

Научная статья

УДК 533.583:621.315.615.2

СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

Денис Нафисович Ахтаров¹, Татьяна Александровна Чудинова²,
Георгий Владиславович Чумарный³

^{1, 2, 3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ ahtarov.denis@yandex.ru

² ctx49@yandex.ru

³ g09t@yandex.ru

Аннотация. Отработанные трансформаторные масла содержат в своем составе много вредных веществ, поэтому проблема утилизации является актуальной. Отмечается ряд задач, возникающих в связи с этим. Рассматриваются основные методы регенерации отработанных трансформаторных масел.

Ключевые слова: трансформаторное масло, адсорбционная очистка, перколяционный метод

Для цитирования: Ахтаров Д. Н., Чудинова Т. А., Чумарный Г. В. Сравнение способов адсорбционной очистки при регенерации отработанного трансформаторного масла // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 875–879.

Original article

COMPARISON OF ADSORPTION CLEANING METHODS FOR REGENERATION OF USED TRANSFORMER OIL

Denis N. Akhtarov¹, Tatyana A. Chudinova², Georgy V. Chumarny³

^{1, 2, 3} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ ahtarov.denis@yandex.ru

² ctx49@yandex.ru

³ g09t@yandex.ru

Abstract. Waste transformer oils contain a lot of harmful substances in their composition, so the problem of utilization is urgent. A number of tasks arising in this connection are noted. The basic methods of regeneration of used transformer oils are considered.

Keywords: transformer oil, adsorption cleaning, percolation method

For citation: Akhtarov D. N., Chudinova T. A., Chumarny G. V. (2025) Sravnenie sposobov adsorbtsionnoi ochistki pri regeneratsii otrabotannogo transformatornogo masla [Comparison of adsorption cleaning methods for regeneration of used transformer oil]. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : proceedings of the XXI All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2025. Pp. 875–879. (In Russ).

В состав предприятий электроэнергетики входят организации, которые не только перерабатывают энергоресурсы, но и производят электроэнергию и доставляют ее непосредственно потребителю. Поэтому электроэнергетика является одной из ключевых отраслей жизнеобеспечения, которая оказывает значительное влияние на развитие национальной и мировой экономики.

В соответствии с данными на 2023-й г., представленными Федеральной службой государственной статистики, объем производства электроэнергии составил порядка 1350 млрд кВт·ч, что на 0,4 % превышает показатель предыдущего года. Уже четвертый год подряд наблюдается тенденция к увеличению потребления смазочных материалов, в том числе «чистых» и отработанных трансформаторных масел.

При грамотной эксплуатации трансформаторное масло может прослужить около 25 лет, но за этот период в результате процессов окисления и термического разложения масло накапливает смолисто-асфальтеновые и поверхностно-активные вещества, кислоты, разнообразные соли и оксиды металлов. Вследствие чего перестают выполняться требования технической документации, предъявляемые к маслам (речь идет об основных физико-химических показателях, требованиях к химической чистоте). Возникает необходимость замены и дальнейшей утилизации такого масла [1].

Использованные трансформаторные масла в своем составе содержат отравляющие соединения, обладают токсичными, канцерогенными и мутагенными свойствами. Наиболее опасными являются хлорзамещенные производные бифенила и дифенилбензолы, диоксины, также бензапирен и фурановые производные (фурфурол, ацетилфуран и др.).

Отходы масел могут накапливаться в воде и почве, при попадании в организм человека вызывают сильное отравление, могут привести к злокачественным образованиям и хроническим заболеваниям органов дыхания. Поэтому отработанные трансформаторные масла необходимо утилизируют.

вать. Одна из мер по сохранению экологического равновесия – многократное использование трансформаторного масла по прямому назначению.

В Российской Федерации, по официальным данным, образуется порядка 4 млн т отработанных смазочных материалов, в том числе и трансформаторное масло, но из них идет на вторичную переработку лишь 15 %, а остальное сжигается в виде мазута на тепловых электростанциях.

Химическая чистота – основной и главный показатель всех методов регенерации, благодаря которому можно понять, возможно ли повторно использовать трансформаторные масла.

Для повышения эффективности процесса регенерации необходимо предпринять ряд шагов: осушить масло, удалить растворенные примеси углеродородной природы, подавить окисление с помощью присадки, удалить механические примеси и металлоорганические соединения, увеличить электрическую прочность.

Несмотря на огромное количество различных технологий регенерации отработанных трансформаторных масел энергосистемы, ключевыми факторами при выборе метода очистки являются экологические и экономические аспекты. Процесс должен отличаться не только экономической целесообразностью и минимальным уровнем отходов, но и быть высокоэффективным. Именно поэтому адсорбционный метод в сравнении с другими технологиями очистки является наиболее эффективным.

Существует три основных способа адсорбционного метода, которые в настоящее время используются для очистки трансформаторных масел: *перколяционный, контактный и метод противотока.*

Недостатком контактного способа очистки является необходимость утилизации большого количества адсорбента, загрязняющего окружающую среду. Основным недостатком метода противотока является сложное и дорогостоящее оборудование.

Использование современных сорбентов в технологической схеме адсорбционной очистки трансформаторного масла позволяет снизить уровень отходов и повысить эффективность восстановительного процесса. Единственным и важным минусом модернизированного метода очистки является высокая стоимость синтетического сорбента (используется преимущественно силикагель).

Для того, чтобы улучшить восстанавливающие способности и сократить расход синтетического сорбента, применима методика активизации адсорбента аммиаком в газообразной форме (для этой цели используют аммиак в баллонах).

Пользуясь методикой, разработанной во всесоюзной организации «Реготмас», восстановление отработанных трансформаторных масел активизированным аммиаком проводят в следующей последовательности:

1. Проверка остаточного влагосодержания силикагеля.
2. Загрузка синтетического сорбента в адсорбер.

3. Замыкание цепи «аммиак-адсорбер». Подсоединение баллона с аммиаком к адсорберу осуществляется через редуктор к одному из патрубков осушительного адсорбера. Давление в баллоне напрямую зависит от температуры окружающей среды (не должна превышать 35 °С). Второй патрубок баллона с аммиаком соединяют с нижним патрубком адсорбера непосредственно для процесса восстановления масла.

4. Подача в адсорбер газообразного аммиака и выпуск его избыточного количества из системы. При протекании процесса необходимо поддерживать следующие условия: давление 0,2...0,4 атм., время 10...15 мин.

5. Подача в адсорбер загрязненного трансформаторное масло [2].

Стоит учитывать и тот факт, что оптимальные условия регенерации должны подбираться в зависимости от влагосодержания в сорбенте, степени старения и уровня загрязненности масла.

Для повышения эффективности восстановления трансформаторного масла с применением перколяционного метода фильтрования через зернистые адсорбенты необходимо использовать несколько последовательно подключенных адсорберов, заряженных по ходу поступления масла адсорбентами – активированным и неактивированным аммиаком [3].

Выводы

1. На основе проведенного анализа предлагается следующая классификация методов адсорбционной очистки отработанного трансформаторного масла:

по способу регенерации:

- *перколяционный метод*: отработанное масло фильтруется через слой зернистого адсорбента (силикагель);
- *контактный метод*: восстановленное масло контактирует с порошкообразным адсорбентом при определенной температуре [4];

по использованию адсорбентов:

- активированный аммиак: насыщенный аммиаком адсорбент используется для регенерации масла;
- неактивированный аммиак: свежий адсорбент, не обработанный аммиаком, применяется для дополнительной очистки масла.

2. Авторы выделяют преимущества перколяционного метода:

- простота организации и легкость поддержания условий протекания технологических процессов;
- экологическая безопасность и экономическая целесообразность благодаря многократному использованию и обработке сорбента газообразным аммиаком;
- высокое качество регенерированного масла, химические свойства которого практически не уступают качеству свежего продукта.

3. Внедрение перколяционного метода регенерации позволяет значительно уменьшить затраты на потребление электроэнергии, при этом

чистота очищенного отработанного трансформаторного масла существенно выше, чем при других, широко применяемых в настоящее время методах.

Список источников

1. СТО 70238424.27.100.053–2013. Энергетические масла и маслохозяйства электрических станций и сетей организация эксплуатации и технического обслуживания, нормы и требования : стандарт организации. Введен 28.02.2013. М. 163 с.

2. Липштейн Р. А., Шахнович М. И. Трансформаторное масло. 6-е изд., перераб. М., 2009. 352 с.

3. И. В. Брай. Регенерация трансформаторных масел. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Химия, 2002. 168 с.

4. Сапожникова В. А. Экологически безопасное обращение с отходами на предприятии // Промышленная безопасность. Энергетика. Экология. 2005. Прил. к № 4. С. 71–80.