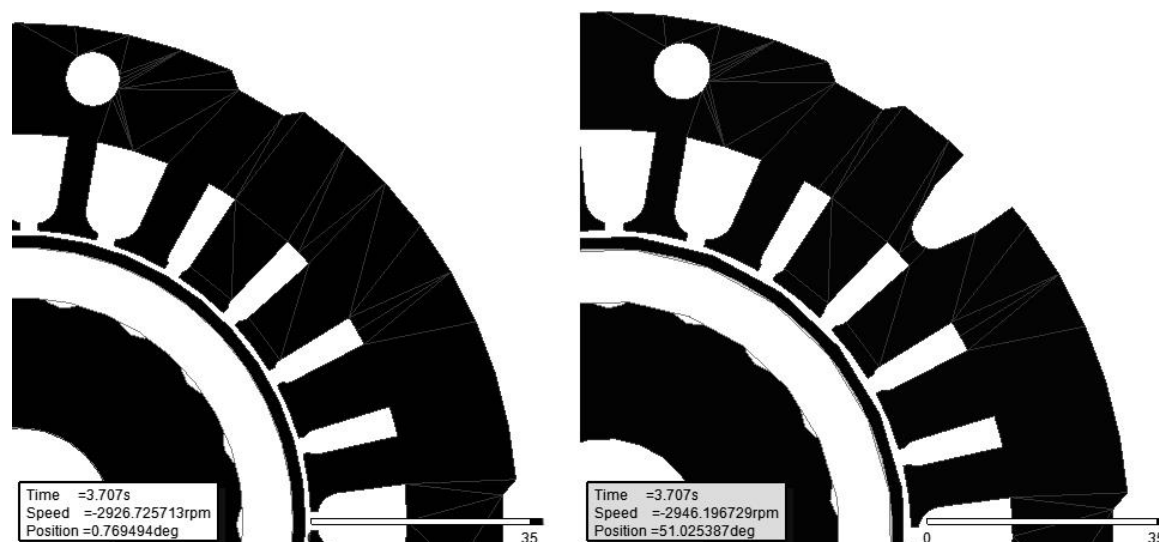


**Рисунок 1.** Модель стандартного однофазного асинхронного электродвигателя (прототипа) в среде *Ansys Electromagnetic Suite 3D* (составлено авторами)

Трёхмерная постановка задачи для моделирования магнитного состояния машины, имеет ряд достоинств, в сравнении с двухмерной постановкой [5, 6]:

- учет лобовых частей обмотки в сравнении с настройками двухмерной модели, следствие этого - уменьшение ошибки расчёта;
- более точный расчёт модели за счёт более детального анализа значений вихревых токов в короткозамкнутом соединении ротора, магнитной индукции в различных локальных узлах трёхмерной модели двигателя.

Варианты конструкций электродвигателя оригинальной и модифицированной конструкции представлены на рисунке 2. Характеристики конструкционных материалов асинхронного электродвигателя во всех исследованных моделях одинаковы и соответствуют прототипу. Полное время расчета, шаг расчета и размеры конечных элементов во всех исследованных моделях также идентичны.



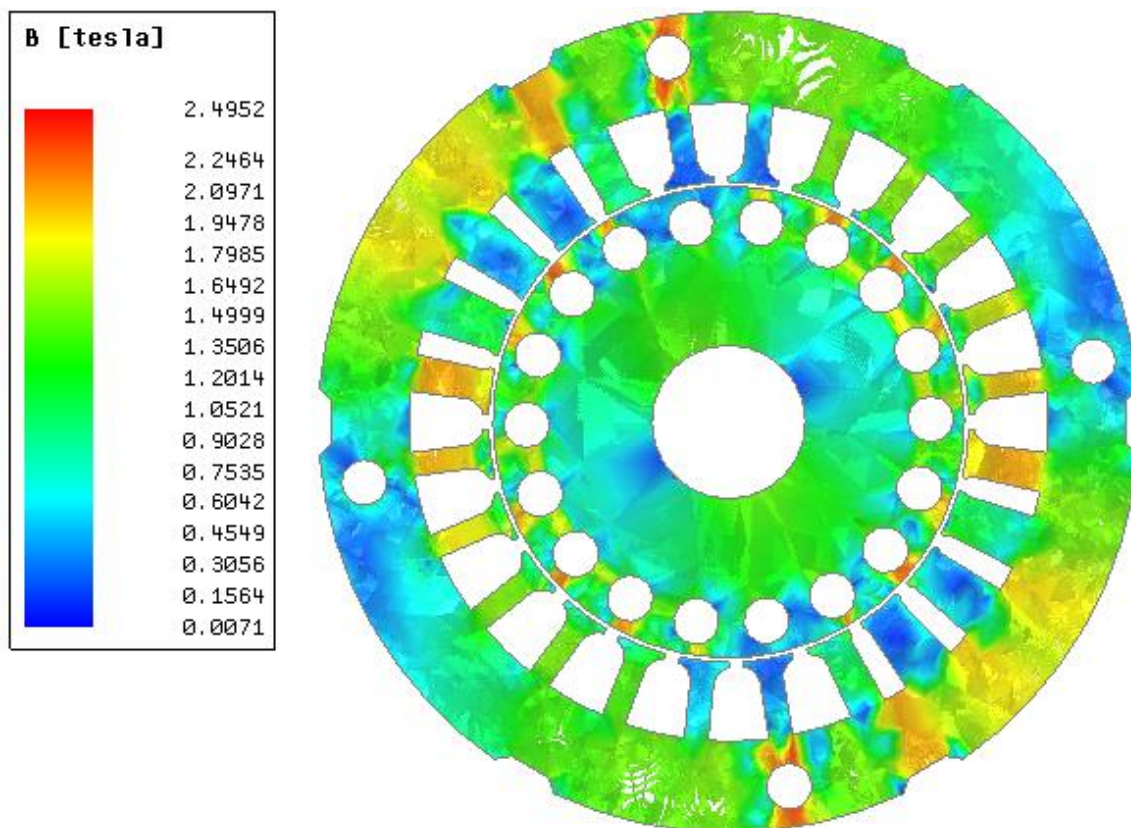
**Рисунок 2.** Расположение немагнитных зазоров на статоре. Слева - прототип, справа - модификация (составлено авторами)

Помимо механических характеристик исследуемых электродвигателей оценивались и сравнивались с данными прототипа следующие параметры:

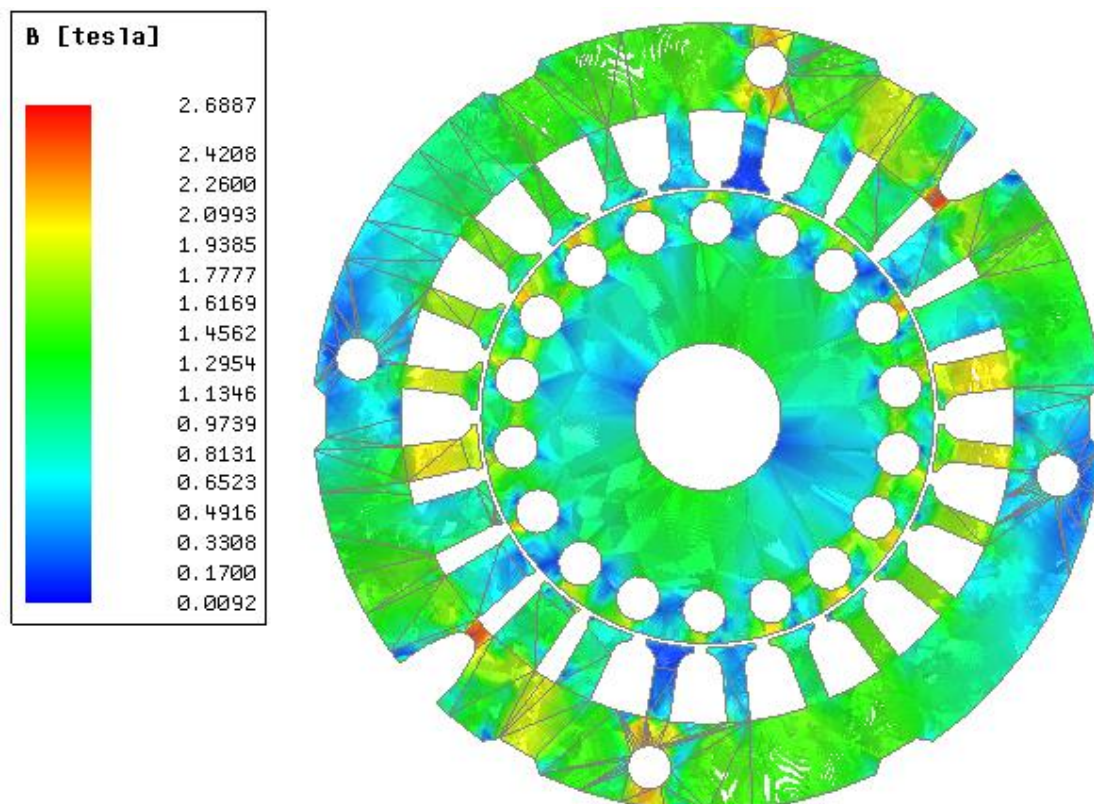
- кривые частоты вращения во время разгона электродвигателя до номинальной скорости;
- средняя величина момента за время разгона электродвигателя до номинальной скорости;
- величина индукции в различных частях магнитной цепи асинхронных электродвигателей.

В результате выполненных расчетов получена картина распределения магнитного поля в поперечном разрезе серийного однофазного асинхронного электродвигателя, представленная на рисунке 3. Картина поля указана для момента времени, при котором электродвигатель достиг номинальной частоты вращения (2950 об/мин). Из представленной на рисунке 3 картины распределения магнитного поля в поперечном разрезе прототипа видно, что в ярме магнитопровода статора величина индукции не превышает предела 1,7 Тл. Указанное значение индукции является допустимым для применяемой в этих двигателях марки электротехнической стали (КП 10). Максимальное значение индукции достигает 2,5 Тл и отмечается лишь в местах высокой концентрации напряжений: крайние области коронок зубцов статора, технологические отверстия, зона сварного шва магнитопровода статора. Данные области имеют локальный характер и обусловлены технологией штамповки листов магнитопровода. Аналогичные области отмечаются и в магнитопроводе ротора.

Стоит отметить, что в модификации однофазного электродвигателя с немагнитными зазорами в ярме магнитопровода статора значения индукции увеличились незначительно и не превышает порога 2,7 Тл в области, примыкающей к немагнитному зазору.



*Рисунок 3. Картина поля индукции в немагнитном зазоре для прототипа с установившейся скоростью вращения (составлено авторами)*



*Рисунок 4. Картина поля индукции в немагнитном зазоре для модификации с установившейся скоростью вращения (составлено авторами)*

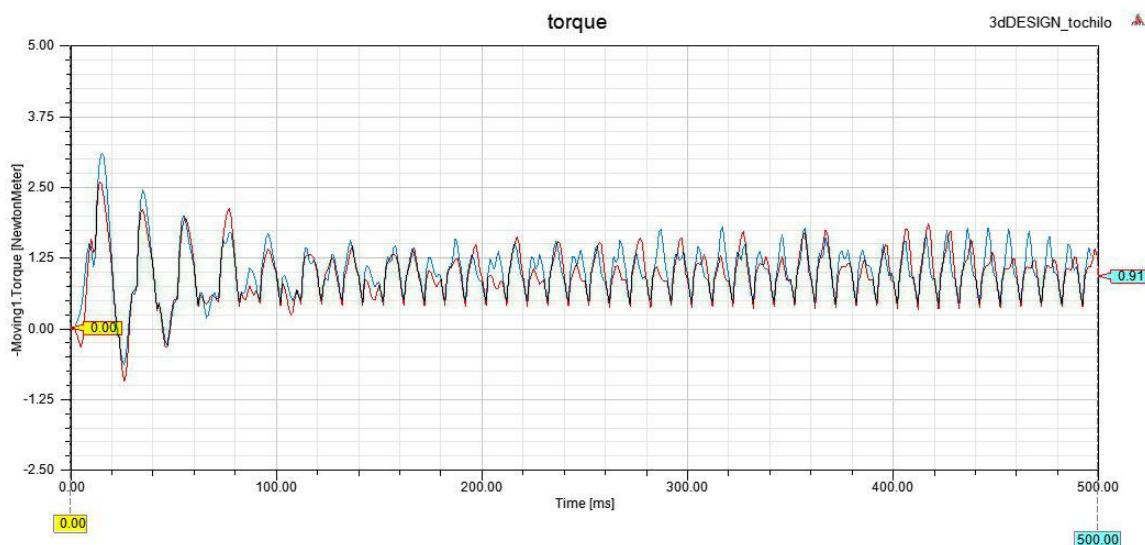
В результате дальнейшего выполнения расчетов получена картина распределения магнитного поля в поперечном разрезе модифицированного однофазного асинхронного электродвигателя, представленная на рисунке 4. Картина поля указана для момента времени, при котором электродвигатель достиг номинальной частоты вращения (2950 об/мин).

Результаты моделирования свидетельствуют о повышении пускового момента для электродвигателя с модифицированной конструкции статора (рисунок 5). Время разгона электродвигателя до номинальной скорости в серийной конструкции электродвигателя оказалось выше, чем в модифицированной конструкции (рисунок 6). Подробнее результаты проведенных исследований обобщены и представлены в таблице 1.

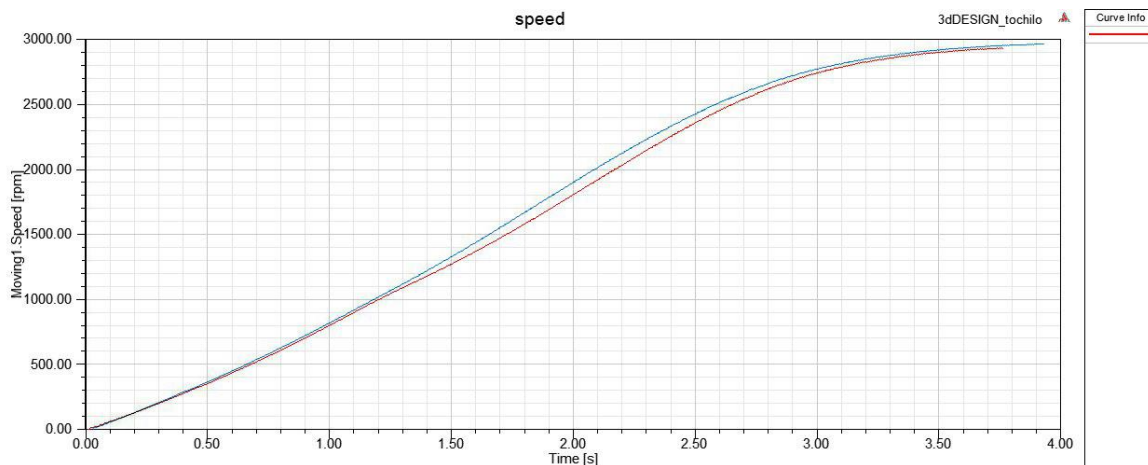
**Таблица 1**

**Результаты моделирования прототипа и модификаций асинхронного электродвигателя (составлено авторами)**

Конфигурация	Прототип	Модификация 1
Пусковой момент (среднее значение), Н·м	0,9562	1,0211 (+6,7%)
Скорость вращения, об/мин	350	365 (+4,3%)
Время разгона, с	0,5	0,5



**Рисунок 5.** Пусковой электромагнитный момент для прототипа (1) и модификации (2) (составлено авторами)



**Рисунок 6.** Зависимость скорости вращения от времени для прототипа (1) и модификации (2) (составлено авторами)

Стоит отметить, что механические характеристики прототипа с учетом момента инерции вращающихся масс (ротор электродвигателя и шлифовальные круги) в значительной степени совпадает с экспериментальными данными, полученными в результате натурных испытаний прототипа на динамометрическом стенде на предприятии «Томский электротехнический завод», что свидетельствует об адекватности модели электродвигателя, рассмотренной в проведенном исследовании. Последнее, в свою очередь, позволяет осуществлять сравнительный анализ математических моделей модификаций и прототипа.

### Заключение

На основании полученных результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная конструкция электродвигателя обеспечивает более быстрый пуск двигателя.
2. Увеличение пускового момента в модификации за счет применения немагнитного зазора составило 6,7%. Что позволит уверенно осуществлять пуск асинхронного двигателя с модернизированной конструкцией статора при пониженных значениях напряжения питания сети.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2 028 024 РФ, МПК Н 02 К 17/08. Однофазный электродвигатель / Е.И. Ефименко (РФ). - № 5 000 293/07; заявл. 16.08.91; опубл. 27.01.95. Бюл. № 3. - 6 с.
2. Пат. 2 010 410 РФ, МПК Н 02К 17/04. Однофазный асинхронный электродвигатель / Б.Ф. Ковалев (РФ). - № 4 948 371/07; заявл. 24.06.91; опубл. 30.03.94. Бюл. № 9. - 4 с.
3. Пат. 2 5101 20 РФ, МПК Н 02К 17/08. Однофазный электродвигатель / С.И. Качин, О.С. Качин (РФ). - №2 012 139 937/07; заявл. 18.09.12; опубл. 20.03.14. Бюл. № 8. - 8 с.
4. Однофазный асинхронный электродвигатель с повышенным пусковым моментом / Качин О.С., Качин С.И. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2013. Т. 322. № 4. С. 124-128.
5. Фисенко, В.Г. Численные расчеты электромагнитных полей в электрических машинах на основе метода конечных элементов: учебное пособие по курсу «Электромагнитные расчеты», по направлению «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В.Г. Фисенко. - Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ). - М.: Изд-во МЭИ, 2002. - 44 с.
6. Computational Design and Analysis of Core Material of Single-Phase Capacitor Run Induction Motor / Gurmeet Singh, Gurlad Singh, Mohd. Afaque Iqbal // Journal of Engineering Research and Applications. - 2014. - № 7. - P. 20-25.
7. O.S. Kachin, A.V. Kiselev, A.B. Serov, Research of Operation Modes of the Synchronous Electric Motor Drive System with use of Software ANSYS Maxwell and Simplorer, 15th International Conference of Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. - Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2014. - P. 362-364.

**Burtsev Leonid Yuryevich**

The national research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk  
E-mail: [iambreed@tpu.ru](mailto:iambreed@tpu.ru)

**Serov Alexander Borisovich**

The national research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk  
E-mail: [sabtpu@gmail.com](mailto:sabtpu@gmail.com)

**Kachin Oleg Sergeevich**

The national research Tomsk polytechnic university, Russia, Tomsk  
E-mail: [kos@tpu.ru](mailto:kos@tpu.ru)

## **Single - phase IM with increased starting torque research simulation in ANSYS Electromagnetic 3D**

**Abstract.** At present, asynchronous electric motors (AD) are one of the main suppliers of productive energy in our country, including single-phase asynchronous motors.

Single-phase IM are widely used in various application areas, mainly of household, such as refrigerators, washing machines, machines for processing wood and metal, ventilation and heating systems, as well as in other areas. For most of these devices, it is important that the motor should have a high rated torque, and a high starting torque ratio.

High starting torque ratio is especially necessary for the motor applied in the electric drive refrigeration compressors, processing machines for wood and metal, as well as for different crushing and grinding erections. The given problem especially relevant in the powering the device from the low voltage circuit, which is an often in our country in remote areas, in rural areas and even in suburban settlements.

Increasing the rated torque and starting torque boost of the single-phase IM is an urgent task for industry engaged in designing and manufacturing of the motors. Solution of this problem will allow providing a stable and safe operation of these devices. Furthermore, for some devices and appliances by increasing the starting torque ratio, can be recommended less power IM, that would solve a number of other problems, such as reduction in weight-size parameters of IM, empowerment and increase in usage area of some products, decrease in the value of the finished product by reducing the flow rate active materials.

**Keywords:** single - phase IM; starting torque; speed-load curve; simulation; magnetic field; nonmagnetic gap; stator; ANSYS; Maxwell; 3D