

УДК 620.1

МЕТОДИКА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

^{1,2}Хисматуллин А.С., ²Вахитов А.Х., ²Феокистов А.А.¹ГАНУ «Институт прикладных исследований Республики Башкортостан», Стерлитамак,
e-mail: hism5az@mail.ru;²Филиал «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Салават

Причинами возникновения техногенных аварий на распределительных подстанциях Российской Федерации являются изношенность оборудования и несоблюдение техники безопасности. Наиболее массовыми электроустановками являются силовые трансформаторы, которые в процессе эксплуатации работают, как правило, в разнообразных условиях под воздействием электромагнитных, механических, тепловых и других стационарных и ударных нагрузок, во влажных, загрязненных и агрессивных средах. Повреждения силовых трансформаторов возникают в процессе эксплуатации, и их основными причинами являются недостаточная эффективность принятой в настоящее время системы диагностики. Одним из перспективных методов оценки технического состояния силовых трансформаторов является спектральный метод, основанный на анализе взаимосвязи генерируемых двигателем электропривода параметров высших гармоник токов с техническим состоянием и режимами работы оборудования. В отличие от других методов диагностики, спектральный анализ сигналов обмотки силовых трансформаторов дает возможность оценивать изменение частотного спектра тока и напряжения, который несёт некоторую информацию, распознав которую, можно сделать вывод о состоянии элементов силового трансформатора. Данный метод обладает рядом преимуществ и в наибольшей степени отвечает критериям точности, эффективности и простоты инструмента диагностики состояния оборудования. Разработана методика технического обслуживания и ремонта силовых масляных трансформаторов распределительных подстанций по техническому состоянию на основе существующих методов диагностики. Для точной количественной оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов распределительных подстанций предложено также использовать спектральный анализ сигналов обмотки.

Ключевые слова: трансформатор, диагностика, техническое обслуживание, ремонт

METHODS MAINTENANCE AND REPAIR OF INDUSTRIAL POWER TRANSFORMERS TECHNICAL CONDITION

^{1,2}Hismatullin A.S., ²Vahitov A.H., ²Feoktistov A.A.¹The state independent scientific institution «Institute of applied researches of Republic Bashkortostan»,
Sterlitamak, e-mail: hism5az@mail.ru;²Ufa State Petroleum Technological University, Salavat

The causes of man-made accidents in distribution substations Russian Federation is the depreciation of equipment and failure to comply with safety regulations. The most popular are the electrical installations and power transformers, which operate during the operation, usually in a variety of conditions under the influence of electromagnetic, mechanical, thermal and other stationary and shock loads in wet, contaminated and hostile environments. Damage to power transformers arise during operation and their main causes are the lack of effectiveness of currently accepted diagnostic systems. One of the promising methods to assess the technical condition of the power transformers is a spectral method based on the analysis of the relationship generated by the electric motor parameters of the higher harmonics current technical condition and mode of operation of the equipment. Unlike other diagnostic methods, spectral analysis of signals the winding power transformer makes it possible to evaluate the change in the frequency spectrum of the current and voltage, which carries some information, recognizing that we can conclude about the state of the elements of the power transformer. This method has several advantages and best meets the criteria of accuracy, efficiency and ease of diagnostic tool equipment condition. The technique of maintenance and repair of power oil transformers, distribution substations for the technical condition, based on the existing methods of diagnosis. To accurately quantify the technical condition of power oil transformers distribution substations requested to use spectral analysis of signals the winding.

Keywords: transformer, diagnostics, maintenance, repair

В настоящее время в электроэнергетике и электротехнике большое внимание уделяется согласованию условий нормальной безаварийной и эффективной работы электроустановок (ЭУ), производящих, передающих, преобразующих и потребляющих электроэнергию при её надлежащем качестве [1–6]. Такими наиболее массовыми электроустановками являются силовые

трансформаторы (СТ), которые в процессе эксплуатации работают, как правило, в разнообразных условиях под воздействием электромагнитных, механических, тепловых и других стационарных и ударных нагрузок, во влажных, загрязненных и агрессивных средах. Это приводит с течением времени к ухудшению электрических, механических, термических характеристик

и других технико-экономических показателей. Поэтому силовые трансформаторы, хотя и являются в эксплуатации весьма надёжными аппаратами благодаря отсутствию вращающихся частей, но, тем не менее, неисправности и аварии для них не являются редкостью и оказывают большое влияние на надёжность работы энергосистемы [7–15].

Старение и износ основного электрооборудования ЭС и СЭС (~ 60 %) вызваны наметившейся тенденцией к сокращению объёмов финансирования текущих и капитальных ремонтов, а также его реновации.

Разработанный метод оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов позволяет предотвратить аварийные ситуации на распределительных подстанциях. Основными причинами возникновения техногенных аварий на распределительных подстанциях является изношенность оборудования и несоблюдение техники безопасности.

В качестве объекта диагностирования выбираем силовой масляный трансформатор. Применяемый в настоящее время ремонт оборудования – смешанный. Планово-профилактическое техническое обслуживание (в дальнейшем – ППР) с системой обслуживания и ремонта по состоянию – это метод обслуживания, основой которого является плановое периодическое проведение профилактических работ различного объёма на оборудовании, т.е. составление и соблюдение календарного графика выполнения через строго определённые интервалы времени работ по профилактическому ремонту.

Основным недостатком существующей системы планово-предупредительных ремонтов является то, что планирование и проведение ремонтных работ осуществляется без объективной оценки потребности в ремонте конкретной единицы оборудования, т.е. проведение «излишних» ремонтов – ремонтов фактически

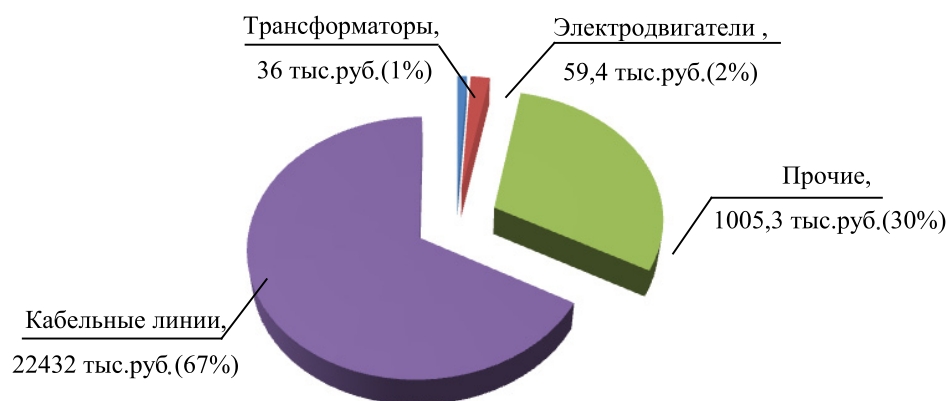


Рис. 1. Масштабы пожаров, возникшие по электротехническим причинам, на нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях

Основная причина повреждения силовых трансформаторов в процессе эксплуатации – это недостаточная эффективность принятой в настоящее время системы диагностики. К основным методам диагностирования силовых трансформаторов относятся хромографический, тепловизионный, вибрационный, электрический, радиоволновой, оптический, вихретоковый, акустический, метод частичных разрядов, которые в основном ориентированы на применение в системе планово-предупредительного обслуживания и испытаний оборудования. На рис. 1 приведены масштабы пожаров, возникшие по электротехническим причинам, на нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях.

исправного оборудования, и, как следствие, излишний рост эксплуатационных затрат, включая стоимость запасных частей. Основой системы ППР является предположение выхода из строя 2 % оборудования за время непрерывной эксплуатации в течение 3000 ч (125 суток) и нарастание темпа выхода из строя по экспоненциальному закону. Таким образом, следующие 2 % оборудования выйдут из строя за срок более короткий, чем первые (рис. 2, кривая 1). Считалось, что ППР снижает темп выхода из строя (рис. 2, кривая 2), и за тот же промежуток времени (4560 ч) потери из-за аварийных остановок оборудования существенно уменьшаются (2,8 вместо 6 %). Однако такое предположение не совсем вер-

но, так как ремонт вносит дополнительную вероятность отказов оборудования, и темп выхода из строя сразу после ремонта резко увеличивается (рис. 2, кривая 3). Поэтому представляется более целесообразным при условии постоянного контроля безразборными методами технического состояния оборудования вести его эксплуатацию до вероятности отказа, не превышающей вероятность отказа после ремонта (рис. 2, кривая 4). Тепловизионный метод является наиболее эффективным из таких методов по достоверности и скорости отражения технического состояния.

На основе анализа изменений, измеренных тепловизором, возможно предсказывать необходимость и планировать сроки проведения ремонта, т.е. проводить ремонт только тех трансформаторов, где он необходим. Такой вид обслуживания называется «предупредительным», или ремонт по фактическому техническому состоянию (в дальнейшем РФС). Достоинством такого метода обслуживания является минимиза-

ция ремонтных работ (исключение ремонта бездефектных узлов) и увеличение на 25...40% межремонтного ресурса по сравнению с ППР. Высоковольтные масляные трансформаторы общего назначения напряжением 6–110 кВ, именуемые во всем мире стандартные распределительные трансформаторы, составляют основу силового электрооборудования, применяемого в распределительных подстанциях. Поэтому для оценки технического состояния электрооборудования выбраны трёхфазный масляный трансформатор типа РНО–250-10 и трансформатор типа ТДМ-750/10. Технические данные трансформаторов представлены в таблице.

Исследования произведены в лаборатории диагностики электрических машин Филиала ФГБОУ ВПО «УГНТУ» в городе Салавате ООО «Ново-Салаватская ТЭЦ».

Схемы лабораторной установки для исследования диагностических параметров и характерных повреждений трансформатора изображены на рис. 3–4.

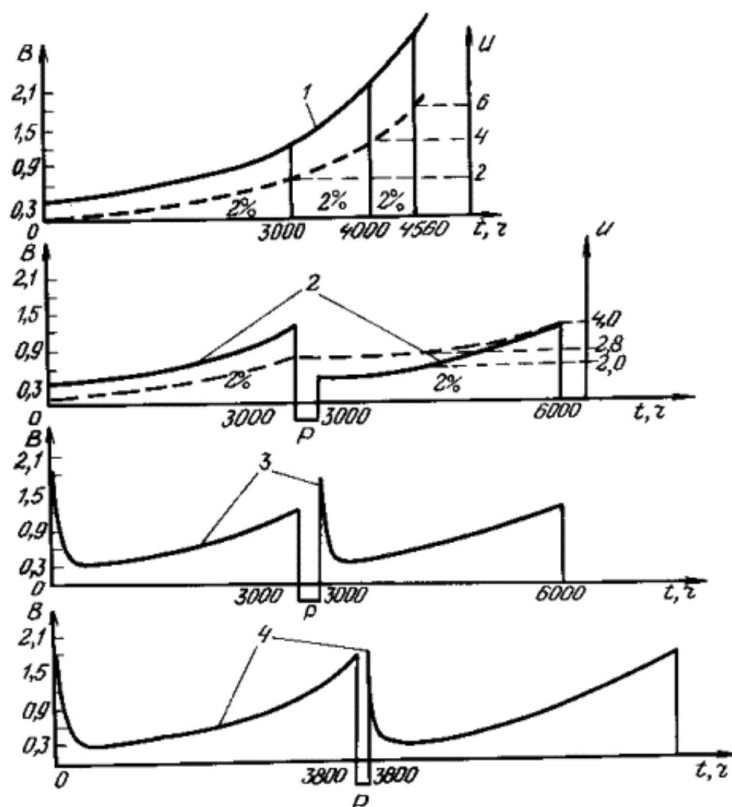


Рис. 2. Вероятность отказа при различных системах проведения ремонтов. 1 – без планово-предупредительных ремонтов; 2, 3 – при планово-предупредительных ремонтах; 4 – при ремонтах по фактическому состоянию; B – вероятность отказа (% выхода из строя на 1000 ч работы) – сплошная линия; U – % выведенного из строя оборудования – пунктирная линия; t – часы работы; P – остановка на ремонт

Технические данные исследуемого трансформатора

Тип	Номинальная мощность, КВА	Номинальные напряжения обмоток, В		Масса, кг
		ВН	НН	
РНО-250-10	23	380	180	175
ТДМ-750/10	750	6000	400	4120

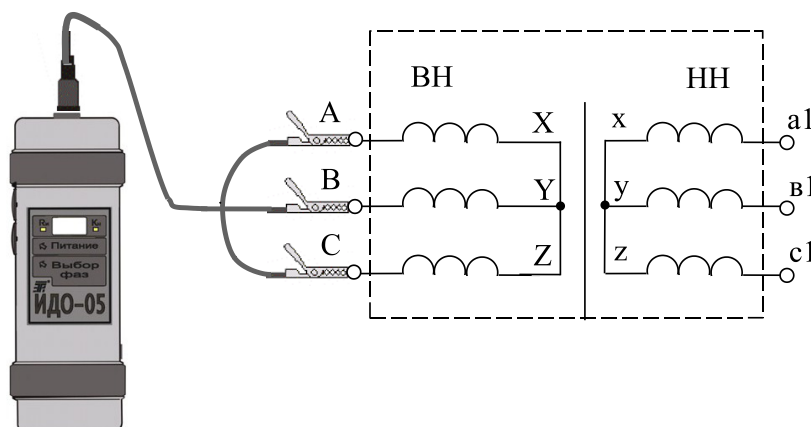


Рис. 3. Схема лабораторного стенда проверки обмотки на наличие междувитковых замыканий, обрыва проводников и на правильность соединения схемы

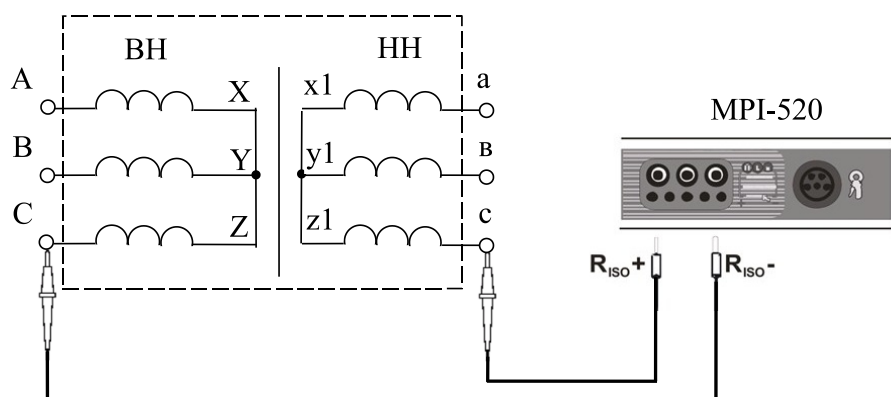


Рис. 4. Схема лабораторного стенда для проверки состояния изоляции обмоток с помощью MPI-520 измерителя параметров электробезопасности электроустановок

Проверка обмотки на наличие междувитковых замыканий, обрыва проводников и на правильность соединения схемы реализован с помощью индикатора ИДО-05 по следующему алгоритму:

1. Подключить к индикатору соединительный кабель.

2. Подключить соединительный кабель с помощью зажимов «А», «В» и «С» к выводам трехфазной обмотки трансформатора, сначала высокой, затем низкой стороны (рис. 3). При этом обмотка соединена со-

гласно схеме для данного трансформатора (первичная и вторичная – в звезду).

Проверка обмотки на наличие однофазных замыканий, обрыва проводников и на правильность соединения схемы осуществляется следующим образом:

1. Подключить к индикатору соединительный кабель.

2. Подключить соединительный кабель с помощью зажимов «А», «В» и «С» к выводам трехфазной обмотки трансформатора, сначала высокой затем низкой стороны

(рисунок 4). При этом обмотка соединена согласно схеме для данного трансформатора (первичная и вторичная – в звезду).

3. Включить индикатор. При этом должны засветиться светодиод «К_н» и после автонастройки алфавитное показание «АВС» на мониторе.

Если на месте одного из символов «А», «В» или «С» высвечивается символ «—», то это указывает на обрыв соответствующей фазы и отсутствие необходимости выполнять дальнейшие рекомендации.

4. Нажать кнопку «ВЫБОР ФАЗ». При этом должны засветиться алфавитный символ «А» на мониторе и после автонастройки значение К_н фаз, к которым подключены зажимы «В» и «С» соединительного кабеля.

5. Нажать кнопку «ВЫБОР ФАЗ» еще раз. При этом должны засветиться алфавитный символ «В» на мониторе и после автонастройки значение К_н фаз, к которым подключены зажимы «А» и «С» соединительного кабеля.

6. Нажать повторно кнопку «ВЫБОР ФАЗ». При этом должны засветиться алфавитный символ «С» на мониторе и после автонастройки значение К_н фаз, к которым подключены зажимы «А» и «В» соединительного кабеля.

7. По величине наибольшего из измеренных К_н установить факт наличия или отсутствия в обмотке междувитковых замыканий, обрыва проводников, неправильного соединения схемы обмотки. Записать результаты.

8. Выключить индикатор и отключить от индикатора соединительный кабель.

9. На основе полученных данных с помощью прибора ИДО-05 сделать заключение о состоянии обмотки трансформатора.

Заключение

Безопасность преобразования и распределения электроэнергии в энергосистеме существенно зависит от технического состояния распределительных трансформаторов.

Для точной количественной оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов распределительных подстанций предложено использовать спектральный анализ сигналов обмотки.

Разработана методика технического обслуживания и ремонта силовых масляных трансформаторов распределительных подстанций по техническому состоянию на основе существующих методов диагностики.

Список литературы

1. Баширов М.Г., Хисматуллин А.С., Хуснутдинова И.Г. Применение барботажа в системе охлаждения силовых

трансформаторов / Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2014. – № 3. – С. 29–33.

2. Баширов М.Г., Хисматуллин А.С., Салиева Л.М., Зайнакова И.Ф. Совершенствование хроматографического метода оценки технического состояния силовых масляных трансформаторов / Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10 (часть 2). – С. 233–237.

3. Баширов М.Г., Хисматуллин А.С., Камалов А.Р. Исследование изменения теплопроводности масла при барботаже в системе охлаждения силовых трансформаторов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 338.

4. Муллакаев М.С. Ультразвуковая интенсификация технологических процессов добычи и переработки нефти, очистки нефтезагрязненных вод и грунтов. Дис. докт. техн. наук. Московский государственный университет инженерной экологии. – М.: 2011. – 391 с.

5. Филиппов А.И., Минлибаев М.Р., Хисматуллин А.С. Установка для исследования коэффициента температуропроводности в жидкости // Новые промышленные технологии. – 2010. – № 2. – С. 62–63.

6. Хисматуллин А.С., Гареев И.М. Исследование переноса интегрального параметра в жидкости с газовыми пузырьками // Экологические системы и приборы. – 2015. – № 7. – С. 38–42.

7. Хисматуллин А.С. Расчет теплового поля в силовых масляных трансформаторах с элегазовым охлаждением / Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2015. – № 2. – С. 23–30.

8. Хисматуллин А.С., Камалов А.Р. Повышение эффективности системы охлаждения мощных силовых трансформаторов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 6–2. – С. 316–319.

9. Хисматуллин А.С., Минлибаев М.Р., Аллагулов А.И. Контроль и управление технологическими параметрами системы охлаждения масляного трансформатора / Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвузовский сборник научных трудов // редкол.: В.А. Шабанов и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. – С. 121–123.

10. Хисматуллин А.С. Теоретическое и экспериментальное исследование теплопереноса в жидкости с газовыми пузырьками: дис. на соискание уч. ст. канд. физ.-мат. наук. – Уфа, 2010. – С. 14–16.

11. Хисматуллин А.С., Филиппов А.И., Минлибаев М.Р., Серебренников Н.П. Определение коэффициента транскляторного переноса при барботаже в жидкости // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – № 2. – С. 52–53.

12. Bashirov M.G., Minlibayev M.R., Hismatullin A.S. Increase of efficiency of cooling of the power oil transformers. Oil and Gas Business: electronic scientific journal. – 2014. – Issue 2. – P. 358–367.

13. Nigmatulin R.I., Filippov A.I., and Khismatullin A.S. Transcillatory heat transfer in a liquid with gas bubbles // Thermophysics and Aeromechanics. – 2012. – Vol. 19, № 4. – P. 589.

14. Хисматуллин А.С., Филиппов А.И. Исследование явлений переноса в жидкости с газовыми пузырьками при акустическом воздействии // Обозрение прикладной и промышленной математики. – М., 2008. – Т. 15, Выпуск № 1. – С. 179–180.

15. Хисматуллин А.С., Баширов М.Г., Исхаков Р.Р. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015614073 «Программа анализа выходных данных эксперимента по определению коэффициента температуропроводности трансформаторного масла с всплывающими элегазовыми пузырьками». Правообладатель: ФГБОУ ВПО «УГНТУ». Дата гос. регистрации 06.04.2015.

References

1. Bashirov M.G., Hismatullin A.S., Husnutdinova I.G. Primenenie barbotazha v sisteme ohlazhdeniya silovyyh trans-

formatorov / Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syrja. 2014. no. 3. pp. 29–33.

2. Bashirov M.G., Hismatullin A.S., Salieva L.M., Zainakova I.F. Sovershenstvovanie hromatograficheskogo metoda ocenki tehnikeskogo sostojanija silovyh masljanyh transformatorov / Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 10 (chast 2). pp. 233–237.

3. Bashirov M.G., Hismatullin A.S., Kamalov A.R. Issledovanie izmenenija teploprovodnosti masla pri barbotazhe v sisteme ohlazhdenija silovyh transformatorov // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6. pp. 338.

4. Mullakaev M.S. Ultrazvukovaja intensivifikacija tehnologicheskikh processov dobychi i pererabotki nefti, ochistki neftezagraznennyh vod i gruntov. Dis. dokt. tehn. nauk. Moskovskij gosudarstvennyj universitet inzhenernoj jekologii. M.: 2011. 391 p.

5. Filippov A.I., Minlibaev M.R., Hismatullin A.S. Ustanovka dlja issledovanija koeficienta temperaturoprovodnosti v zhidkosti // Novye promyshlennye tehnologii. 2010. no. 2. pp. 62–63.

6. Hismatullin A.S., Gareev I.M. Issledovanie perenosa integralnogo parametra v zhidkosti s gazovymi puzyrkami // Jekologicheskie sistemy i pribory. 2015. no. 7. pp. 38–42.

7. Hismatullin A.S. Raschet teplovogo polja v silovyh masljanyh transformatorah s jelegazovym ohlazhdeniem / Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syrja. 2015. no. 2. pp. 23–30.

8. Hismatullin A.S., Kamalov A.R. Povyshenie jeffektivnosti sistemy ohlazhdenija moshhnyh silovyh transformatorov // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 6–2. pp. 316–319.

9. Hismatullin A.S., Minlibaev M.R., Allagulov A.I. Kontrol i upravlenie tehnologicheskimi parametrami sistemy ohlazh-

denija masljanogo transformatora / Povyshenie nadezhnosti i jenergojeffektivnosti jelektrotehnikeskikh sistem i kompleksov: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov // redkol.: V.A. Shabanov i dr. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2014. pp. 121–123.

10. Hismatullin A.S. Teoreticheskoe i jeksperimentalnoe issledovanie teploperenosa v zhidkosti s gazovymi puzyrkami: dis. na soiskanie uch. st. kand.fiz.-mat. nauk. Ufa, 2010. pp. 14–16.

11. Hismatullin A.S., Filippov A.I., Minlibaev M.R., Serbrennikov N.P. Opredelenie koeficienta transilljatornogo perenosa pri barbotazhe v zhidkosti // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. 2010. no. 2. pp. 52–53.

12. Bashirov M.G., Minlibaev M.R., Hismatullin A.S. Increase of efficiency of cooling of the power oil transformers. Oil and Gas Business: electronic scientific journal. 2014, Issue 2, pp. 358–367.

13. Nigmatulin R.I., Filippov A.I., and Hismatullin A.S. Transcillatory heat transfer in a liquid with gas bubbles // Thermophysics and Aeromechanics. 2012. Vol. 19, no. 4. pp. 589.

14. Hismatullin A.C., Filippov A.I. Issledovanie javlenij perenosa v zhidkosti s gazovymi puzyrkami pri akusticheskom vozdejstvii // Obozrenie prikladnoj i promyshlennoj matematiki. M., 2008. T. 15, Vypusk no. 1. pp. 179–180.

15. Hismatullin A.S., Bashirov M.G., Ishakov R.R. Svidetelstvo o gosudarstvennoj registracii programm dlja JeVM no. 2015614073 «Programma analiza vyhodnyh dannyh jeksperimenta po opredelenija koeficienta temperaturoprovodnosti transformatornogo masla s vsplyvajushimi jelegazovymi puzyrkami». Pravoobladatel: FGBOU VPO «UGNTU». Data gos. registracii 06.04.2015.