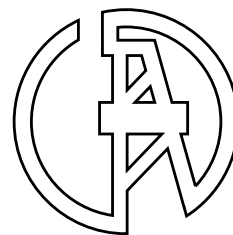


ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ



УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УГНТУ

№ 3 т. 12, 2016

Журнал основан в 2005 году. Выходит 4 раза в год

Учредитель

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (УГНТУ)

Журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».


Международный стандартный серийный номер ISSN 1999-5458.


Редакционная коллегия:


Главный редактор:


С.В. Шапиро — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)


Члены редакционной коллегии:


В.М. Артюшенко — д-р техн. наук, проф. ГБОУ ВО МО «Технологический университет» (г. Москва, Российская Федерация) 


Б.М. Горшков — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет сервиса» (г. Тольятти, Российская Федерация) 


М.Ю. Доломатов — д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


В.Г. Крымский — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


В.Г. Кушнир — д-р техн. наук, проф. Костанайского государственного университета им. Ахмета Байтурсынова (г. Костанай, Казахстан) 

С.В. Павлов — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 

Р.Р. Сафин — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


Б. Брудник — д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник Тель-Авивского университета (г. Тель-Авив, Израиль) 


А.Ф. Романченко — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Российская Федерация, г. Уфа) 


П.С. Серенков — д-р техн. наук, проф. Белорусского национального технического университета (г. Минск, Белоруссия) 


Зам. главного редактора:


Ш.З. Валиев — канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация)


М.А. Ураксеев — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


Н.А. Феоктистов — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет дизайна и технологии» (г. Москва, Российская Федерация) 


Ф.Ф. Хизбуллин — д-р хим. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 


П.И. Чередниченко — д-р техн. наук, проф. Черниговского государственного технологического университета (г. Чернигов, Украина) 

В.А. Шабанов — канд. техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 

Р.Б. Яруллин — д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (г. Уфа, Российская Федерация) 

И. Зицмане — д-р техн. наук, профессор Рижского технического университета, эксперт научного совета Латвийской академии наук (г. Рига, Латвия) 

Г.Д. Георгиев — д-р техн. наук, преподаватель Технического университета (г. Варна, Болгария) 

И.В. Пентегов — д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины (г. Киев, Украина) 

Ответственный секретарь: А.А. Мухамадиев
Технический редактор: Н.Г. Трофимова

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Доступ и подписка на электронную версию журнала — на сайте www.ugntu.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-67387 от 05.10.2016 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

© Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016

Адрес редакции: 450078, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Чернышевского, 145.

Тел.: +7 (347) 228-91-38.

Отпечатано в типографии издательства УГНТУ с готовых электронных файлов.

Подписано в печать 23.09.2016 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,01. Тираж 1000 экз. Заказ № 134.

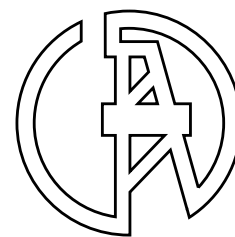
Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Электротехнические и информационные комплексы и системы», допускается только с письменного разрешения редакции.

Материалы приводятся в авторской редакции.

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

ELECTRICAL AND DATA PROCESSING FACILITIES AND SYSTEMS

UFA STATE PETROLEUM TECHNOLOGICAL UNIVERSITY



USPTU

№ 3 v. 12, 2016

The journal was founded in 2005. Issued 4 times a year.

Founder:

Ministry of education and science of the Russian Federation.

Federal State-Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa State Petroleum Technological University» (USPTU)

The journal is included in the «List of peer-reviewed scientific publications, which should be published basic scientific results of theses on competition of a scientific degree of candidate of Sciences, on competition of a scientific degree of the doctor of Sciences».

International standard serial number ISSN 1999-5458.

Editorial board:

Editor-in-chief:

S.V. Shapiro — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)

Members of an editorial board:

V.M. Artyushenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of SBEI HE MR «University of Technology» (Moscow, Russian Federation)



B.M. Gorshkov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Volga Region State University of Service» (Russian Federation, Tolyatti)



M.Yu. Dolomatov — Dr. Sci.Chem., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



V.G. Krymsky — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



V.G. Kushnir — Dr. Sci.Tech., Prof. of «Kostanaysky State University» of Ahmet Baytursynov (Kostanay, Kazakhstan)



S.V. Pavlov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Aviation Technical University» (Ufa, Russian Federation)



R.R. Safin — D. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



B. Brudnik — Dr. Sci.Tech., Leading Researcher of Tel Aviv University» (Tel Aviv, Israel)



A.F. Romanchenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



P.S. Serenkov — Dr. Sci.Tech., Prof. of Byelorussian National Technical University» (Minsk, Byelorussia)



Deputy editor-in-chief:

Sh.Z. Valiev — Cand. Sci.Tech., Dr. Sci. Econ., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)

M.A. Urakseev — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Aviation Technical University» (Ufa, Russian Federation)



N.A. Feoktistov — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Moscow State University of Design and Technology» (Moscow, Russian Federation)



F.F. Hizbullin — Dr. Sci.Chem., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



P.I. Cherednichenko — Dr. Sci.Tech., Prof. of «Chernigov State Technological University» (Chernigov, Ukraine)



V.A. Shabanov — Cand. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



R.B. Yarullin — Dr. Sci.Tech., Prof. of FSBEI HE «Ufa State Petroleum Technological University» (Ufa, Russian Federation)



I. Zicmane — Dr. Sci.Tech., Prof. of Riga Technical University, expert the Latvian Council of Science (Riga, Latvia)



G.D. Georgiev — Dr. Sci.Tech., Lecturer Technical University (Varna, Bulgaria)



I.V. Pentegov — Dr. Sci.Tech., Prof., Leading Researcher the E.O.Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kiev, Ukraine)



Assistant editor: A.A. Mukhamadiev

Technical editor: N.G. Trofimova

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citig (RISC).

Access and subscription to the electronic version of the journal is available on the website www.ugues.ru.

Mass media registration certificate ПИ № ФС 77-67387 dd. 05.10.2016 given by Federal service of supervision in the scope of communication, information technologies and mass media.

© Ufa State Petroleum Technological University, 2016

Publisher's address: 145, Chernyshevskiy Str., Ufa, 450078.

Ph.: +7 (347) 228-91-38.

Signed for printing 23.09.2016 r. Format 60×84 1/8. Offset printing. 12,01 printed pages. Circulation is 1000 copies. Order № 134.

The text of journal «Electrical and data processing facilities and systems» may be quoted with written permission of the publisher only.

Content is published as provided by authors.

Publisher's view may be different from that of the authors of the articles.

СОДЕРЖАНИЕ

Электротехнические комплексы и системы

<i>Конесев С.Г., Мухаметшин А.В., Конев А.А.</i> Исследование режимов работы дросселя резонансной испытательной установки.....	5
<i>Пентегов И.В., Рымар С.В.</i> Практическое применение метода тепловых источников при анализе тепловых процессов в электротехнических системах.....	11
<i>Шабанов В.А., Алексеев В.Ю., Юсупов Р.З.</i> Пути повышения эффективности блокировки защиты минимального напряжения от токовой защиты ввода.....	18
<i>Диденко Е.Е., Мещеряков В.Н.</i> Управление электроприводом петледержателя при входе полосы в межклетевой промежуток чистой группы стана горячей прокатки.....	26
<i>Андреанов А.В., Зикий А.Н., Зламан П.Н.</i> Моделирование и экспериментальное исследование микрополоскового фильтра на полуволновых резонаторах.....	32
<i>Яруллин Р.Б., Мулюков А.Р.</i> Автоматический вибратор частотно-регулируемого асинхронного электропривода вибромашины с вертикальной осью вращения дебалансов.....	36

Информационные комплексы и системы

<i>Воронков Г.С., Кузнецов И.В.</i> Подход к концепции построения низкоскоростных OFDM-модемов для энергодефицитных систем связи.....	44
<i>Плёткин А.П.</i> Проблема защищенности процесса синхронизации от несанкционированного доступа в системе квантового распределения ключа.....	50
<i>Артюшенко В.М., Воловач В.И.</i> Определение вероятностей обнаружения движущихся объектов при постоянных и изменяющихся условиях обнаружения <i>Artyushenko V.M., Volovach V.I.</i> Determination of probabilities of detection of objects moving at constant and varying conditions of detection.....	57
<i>Зайнуллин А.Р.</i> Исследование статистики распределения перекрестных помех в многожильных волокнах.....	64

Метрология и информационно-измерительные устройства

<i>Сироткин С.Л., Коньков А.Н.</i> Повышение помехоустойчивости приема время-интервальных кодов.....	70
<i>Мухамадиев А.А., Фаррахов Р.Г.</i> Сканирующий оптико-электронный преобразователь температуры.....	75
<i>Федосов А.В., Мизгирева В.В., Щербакова Э.Д., Янтирякова А.Р.</i> Особенности применения ультразвукового контроля для экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов.....	81
<i>Петрова И.Ю., Ураксеев М.А., Николаев А.В.</i> Информационно-измерительная и управляющая система контроля стойкости режущего инструмента для станков с ЧПУ.....	87
<i>Абдрахманов В.Х., Важаев К.В., Салихов Р.Б.</i> Информационно-измерительная система дистанционного контроля параметров микроклимата.....	91

Нанoeлектроника и квантовые информационные системы

<i>Доломатов М.Ю., Паймурзина Н.Х., Ковалева Э.А.</i> Полуэмпирическая оценка потенциалов ионизации молекул полициклических органических полупроводников.....	100
---	-----

Об авторах

CONTENT

Electrical facilities and systems

<i>Konesev S.G., Muhametshin A.V., Konev A.A.</i> Modelling modes inductor resonance test set.....	5
<i>Pentegov I.V., Rymar S.V.</i> Practical application of the heat sources method to the analysis of thermal processes in electrotechnical systems.....	11
<i>Shabanov V.A., Alekseev V.Yu., Yusupov R.Z.</i> Improving the efficiency of lock protection minimum voltage by overcurrent relay protection.....	18
<i>Didenko E.E., Mecherykov V.N.</i> Control of the electric drive of looper at the strip entrance to the gap between two stand of finishing group of the hot rolling mill.....	26
<i>Andrianov A.V., Zikiy A.N., Zlaman P.N.</i> Modeling and experimental study of microstrip filter on half-wave resonators.....	32
<i>Yarullin R.B., Muljukov A.R.</i> Automatic vibrators for frequency-controlled asynchronous electric vibrators with vertical rotation axis of the unbalance.....	36

Data processing facilities and systems

<i>Voronkov G.S., Kuznetsov I.V.</i> Low-speed OFDM-modems for low power consuming telecommunication systems building concepts.....	44
<i>Pljonkin A.P.</i> Protection problem of synchronization from unauthorised access in quantum key distribution system.....	50
<i>Artyushenko V.M., Volovach V.I.</i> Determination of probabilities of detection of objects moving at constant and varying conditions of detection.....	57
<i>Zainullin A.R.</i> Distribution statistics studing of crosstalk in multicore fibers.....	64

Metrology and information-measuring devices

<i>Sirotkin S.L., Konkov A.N.</i> The increase of immunity of receiving time-interval codes.....	70
<i>Mukhamadiev A.A., Farrakhov R.G.</i> Scanning temperature optical-to-electrical converter.....	75
<i>Fedosov A.V., Mizgireva V.V., Shcherbakova E.D., Yantiryakova A.R.</i> Features of application of ultrasonic testing for examination of industrial safety of hazardous production facilities.....	81
<i>Petrova I.Yu., Urakseev M.A., Nikolaev A.V.</i> Information-measuring and operating system of control of stability of cutting tools for CNC machines.....	87
<i>Abdrakhmanov V.Kh., Vazhdaev K.V., Salikhov R.B.</i> Information-measuring system of remote control of microclimate.....	91

Nanoelectronics and quantum data systems

<i>Dolomatov M.Yu., Paymurzina N.Kh., Kovaleva E.A.</i> Semiempirical efficiency of polycyclic organic semiconductors molecules ionization potential.....	100
---	-----

About the authors



Конесев С. Г.
Konesev S. G.

кандидат технических наук,
доцент кафедры «Электротехника
и электрооборудование
предприятий», ФГБОУ ВО
«Уфимский государственный
нефтяной технический
университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Мухаметшин А. В.
Muhametshin A. V.

аспирант кафедры
«Электротехника и
электрооборудование
предприятий»,
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация



Конев А. А.
Konev A. A.

студент кафедры
«Электротехника и
электрооборудование
предприятий»,
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

УДК 621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДРОССЕЛЯ РЕЗОНАНСНОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Рассмотрены вопросы, связанные с оптимизацией массогабаритных показателей дросселя резонансной испытательной установки. В большей степени массу высоковольтной резонансной испытательной установки определяют электромагнитные компоненты, входящие в её состав: высокопотенциальный трансформатор и дроссель в первичной цепи. На основе расчета продолжительности проведения испытаний, проведенного на базе экспериментальных данных, показано, что резонансная испытательная установка при производстве испытаний изоляции электрооборудования функционирует в повторно-кратковременном режиме. Электромагнитные компоненты, рассчитанные для различных режимов работы испытательных установок (продолжительный, повторно-кратковременный), будут различаться по массогабаритным показателям. Произведен расчет дросселя для различных режимов работы, а также компьютерное моделирование в программном комплексе ELCUT 6.0. По результатам компьютерного моделирования получены данные о нагреве исследуемых дросселей (допустимая температура нагрева изоляции ограничена её нагревостойкостью), проведен анализ влияния температуры на омическое сопротивление обмотки дросселя, влияющее на добротность первичного контура резонансной испытательной установки. Адекватность разработанных моделей подтверждена сравнением данных, полученных в результате компьютерного моделирования, с данными, полученными в ходе проведения натурального испытания на лабораторном образце дросселя. Расхождение результатов не превышает 6 %, что позволяет сделать заключение о высокой степени адекватности разработанных моделей. Получены данные о массогабаритных показателях моделей дросселей, рассчитанных на различные режимы работы, проведено их сравнение. Сделан вывод, что дроссель, рассчитанный по результатам компьютерного моделирования, работающий в повторно-кратковременном режиме, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым нормативно-технической документацией, и имеет лучшие массогабаритные показатели, при этом влияние нагрева на добротность резонансного контура резонансной испытательной установки находится в приемлемых пределах.

Для решения задачи при компьютерном моделировании использован программный пакет ELCUT 6.0, для подтверждения результатов моделирования — термограммы лабораторных образцов в программе Smart View 3.1 тепловизора типа Fluke Ti32.

Ключевые слова: испытательная установка, емкость объекта, резонанс, высоковольтные испытания, моделирование, техника высоких напряжений, нагревостойкость, электрические аппараты высокого напряжения, изоляция, дроссель.

MODELLING MODES INDUCTOR RESONANCE TEST SET

The problems associated with the optimization of weight and size of the resonance test rig choke. The more high-mass resonance test rig determine the electromagnetic components included in its composition: high-potential transformer and inductor in the primary circuit. On the basis of the calculation of the duration of the tests conducted on the basis of experimental data shows that the resonance test rig in the production of electrical insulation testing operates in intermittent mode. Electromagnetic components designed for different test rigs operating modes (continuous, intermittent) will vary in weight and size parameters. The calculation of the throttle, for different modes of operation and computer modeling in software ELCUT 6.0 complex. According to the results of computer simulation to obtain data on the investigated heating inductors (permissible insulation, the heating temperature is limited to its heat resistance), and analyzed the effect of temperature on the ohmic resistance of the inductor coil, affecting the quality factor of the primary circuit of the resonant test set. The adequacy of the developed model is confirmed by comparing the data obtained as a result of computer modeling with data obtained in the course of carrying out full-scale tests on a laboratory sample throttle. The discrepancy between the results does not exceed 6 %, which allows to conclude that a high degree of adequacy of the developed models. Data on weight and size chokes models designed for different operating modes, their comparison. It was concluded that a throttle calculated on the results of computer simulation of working in intermittent mode, satisfies all the requirements of normative and technical documentation, and has the best weight and overall dimensions, with the effect of heating on the resonant circuit quality factor resonance test equipment is within acceptable limits.

To solve the problem with the computer simulation software package used ELCUT 6.0, to verify the simulation results — thermograms laboratory samples in the program Smart View 3.1 type imager Fluke Ti32.

Key words: test set, the capacity of an object, resonance, high voltage testing, modeling, high voltage technics, heat resistance, high voltage electronics, insulation, inductor.

Особенностью испытаний изоляции высоковольтных электродвигателей является необходимость применения испытательных установок мощностью порядка 3–5 кВ·А. Изоляция высоковольтных электродвигателей является объектом большой емкости (десятки — сотни нанофарад), и мощности стандартных промышленных испытательных установок недостаточно.

Необходимую мощность обеспечивают установки высокого переменного напряжения, работающие в резонансном режиме [1, 2, 3, 4]. В известных технических решениях высоковольтных испытательных установок емкость испытываемого объекта используется для создания резонансного контура. Однако эти установки ограничены в своем применении, поскольку не могут работать с объектами малой емкости и имеют сложную конструкцию испытательного трансформатора.

Авторами предложено техническое решение резонансной испытательной установки (РИУ) [5]. Резонанс в ней создается в первичной цепи высокопотенциального испытательного трансформатора при любой емкости нагрузки посредством использования дросселя с плавной регулировкой индуктивности, что позволяет производить испытание изоляции электрооборудования как большой, так и малой емкости.

Массогабаритные показатели испытательной установки являются параметром, к которому предъявляются высокие требования, и их оптимизация является важной задачей совершенствования оборудования. Одним из самых массивных компонентов РИУ является дроссель, следовательно, уменьшение его массы окажет значительное влияние на показатели всей установки. Выбрать дроссель, обладающий лучшими массогабаритными

показателями, можно опираясь на анализ различных режимов работы РИУ.

Рассмотрим процесс проведения высоковольтных испытаний с помощью РИУ. Общее время испытания изоляции повышенным напряжением переменного тока высоковольтных электродвигателей можно определить по формуле:

$$T_{\text{ИСПЫТАНИЯ}} \approx n \cdot (T_1 + T_2 + T_3 + T_4) = 30 \text{ мин}, \quad (1)$$

где n — количество обмоток статора, $n = 3$;

T_1 — время входа в режим, $T_1 \approx 0,5$ мин;

T_2 — время испытания высоковольтной изоляции по ГОСТ Р 52776-2007 (п. 9.2.1),

$T_2 = 1$ мин;

T_3 — время снятия остаточного заряда,

$T_3 = 6$ мин;

T_4 — время подготовки к проведению высоковольтных испытаний, $T_4 = 3,5$ мин.

Время одного цикла

$$T_{\text{ИСПЫТАНИЯ}} \approx T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 10 \text{ мин}. \quad (2)$$

После отключения высокого напряжения обмотку испытанной фазы для снятия остаточного заряда необходимо разрядить разрядной штангой через сопротивление не менее 10–50 Ом на киловольт испытательного напряжения [6] с выдержкой времени:

$$T_3 \approx C_{\text{ОБЪЕКТА}} \cdot R_{\text{РАЗРЯДНОЕ}}. \quad (3)$$

Измерения показали, что емкость изоляции высоковольтных электродвигателей, эксплуатируемых на объектах нефтегазовой отрасли, находится в диапазоне от 20 до 150 нФ. Расчетное время снятия остаточного заряда для данных электродвигателей находится в пределах от 0,021 до 0,09 с, поэтому после того, как испытуемый объект разряжен с помощью разрядного устройства, рекомендуется фазу закоротить на корпус электродвигателя на время не менее 3–10 мин [7].

Таким образом, процесс проведения высоковольтных испытаний производится в повторно-кратковременном режиме, и, следовательно, целесообразно рассчитать параметры дросселя для работы именно в этом режиме, так как дроссель, рассчитанный на этот режим, будет обладать лучшими массогабаритными показателями по сравнению с дросселем, рассчитанным на продолжительный режим работы из-за возможности использовать в обмотках дросселя провод меньшего сечения. Кроме того, следует учи-

тывать, что возможность использования дросселя РИУ в различных режимах работы ограничена нагревостойкостью изоляции, требования к которой определены нормативно-технической документацией [8, 9], а также изменением добротности колебательного контура РИУ из-за влияния нагрева на омическое сопротивление обмотки дросселя. Экспериментально установлено, что значение добротности резонансного контура в первичной цепи высокопотенциального испытательного трансформатора РИУ должно быть не меньше 6,9.

Для решения задачи оптимизации массогабаритных показателей дросселя был смоделирован в программе ELCUT 6.0 повторно-кратковременный режим работы дросселя S3 (продолжительность одного цикла принимают равной 10 мин с продолжительностью включения 15 %), также для сравнения показателей был использован лабораторный образец дросселя, работающий в продолжительном режиме работы, S1 (режим работы с постоянной нагрузкой и продолжительностью, достаточной для достижения теплового равновесия) [8].

Исследования содержали следующие этапы:

- исследование работы дросселя в режиме S3 в компьютерной модели;
- исследование работы дросселя в режиме S3 на лабораторном образце;
- сравнение результатов, полученных в ходе лабораторных испытаний и моделирования, подтверждение адекватности разработанной модели;
- расчёт дросселя с наилучшими массогабаритными показателями на основе разработанной модели;
- сравнение массогабаритных показателей дросселей, рассчитанных под различные режимы работы.

В таблицах 1, 2 и на рисунках 1, 2 представлены результаты исследования работы лабораторного образца и компьютерной модели дросселя в повторно-кратковременном режиме работы.

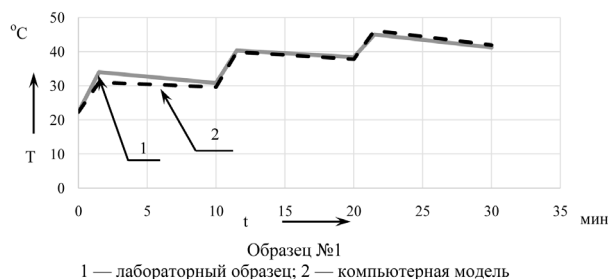
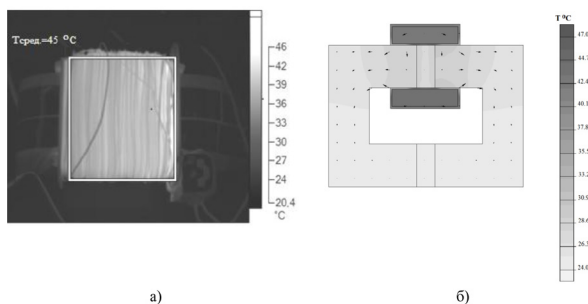
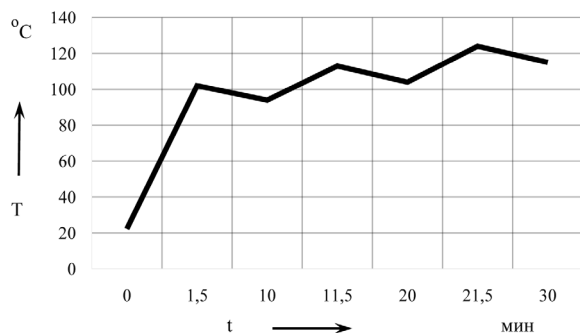
Регистрация температуры при тепловизионном контроле (рисунок 2) осуществлялась по истечении 21,5 мин работы. Значение измеренных температур выводилось на

Таблица 1. Результаты исследования работы дросселя в повторно-кратковременном режиме работы

Время, мин	0	1,5	10,0	11,5	20,0	21,5	30,0
Температура лабораторного образца, °С	22,30	34,00	30,80	40,30	38,40	45,00	41,20
Температура компьютерной модели, °С	22,30	31,00	29,64	39,90	37,80	46,20	41,90

Таблица 2. Результаты исследования влияния температуры на добротность контура в повторно-кратковременном режиме работы

Температура, °С	20,0	34,0	40,3	45,0
Добротность	9,70	9,22	8,98	8,84

**Рисунок 1.** Тепловая характеристика повторно-кратковременного режима работы**Рисунок 2.** Термограммы режима S3 при $t = 21,5$ мин: лабораторный образец (а), компьютерная модель (б)**Рисунок 3.** Тепловая характеристика компьютерной модели при повторно-кратковременном режиме работы

дисплей устройства контроля температуры тепловизора FlukeTi32. Регистрация температуры компьютерной модели также происходила по истечении 21,5 мин работы.

Таблица 3. Результаты исследования работы дросселя с наилучшими массогабаритными показателями в повторно-кратковременном режиме работы

Время, мин	0	1,5	10,0	11,5	20,0	21,5	30,0
Температура компьютерной модели, °С	22,3	102,0	94,0	113,0	104,0	124,0	115,0

Основываясь на данных, полученных в ходе лабораторного испытания, был проведён анализ влияния температуры на добротность резонансного контура. Для анализа были выбраны 4 точки: одна с начальной температурой, а остальные с наибольшими температурами, полученными в течение одного цикла, соответственно $T_1 = 20$ °С, $T_2 = 34$ °С, $T_3 = 40,3$ °С, $T_4 = 45$ °С.

Расхождение данных, полученных в ходе лабораторных испытаний, и данных, полученных в ходе компьютерного моделирования режима работы S3, находится в пределах 6 %, что подтверждает адекватность разработанной модели.

На основе данных, полученных в ходе тепловизионного контроля, можно сделать вывод, что наибольшая температура нагрева дросселя не превышает температуру нагревостойкости для данного класса изоляции (класс изоляции «В» — температура нагревостойкости 130 °С). Следовательно, возможно оптимизировать дроссель путем использования провода меньшего сечения и добиться улучшения его массогабаритных показателей, при этом не выходя за рамки предъявляемых требований.

В таблицах 3, 4 и на рисунках 3 и 4 представлены результаты исследования работы компьютерной модели дросселя с оптимизированными массогабаритными показателями в повторно-кратковременном режиме работы.

Регистрация температуры (рисунок 3) осуществлялась по истечении 21,5 мин работы. Значение измеренных температур выводилось на дисплей компьютера в программе Elcut 6.0.

Основываясь на данных, полученных в ходе моделирования, был проведён анализ влияния температуры на добротность резонансного контура. Для анализа были выбраны

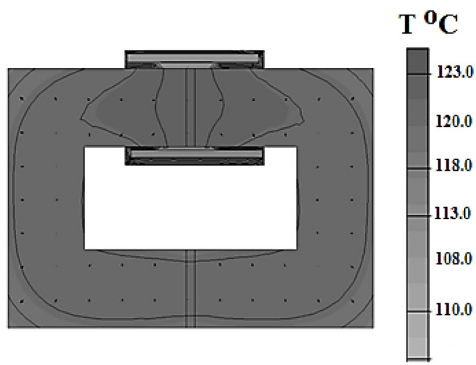


Рисунок 4. Термограмма компьютерной модели дросселя режима S3 при $t = 21,5$ мин

4 точки: одна с начальной температурой, а остальные с наибольшими температурами, полученными в течение одного цикла, соответственно $T_2 = 102$ °C, $T_3 = 113$ °C, $T_4 = 124$ °C.

В таблице 5 приведено сравнение массогабаритных показателей лабораторного образца дросселя, рассчитанного на продолжительный режим работы, с показателями модели дросселей, рассчитанными на повторно-кратковременный режим. Расчётная масса дросселя, работающего в режиме S3 и смоделированного при использовании провода меньшего сечения, меньше массы дросселя с проводом большего сечения на 2,9 %. По сравнению с лабораторным образцом дросселя, рассчитанного на продолжительный режим работы, масса была уменьшена на 11,2 %.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что дроссель, рассчитанный по результатам компьютерного моделирования, работающий в повторно-кратковременном режиме S3, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым нормативно-технической

Таблица 4. Результаты исследования влияния температуры на добротность контура в продолжительном режиме работы

Температура, °C	20	102	113	124
Добротность	9,70	7,37	7,15	6,97

Таблица 5. Сравнение массогабаритных показателей дросселей

Режим работы	Число витков первой катушки	Диаметр провода d , мм	Масса дросселя, кг
S1	300	2,24	23,29
S3	650	1,18	21,30
S3	1486	0,60	20,68

документацией, и имеет лучшие массогабаритные показатели, при этом влияние нагрева на добротность резонансного контура РИУ находится в приемлемых пределах.

Заключение

В процессе исследования создана компьютерная модель, позволяющая исследовать режимы работы дросселя. Данная модель дает возможность анализировать процесс нагрева элементов установки с высокой степенью точности (расхождение с данными практических исследований не превышает 6 %) без температурных испытаний оборудования, негативно сказывающихся на состоянии изоляции и требующих значительных временных затрат. Позволяет дополнить и ускорить процедуру проектирования и разработки элементов электротехнических установок, наглядно иллюстрирует протекающие в электротехнических установках физические процессы.

Список литературы

1. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В., Кириллов Р.В. Выбор схемы ВИУ для работы в резонансном режиме // Сб. науч. тр. I Междунар. (IV Всеросс.) науч.-техн. конф. Уфа: УГНТУ, 2013. С. 209–215.
2. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В., Хазиева Р.Т., Стрижев Д.А. Новые схемотехнические решения резонансной высоковольтной испытательной установки // Инновационные направления развития электропривода, электротехнологий и электроо-

борудования: межвуз. сб. науч. тр. Уфа: УГНТУ, 2012. С. 178–183.

3. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В. Оценка влияния параметров изоляции высоковольтного оборудования на режимы работы испытательной установки [Электронный ресурс] // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». 2015. № 2. Режим доступа: URL: www.science-education.ru/122-20794-07.08.2015.

4. Конесев С.Г., Мухаметшин А.В. Математическое моделирование резонансных режимов испытательной установки // Вести

высших учебных заведений Черноземья. 2015. № 3. С. 51–55.

5. Пат. 132213 Российская Федерация, МПК G 01 R. Компактная испытательная установка для испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением / Конесев С.Г., Мухаметшин А.В. (РФ). 2013108529; заявл. 10.09.13, опубл. 10.09.2013. Бюл. № 25.

6. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / Под ред. Ф.Л. Коган. М.: ОРГРЭС, 1998. 493 с.

7. РД-75.200.00-КТН-079-12. Положение о диагностировании, порядке технического освидетельствования и продлении срока службы энергоустановок нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов.

8. ГОСТ Р 52776-2007. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и рабочие характеристики. М.: Изд-во стандартов, 2008. 7 с.

9. ГОСТ 6581-75. Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2008. — 9 с.

References

1. Konesev S.G., Muhametshin A.V., Kirillov R.V. Vybor skhemy VIU dlya raboty v rezonansnom rezhime // Sb. nauch. tr. I Mezhdunar. (IV Vseross.) nauch.-tekhn. konf. Ufa: UGNTU, 2013. P. 209–215.

2. Konesev S.G., Muhametshin A.V., Hazieva R.T., Strizhev D.A. Novye skhemotekhnicheskie resheniya rezonansnoj vysokovol'tnoj ispytatel'noj ustanovki // Innovacionnye napravleniya razvitiya ehlektroprivoda, ehlektrotekhnologij i ehlektrooborudovaniya: mezhvuz. sb. nauch. tr. Ufa: UGNTU, 2012. P. 178–183.

3. Konesev S.G., Muhametshin A.V. Ocenka vliyaniya parametrov izolyacii vysokovol'tnogo oborudovaniya na rezhimy raboty ispytatel'noj ustanovki [Elektronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. Elektronnyj nauchnyj zhurnal. 2015. № 2. Rezhim dostupa: www.science-education.ru/122-20794. 07.08.2015.

4. Konesev S.G., Muhametshin A.V. Matematicheskoe modelirovanie rezonansnih rejimov ispytatel'noj ustanovki // Vesti visshih uchebnyh zavedenii Chernozemya. 2015. № 3. P. 51–55.

5. Pat. 132213 Rossijskaya Federaciya, МПК G 01 R. Kompaktnaya ispytatel'naya ustanovka dlya ispytaniya izolyacii ehlektrooborudovaniya povyshennym napryazheniem / Konesev S.G., Muhametshin A.V. (RF). 2013108529; yayavl. 10.09.13, opubl. 10.09.2013. Byul. № 25.

6. Sbornik metodicheskikh posobij po kontrolyu sostoyaniya ehlektrooborudovaniya / Pod red. F.L. Kogan. M.: ORGREHS, 1998. 493 p.

7. RD-75.200.00-КТН-079-12. Polozhenie o diagnostirovanii, poryadke tekhnicheskogo osvidetel'stvovaniya i prodlenii sroka sluzhby ehnergoustanovok nefteperekachivayushchih stancij magistral'nyh nefteprovodov.

8. GOST R 52776-2007. Mashiny ehlektricheskie vrashchayushchiesya. Nominal'nye dannye i rabochie harakteristiki. M.: Izd-vo standartov, 2008. 7 p.

9. GOST 6581-75. Materialy ehlektroizolyacionnye zhidkie. Metody ehlektricheskikh ispytaniy. M.: Izd-vo standartov, 2008. 9 p.