

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПРАВИТЕЛЬСТВО ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
АДМИНИСТРАЦИЯ г. ОРЛА  
ПАДЕРБОРНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (г. Падерборн)  
ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.  
И.С. ТУРГЕНЕВА»  
ФГБОУ ВО «АлтГТУ им. И.И. ПОЛЗУНОВА» (г. Барнаул)  
ГУ «ОРЛОВСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ»  
АО «ОРЕЛОБЛЭНЕРГО»  
ЗАО «ПРОТОН-ЭЛЕКТРОТЕКС» (г. Орёл)  
ФИЛИАЛ ОАО «МРСК ЦЕНТРА» – «ОРЕЛЭНЕРГО»  
КАФЕДРА «ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»  
(ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»)

# **ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ – XXI ВЕК**

**Материалы XV международной  
научно-практической интернет-конференции  
15 марта – 30 июня 2017 г., г. Орёл**

**Орёл  
ОГУ имени И.С. Тургенева  
2017**

УДК 620.92 (063)  
ББК 31.15Я 431  
Э65

**Энерго- и ресурсосбережение – XXI век.**: материалы XV международной научно-практической интернет-конференции (15 марта – 30 июня 2017 г., г. Орёл, ОГУ имени И.С. Тургенева) / под редакцией д-ра техн. наук, проф. О.В. Пилипенко, д-ра техн. наук, проф. А.Н. Качанова, д-ра техн. наук, проф. Ю.С. Степанова. – Орёл: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – 273 с.

**ISBN 978-5-9929-0499-4**

В сборник материалов XV международной научно-практической интернет-конференции «Энерго- и ресурсосбережение – XXI век» включены труды ученых и специалистов России, стран ближнего и дальнего зарубежья в авторской редакции с аннотациями на русском и иностранном языках. Материалы, представленные участниками, с учётом выбранного ими научного направления были размещены в следующих секциях на сайте ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru/science/confs/2017/ee/publ>) с 15 марта по 30 июня 2017 года:

1. Проблемы энергоресурсосбережения и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и городских территорий.
2. Энергоэффективность систем электроснабжения и направления их развития.
3. Энергосберегающие электротехнологические процессы и установки.
4. Энергосберегающие машиностроительные технологии и оборудование.
5. Энерго- и ресурсосбережение в агропромышленном комплексе.
6. Управление энерго- и ресурсосбережением на промышленных предприятиях.
7. Наносистемы, наноматериалы и нанотехнологии.
8. Интеллектуальные технологии и автоматизированные системы управления в задачах повышения энергоэффективности.

Материалы конференции адресованы учёным и специалистам, работающим в области энерго- и ресурсосбережения, а так же могут быть полезны студентам и соискателям ученых степеней.

Материалы конференции подготовлены ГУ «Орловский региональный центр Энергосбережения» и кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»

УДК 620.92 (063)  
ББК 31.15Я 431  
Э65

ISBN 978-5-9929-0499-4

© ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017  
© ГУ «ОрёлРЦЭ», 2017  
© Коллектив авторов, 2017

1. Rasev, A.I. Drying of wood [Text] // Superior. School, 1980. - 181 p., III.
2. A.c. 970305.1 Kz, MPK F 26 B 13/08, 3/34. Drier for veneer and long fibrous materials [Text] / A.N. Kachanov, M.N. Chukumov, T.G. Koroleva, N.A. Kachanov, V.V. Ivashchenko. – No. 7227; claimed. 01.04.1997; .; publ. 15.02.1999, Bul. № 2.
3. Kachanov, A.N. Induction heating of flat metal products in a running magnetic field [Text] / A.N. Kachanov, N.A. Kachanov // In: Proceedings of AltGTU them. I.I. Polzunova. - Barnaul, 2000.
4. Liquid ceramic thermal insulation coating [Electronic resource] - Access mode: <http://www.assystems.eu/ee/teploizoljacionie-i-teploenergoberegaju-shie-kraski/tsm-ceramic>

**Kachanov Alexander Nikolaevich** – doctor of technical sciences, professor, head of department "Electrical and energy saving" FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev"; Tel.: 8-(4862)-41-98-53.

**Chovrin Oleg Ivanovich** – student gr. 41 – EO, FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev".

**Seliverstova Oksana Sergeevna** – student gr. 61EE, FGBOU VO "OSU name by I. S. Turgenev".

УДК 621.318.23

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В СИСТЕМЕ «ИНДУКТОР – ПЛОСКАЯ МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ЗАГРУЗКА»

**Качанов А.Н., Герасименко Е.С.**

*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»*

*В статье рассмотрены результаты исследований характера распределения электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора при нагреве плоских металлических загрузок в поперечном электромагнитном поле в программной среде ELCUT.*

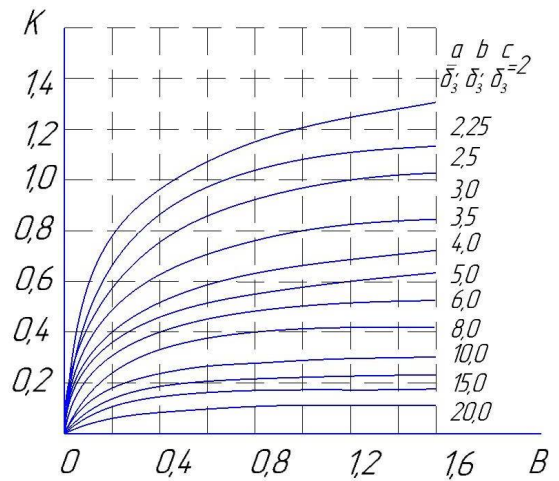
*Ключевые слова: электромагнитное поле, индуктор, плоская металлическая загрузка, программный продукт ELCUT.*

Установки для нагрева плоских металлических изделий в поперечном электромагнитном поле нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Например, при проведении ряда технологических операций, таких как сушка лакокрасочных покрытий, нанесенных на поверхность металлических изделий, нагрев заготовок в кузнечнопрессовом производстве и др. Для обеспечения качества выпускаемой продукции требуется создание однородного электромагнитного и теплового полей в системе «индуктор - плоская металлическая загрузка». Известны различные решения данной инженерно-технической задачи, направленные на получение однородного электромагнитного поля. Наиболее часто применяемые на практике решения - это использование многополюсных устройств и перемещение плоских изделий относительно полюсов магнитопровода в процессе их нагрева. Таким образом, техническими мероприятиями можно решить поставленную задачу, однако, требуется дальнейшее проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на повышение энергоэффективности индукционных устройств для нагрева плоских металлических изделий в поперечном электромагнитном поле.

В работах [1,2] приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований распределения основных параметров электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора с С-образным магнитопроводом. Доказано, что в режиме работы индуктора без нагрузки (холостой ход) можно считать, что при выполнении следующего условия поле в рабочем зазоре индуктора однородно:

$$\frac{\delta_3}{2 \cdot R_1} \leq 0,2 . \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что величина воздушного зазора  $\delta_3$  должна быть меньше или равна 20% от величины геометрического размера полюса магнитопровода  $2R_1$ . Аналогичные формулы были получены для полюсов прямоугольной и квадратной формы. На графике, приведенном на рисунке 1, приведены зависимости коэффициента, используемого при пересчете реальных размеров полюсов магнитопровода на фиктивные, с учетом значения индукции в магнитопроводе.



**Рисунок 1 - Зависимость коэффициента пересчета размера полюсов магнитопровода от величины индукции в магнитопроводе**

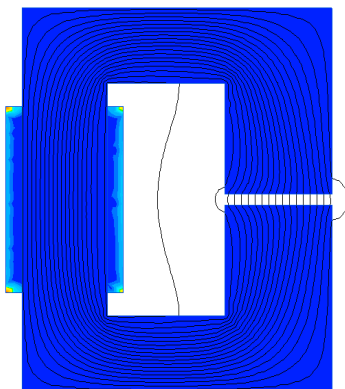
В программной среде ELCUT были проведены экспериментальные исследования распределения электромагнитного поля в рабочем зазоре индуктора для двух режимов его работы: в режиме холостого хода и при наличии нагрузки. На рисунках 2 и 3 представлены картины распределения силовых линий магнитного поля в режиме холостого хода для случая, когда условие (1) выполняется и для случая, когда данное условие не выполняется.

При исследовании рабочего режима индуктора, были рассмотрены случаи, интересующие практику инженерных расчетов, а именно, для загрузок из магнитных и немагнитных материалов в форме дисков, радиусы которых больше и меньше радиусов магнитопроводов.

На рисунках 4-7 приведены картины распределения силовых линий магнитного поля и плотности вихревых токов.

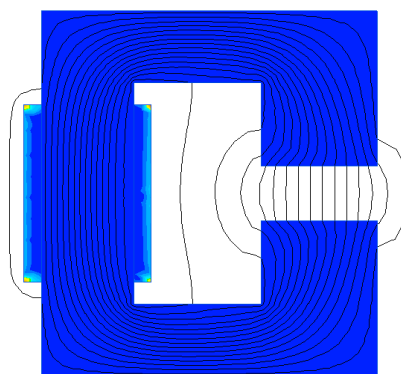
Анализируя картины распределения силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в загрузках, толщиной меньше или равной глубине проникновения тока в металл, можно сделать следующие выводы:

- наличие загрузки в рабочем зазоре индуктора приводит к нарушению однородности магнитного поля;



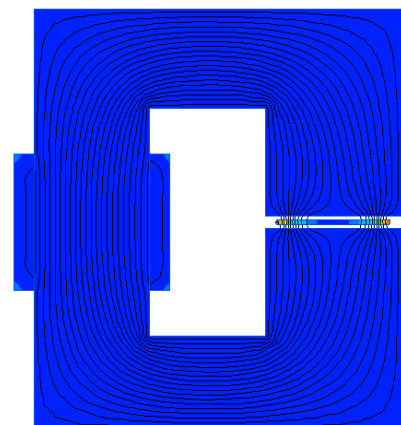
**Рисунок 2 - Картина магнитного поля для**

**случая**  $\frac{\delta_3}{2 \cdot R_1} \leq 0,2$

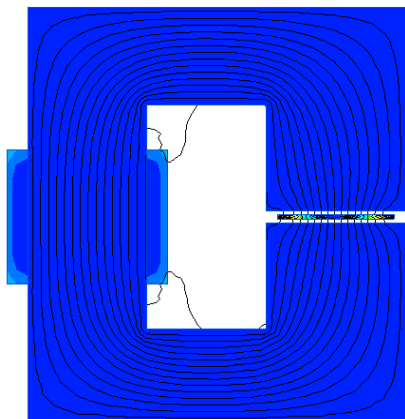


**Рисунок 3 - Картина магнитного поля для случая**

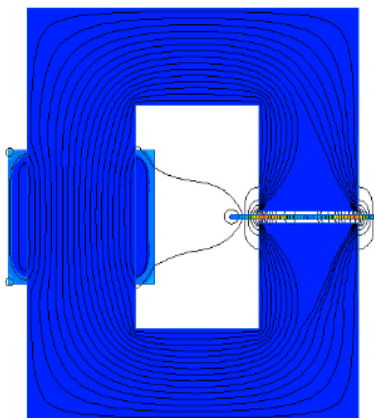
$\frac{\delta_3}{2 \cdot R_1} \geq 0,2$



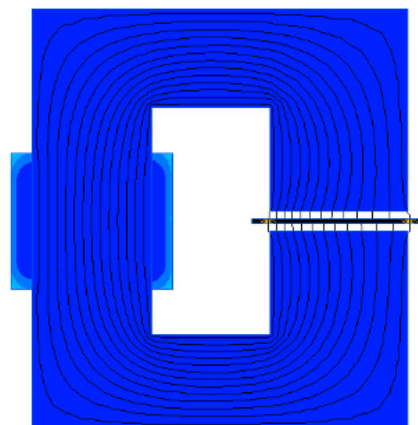
**Рисунок 4 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в медной загрузке для  $R_3 \leq R_{мп}$**



**Рисунок 5 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в стальной загрузке для  $R_z \leq R_{mn}$**



**Рисунок 6 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в медной загрузке для  $R_z \geq R_{mn}$**



**Рисунок 7 - Распределение силовых линий магнитного поля и плотности вихревого тока в стальной загрузке для  $R_z \geq R_{mn}$**

- в результате взаимодействия силовых линий внешнего магнитного поля с силовыми линиями магнитного поля, создаваемого вихревыми токами, происходит вытеснение результирующего магнитного поля от центра полюсов магнитопровода к периферии. При этом, в случае нагрева немагнитных заготовок, эффект вытеснения проявляется более интенсивно;

- требуется проведение дополнительных исследований распределения магнитных полей в системе «индуктор - плоская металлическая загрузка» с использованием программы ELCUT для случая, когда толщина загрузки больше глубины проникновения тока в металл, и с учетом изменения электрофизических свойств загрузки в процессе нагрева.

#### Список литературы

1. Качанов, А.Н. , Schulze, D. Auslegung eines Induktors zur Erwärmung flacher Einsätze im elektromagnetischen Querfeld. Im Buch: 31 IWK. TH Ilmenau. Vortragsreihen. A-5, DDR/ 1986, s. 121 – 125.
2. Качанов, А.Н. Untersuchung des Magnetfeldes im Arbeitsplatz eines Induktors für die Erwärmung ebener Einsätze. Im Wissenschaftliche Zeitschrift der TH, Heft 1. 1986, s. 107 -111.
3. ELCUT. Моделирование двумерных полей методом конечных элементов. Руководство пользователя [Текст] / Санкт-Петербург: Производственный кооператив ТОР, 2010. – 345 с.
4. Дубицкий, С.Д. ELCUT. Универсальная программа расчета магнитных, электрических, тепловых и упругих полей методом конечных элементов // Горный информационно – аналитический бюллетень - №12 / том 12 – 2007.

**Качанов Александр Николаевич**, д.т.н., профессор, академик АЭН РФ, заведующий кафедрой «Электрооборудование и энергосбережение» ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева». 302020, г. Орёл, Наугорское шоссе, 29, тел. 8-(4862)-41-98-53. mail: kan@ostu.ru

**Герасименко Екатерина Сергеевна**, студент гр. 41-ЭО ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»; адрес: Россия, 302020 г. Орёл, ул. Наугорское шоссе, д. 29; e-mail: Dina.storm@mail.ru.

---

#### INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN THE SYSTEM «INDUCTOR - FLAT METALLIC LOAD»

**Kachanov A.N., Gerasimenko E.S.**  
Russia, Oryol, FGBOU VO "OSU named after I.S. Turgenev »

*In the article the results of researches of character of distribution of an electromagnetic field in a working*

*backlash of an inductor at heating of flat metal loadings in a transverse electromagnetic field in the program environment ELCUT are considered.*

*Key words: electromagnetic field, inductor, flat metal loading, software product ELCUT.*

#### Bibliography

1. Kacanov, A.N. , Schulze, D. Auslegung eines Induktors zur Erwärmung flacher Einsätze im elektromagnetischen Quersfeld. Im Buch: 31 IWK. TH Ilmenau. Vortragsreihen. A-5, DDR / 1986, s. 121-125.
2. Kacanov, A.N. Untersuchung des Magnetfeldes im Arbeitsplatz eines Induktors für die Erwärmung ebener Einsätze. Im Wissenschaftliche Zeitschrift der TH, Heft 1. 1986, s. 107 -111.
3. ELCUT. Simulation of two-dimensional fields by the finite element method. User's Guide [Tekst] / Saint-Petersburg: Production cooperative TOP, 2010. - 345 с.
4. Dubitsky, S.D. ELCUT. Universal program for calculating magnetic, electric, thermal and elastic fields by the finite element method // Mining Information Analytical Bulletin - №12 / volume 12 - 2007.

**Kachanov Alexander Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the AEC of Russia, Head of the Department of Electroequipment and Energy Saving, FGBOU VO "OSU named after I.S. Turgenev ". 302020, Oryol, Naugorskoe shosse, 29, tel. 8- (4862) -41-98-53. Mail: kan@ostu.ru.  
**Gerasimenko Ekaterina Sergeevna**, student gr. 41-EE FGBOU IN "OSU named after I.S. Turgenev "; Address: Russia, 302020, the Oryol, ul. Naugorskoe shosse, 29; E-mail: Dina.storm@mail.ru.

#### **СЕКЦИЯ №4. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ**

Руководитель:

**Барсуков Геннадий Валерьевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой КТО МП, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева», awj@list.ru

---

УДК 621.311

#### **МОДЕЛЬ ПОГРУЖНОЙ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**Загрядцкий В.И., Алехин В.С., Миронов Е.А., Шведов С.А.**  
*Россия, г. Орел, ОГУ им. С.И. Тургенева*

*Рассматривается модель автономной погружной свободнопоточной микрогидроэлектростанции используемой в качестве источника электроэнергии для различных объектов, расположенных вдали от централизованного электроснабжения.*

*Ключевые слова: электрическая энергия, генератор, мультипликатор, гидромеханический преобразователь.*

Погружные свободнопоточные микрогидроэлектростанции (мкГЭС), использующие кинетическую энергию потока реки, обладают рядом преимуществ по сравнению с плотинными, наплавными, деривационными безнапорными мкГЭС [1]. Характерная черта станции – отсутствие плотины и водохранилища. МкГЭС могут применяться на малых и сверхмалых реках, родниках, ручьях, технических и технологических водоводах, естественных водоемах и т.д. МкГЭС не разрушают природный речной ландшафт, не влияют на ухудшение поверхностных и грунтовых вод.

Однако их достоинства в настоящее время в отечественном гидроэлектростроении практически не реализованы. Широкому внедрению мкГЭС на малых относительно