

К вопросу определения уровня влагосодержания в трансформаторном масле

Аннотация. Автором в данной статье рассматривается вопрос регенерации трансформаторного масла в лабораторных условиях с применением ротационного испарителя. Цель исследования состоит в повышении электроизоляционных свойств методом удаления излишнего количества влаги из состава масла. Ротационный испаритель, работая при пониженном давлении, нагревая масло, удаляет содержащуюся в виде осадка или эмульсии влагу, тем самым повышая электроизоляционные свойства масла и снижая его окислительные свойства. Испытание носит лабораторный характер и имеет вес испытуемого образца 1 килограмм. В процессе испытаний был использован ротационный испаритель Heidolph серии Hei-VAP Precision 2018 года выпуска (Германия). Испытание образца проводилось на базе дорожной лаборатории научно-производственного центра «ENU-Lab», созданной в рамках государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан. Были получены основные результаты, а именно: количество выделенной влаги (W) в процентах за счет разницы массы до и после испытания образца. Полученные результаты были сопоставлены с требованиями действующей на территории Республики Казахстан нормативно-технической документации. Сравнительные данные позволяют сделать выводы о необходимости снижения влагосодержания из состава поставляемого на рынок трансформаторного масла, путем применения ротационного испарителя в виде основного инструмента для достижения этой цели. Результаты могут быть использованы в практических целях с созданием установок промышленного масштаба. Также с помощью полученных результатов есть возможность обозначить необходимость внедрения данной технологии, в виде дополнительной, на ныне существующих заводах по производству трансформаторного масла.

Ключевые слова: растворитель, электрическая прочность, ротационный испаритель.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-74-79

Введение

Функционирование энергетических установок в процессе производства, передачи и распределения электрической энергии относится к процессам высокой ответственности. Такие установки должны обеспечивать высокую надежность, безаварийность, энергоэффективность и безопасность работы [4]. Однако обеспечение вышеперечисленных требований, в первую очередь, зависит от уровня квалифицированности обслуживающего электрооборудования персонала и от качества расходных и комплектующих материалов, используемых в работе.

Силовые трансформаторы, являясь ключевым объектом электрических станций и подстанций, выполняют функции преобразования одной величины переменного напряжения в другую. Таким образом, показателем высокой надежности распределительных сетей принято считать бесперебойную работу силовых трансформаторов, а именно

техническую исправность и качественное обслуживание. В связи со сложностью конструктивного исполнения силовых трансформаторов оборудование имеет различные механизмы и устройства, которые подлежат замене и ремонту. Иными словами, данную категорию можно охарактеризовать как запасные и комплектующие части (ЗИП). К другой категории, к категории расходных материалов, стоит отнести масло и другие жидкости, предназначенные для обслуживания трансформатора. Изучим подробнее вопрос влияния состава трансформаторного масла на работу трансформатора.

Трансформаторное масло предназначено для изоляции токоведущих частей и узлов силового трансформатора, а также для защиты изоляции обмоток от влагонасыщения. Состав и назначение масла позволяют выполнять функции среды для гашения электрической дуги. С течением времени состав трансформаторного масла в процессе эксплуатации меняется, подвергаясь термохимическому и электрическому старению, и повышается процент влагосодержания за счёт ее выделения из бумажной изоляции и воздействия условий окружающей среды (температура, солнечные лучи, воздух и др.) [3].

В связи с этим представляется актуальным вопрос регенерации трансформаторного масла.

Методы

Повышение электроизоляционных свойств трансформаторного масла в лабораторных условиях путем удаления влаги из его состава с помощью ротационного испарителя.

Принцип работы роторных испарителей основан на зависимости скорости испарения жидкости от температуры, давления и площади поверхности испарения (так называемое «зеркало»). Как правило, скорость испарения почти прямо пропорциональна поверхности испарения. Более тонкие слои жидкости испаряются заметно быстрее, чем более толстые. С увеличением разрежения температура кипения жидкости понижается, и для жидкостей, имеющих сравнительно невысокую температуру кипения, можно добиться таких условий, что жидкость будет кипеть даже при комнатной температуре. Сущность пленочного испарения заключается в том, что на стенке сосуда-испарителя образуют тем или иным способом тонкую пленку раствора, а это увеличивает поверхность испарения. Пленочное испарение можно проводить в сочетании с созданием вакуума при низкой температуре.

В процессе испытаний был использован ротационный испаритель Heidolph серии Hei-VAP Precision 2018 года выпуска (Германия).

В зависимости от конфигурации роторного испарителя возможно различное применение: дистилляция, сушка, концентрация, кипячение с обратным холодильником, рециркуляция растворителя, экстракция по методу Сокслета, перекристаллизация.

Обсуждение

Показатель растворимости воды в трансформаторном масле очень низкий. С точки зрения молекулярной теории незначительная растворимость воды в нефтяных продуктах объясняется громадным различием в размерах молекул углеводородов, из которых состоит масло, и молекул воды. Суммарное поле межмолекулярных сил, создаваемое при взаимодействии этих двух типов молекул, препятствует смешению обеих жидкостей. Концентрация воды в трансформаторных маслах, как и в других углеводородных жидкостях, при данной температуре в равновесном состоянии пропорциональна относительной влажности воздуха [5].

На практике встречается множество различных способов регенерации трансформаторного масла, в том числе и наличие установок промышленного масштаба по полной очистке трансформаторного масла на работающем и выведенном из строя трансформаторе. Однако такие установки характерны направленным воздействием на некоторые способы очистки, а именно: на очистку масла способом фильтрования и абсорбционной обработки [1]. В результате такой регенерации трансформаторное масло уже не обладает заводскими свойствами и имеет процент влагосодержания значительно

выше нормируемых значений [2]. Существующее понятие «сушка масла» подразумевает процесс распыления нагретого масла в вакууме и несколько схоже с процессом влагоудаления с помощью ротационного испарителя.

В лабораторных условиях испытательной лаборатории научно-производственного центра «ENU-Lab» было проведено испытание неотработанного трансформаторного масла объемом 1 килограмм путем помещения образца в ротационный испаритель и нагрева выше 34°C - температура кипения воды при пониженном давлении - 40 миллиметров ртутного столба (справочные данные), с выдержкой времени более 1 часа [5].

Используемое оборудование: ротационный испаритель Heidolph серии Hei-VAP Precision – 1 единица, весы аналитические АУ-120 – 1 единица, испарительная колба – 1 единица, мерный стакан – 2 единицы.

Рисунок 1 демонстрирует растворимость воды в трансформаторных маслах при различных значениях относительной влажности воздуха.



Рисунок 1. Растворимость воды в трансформаторных маслах при различных значениях относительной влажности воздуха

Практическая ценность и значимость повышения электроизоляционных свойств трансформаторного масла очень высока, однако выбранная методика не позволяет осуществить регенерацию промышленных объемов масла.

Стоит отметить, что показатель влажности для каждого типа высоковольтного оборудования имеет разные значения, что характеризует специфику их работы. В нашем случае проводить анализ для каждой единицы оборудования не является приоритетной задачей. Нам необходимо максимально произвести снижение уровня влаги в трансформаторном масле, путем нагрева самого масла. И в тех случаях, когда уровень будет достигать минимального значения, высоковольтное оборудование будет качественнее функционировать.

Результаты

Проведенный в лабораторных условиях эксперимент выявил снижение массы 1 килограмма трансформаторного масла до 971 грамма, что позволяет рассчитать потерю влаги в процентах $W=2,9\%$. Созданные температурные условия не дают возможности испарения сложных химических соединений, так как их температура испарения гораздо выше температуры испарения 34°C (при низком давлении для воды).

Таким образом, на каждый килограмм трансформаторного масла, производимого или же ввозимого на территорию Республики Казахстан, показатель влагосодержания в среднем достигает 2,9% или же 29 граммов. Полученные результаты позволяют произвести расчёт для силового трансформатора ТДН-16000/110/10, где полный вес заливаемого трансформаторного масла составляет 8150 килограммов. В этом случае при использовании рассматриваемой методики с использованием ротационного испарителя масло весом 8150 килограммов уменьшится до ≈ 7913 килограммов. Разница составляет ≈ 237 килограммов. Таким образом, ≈ 237 килограммов влагосодержащего растворителя, которые можно выделить из общего объема используемого трансформаторного масла, в отрицательной степени оказывают негативное воздействие на работу силового трансформатора, снижая его электроизоляционные и повышая окислительные свойства.

Рисунок 2 демонстрирует процесс удаления влаги с помощью ротационного испарителя в 1 килограмме трансформаторного масла.

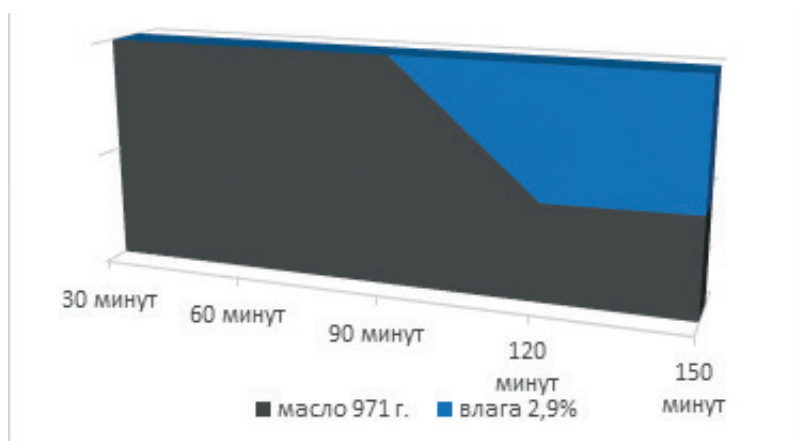


Рисунок 2. Процесс удаления влаги с помощью ротационного испарителя в 1 килограмме трансформаторного масла

В процессе эксплуатации силового трансформатора значение влагосодержания трансформаторного масла будет расти. Причиной этому послужит стареющая бумажная изоляция токоведущих частей силового трансформатора, термохимическое и электрическое старение самого трансформаторного масла.

Нормативно-правовая документация не содержит прописанного значения влагосодержания в трансформаторном масле, лишь регламентирует необходимость снижения и ее отрицательное воздействие. Поэтому ответственность за поставляемую продукцию и качество трансформаторного масла возлагается на заводы-изготовители данной продукции. Однако проведенное испытание показывает, что качество используемого трансформаторного масла оставляет желать лучшего и нуждается в ее повышении.

Выводы

Проведенное испытание носит научно-исследовательский характер, так как объемы и вес испытываемого образца несопоставимы с объемами масла, заливаемого в силовой трансформатор, который достигает десятков тонн. Предложенная методика регенерации трансформаторного масла может послужить развивающей силой для создания установок промышленных масштабов, где цикл производства трансформаторных масел должен завершаться его дополнительной сушкой с целью удаления влаги.

Такие установки найдут свое применение в цехах производства как завершающая или дополнительная ступень обработки производимого трансформаторного масла, снижающая уровень влагосодержания в продукции.

Список литературы

1. Васильева В.Я., Дробиков Г.А., Лагутин В.А. Эксплуатация электрооборудования электрических станций и подстанций / ВНИИР. – 2000. – с. 93.
2. Лизунова С.Д., Лоханина А.К. Силовые трансформаторы, Справочная книга / ВНИИР. – 2004. – с. 147.
3. Method of fuels and lubricants performance properties requirements management // The 25th State Research Institute of Himmotology, Ministry of Defense of the Russian Federation. - №173 – P. 216.
4. M. Unge, S. Singha, S. Ingebrigtsen, D. Linhjell, and L. E. Lundgaard, «Influence of molecular additives on positive streamerpropagation in ester liquids» in 2014 IEEE 18th Int. Conf. on Dielectric Liquids (ICDL), Jun. 2014, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICDL.2014.6893129.
5. V. Czitrom, “One-Factor-at-a-Time versus Designed Experiments,” The American Statistician, vol. 53, no. 2, pp. 126–131, 1999, doi: 10.2307/2685731.
6. Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года».
7. РД 34.43.107-95 - Методические указания по определению содержания воды и воздуха в трансформаторном масле.

Трансформатор майын зертханалық жағдайда регенерациялау

Р.В. Рахимов

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада автор айналмалы буландырғышты қолдана отырып, зертханалық жағдайда трансформатор майын қалпына келтіру мәселесін қарастырады. Зерттеудің мақсаты – майды құрамынан артық ылғалды кетіру арқылы электрлік оқшаулау қасиеттерін арттыру. Айналмалы буландырғыш төмен қысымда жұмыс істейді, майды қыздырады, тұнба немесе эмульсия түріндегі ылғалды кетіреді, осылайша майдың электрлік оқшаулау қасиеттерін арттырады және оның тотығу қасиеттерін төмендетеді. Сынақ зертханалық сипатта болады және сыналатын үлгінің салмағы 1 килограмм болады. Сынақ барысында 2018 жылы шығарылған Hei-VAP Precision (Германия) сериялы HEIDOLPH айналмалы буландырғышы қолданылды. Үлгіні сынау Қазақстан Республикасының индустриалды-инновациялық даму мемлекеттік бағдарламасының шеңберінде құрылған «ENU-Lab» ғылыми-өндірістік орталығының жол зертханасының базасында жүргізілді. Негізгі нәтижелер алынды, атап айтқанда: шығарылған ылғалдың мөлшері (W) пайызбен, үлгінің сынағына дейін және одан кейінгі масса айырмашылығына байланысты. Алынған нәтижелер Қазақстан Республикасының аумағындағы қолданыстағы нормативтік-техникалық құжаттаманың талаптарымен салыстырылды. Салыстырмалы деректер осы мақсатқа жету үшін негізгі құрал ретінде айналмалы буландырғышты қолдану арқылы нарыққа жеткізілетін трансформатор майының құрамынан ылғал құрамын азайту қажеттілігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Нәтижелер өнеркәсіптік масштабтағы қондырғыларды құру арқылы практикалық мақсаттарда қолданыла алады. Сондай-ақ, алынған нәтижелердің көмегімен трансформатор майын шығаратын зауыттарда осы технологияны қосымша түрінде енгізу қажеттілігін белгілеуге болады.

Түйін сөздер: еріткіш, диэлектрлік беріктік, айналмалы буландырғыш.

Regeneration of transformer oil under laboratory conditions

R. Rakhimov

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Abstract. The author of the article considers the issue of transformer oil regeneration under laboratory conditions using a rotary evaporator. The purpose of the study is to improve the electrical insulation properties by removing excess moisture from the oil composition. The rotary evaporator, working at

reduced pressure, heats the oil, removes the moisture contained in the form of sediment or emulsion, thereby increasing the electrical insulation properties of the oil and reducing its oxidizing properties. The test is of a laboratory nature and has a test sample weight of 1 kilogram. During the testing process, a Heidolph rotary evaporator of the Hei-VAP Precision series, manufactured in 2018 (Germany), was used. The test of the sample was carried out on the basis of the road laboratory of the research and production center "ENU-Lab", created in the framework of the state program of industrial and innovative development of the Republic of Kazakhstan. The main results were obtained, namely: the amount of moisture released (W) as a percentage, due to the difference in mass before and after the test of the sample. The results obtained were compared with the requirements of the current regulatory and technical documentation on the territory of the Republic of Kazakhstan. Comparative data allow us to draw conclusions about the need to reduce the moisture content of the transformer oil supplied to the market, by using a rotary evaporator as the main tool to achieve this goal. The results can be used for practical purposes with the creation of industrial-scale installations. Also, with the help of the obtained results, it is possible to indicate the need for the introduction of this technology, in the form of an additional one, at the existing plants for the production of transformer oil.

Keywords: solvent, dielectric strength, rotary evaporator.

References

1. Vasilyeva V.Ya. Drobikov G.A. Lagutin V.A. Operation of electrical equipment of power stations and substations / VNIIR. – 2000. – p. 93.
2. Lizunova S. D., Lokhanina A. K. Power transformers, Reference book / VNIIR. - 2004. - p. 147.
3. Method of fuels and lubricants performance properties requirements management // The 25th State Research Institute of Himmotology, Ministry of Defense of the Russian Federation. - №173 – P. 216.
4. M. Unge, S. Singha, S. Ingebrigtsen, D. Linhjell, and L. E. Lundgaard, «Influence of molecular additives on positive streamerpropagation in ester liquids» in 2014 IEEE 18th Int.Conf.on Dielectric Liquids (ICDL), Jun. 2014, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICDL.2014.6893129.
5. V. Czitrom, "One-Factor-at-a-Time versus Designed Experiments," The American Statistician, vol. 53, no. 2, pp. 126–131, 1999, doi: 10.2307/2685731.
6. Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated June 28, 2014 No. 724 "On approval of the Concept of development of the fuel and energy complex of the Republic of Kazakhstan until 2030".
7. RD 34.43.107-95-Guidelines for determining the water and air content in transformer oil.

Сведения об авторе:

Р.В. Рахимов – докторант, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, ул. Пушкина, 11, Астана, Казахстан.

Р.В. Рахимов – докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Пушкин көш., 11, Астана, Қазақстан.

R. Rakhimov – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 11 Pushkin St., Astana, Kazakhstan.