

УДК 621.889

## АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ОТРАБОТАННОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ МОНТМОРИЛЛОНИТСОДЕРЖАЩИХ СОРБЕНТОВ

Е.О. Коваль, М.С. Богомолов, Э.А. Майер, В.Г. Бондалетов\*

Томскнефтехим, г. Томск

\*Томский политехнический университет

E-mail: bondaletov@tomsknet.ru

*Исследованы возможности адсорбционной контактной очистки отработанных трансформаторных масел активированными монтмориллонитсодержащими сорбентами серии «Filtrol» корпорации BASF Catalysts LLC и сорбентом Зикеевского месторождения М-80. Использование сорбента марки F-160 серии «Filtrol» в процессе очистки отработанных масел позволяет добиться показателей качества регенерированного трансформаторного масла, допускающих его повторное использование в оборудовании с рабочим напряжением до 750 кВ.*

Минеральные масла в процессе эксплуатации постепенно претерпевают глубокие изменения в результате накопления в них продуктов окисления и деструкции углеводородной основы, продуктов уплотнения смол, а также продуктов износа и коррозии конструкционных материалов и внешних загрязнений [1]. Очистка и регенерация масел являются наиболее перспективными направлениями вторичного использования ресурсов, решающими проблемы как экономического, так и экологического характера.

Для очистки отработанных масел используют те же способы, что и для очистки базовых масел – дистилляция, кислотно-щелочная очистка, очистка селективными растворителями, контактная (адсорбционная) очистка, гидроочистка. Обработка масел, содержащих растворенные продукты старения, адсорбентами, например, естественными или активированными отбеливающими глинами, является эффективным и простым в технологическом оформлении способом очистки масел [2, 3].

В качестве объектов исследования выбраны образцы отработанных минеральных трансформаторных масел, слабозагрязненного (МСО-1) и сильнозагрязненного (МСО-2), непригодных для дальнейшей эксплуатации по таким показателям качества, как кислотное число, цветность, тангенс угла диэлектрических потерь, напряжение пробоя.

На основании анализа литературных данных и доступности продуктов на отечественном рынке для исследования контактной очистки масел выбраны сорбенты отечественного и импортного производства (табл. 1).

Оптимальные технологические параметры адсорбционной очистки отработанных масел, рекомендуемые производителем сорбента, следующие: после удаления воды центрифугированием в масло вводят 0,5...10 % адсорбента при температуре 80...120 °С и перемешивают смесь в течение 30...60 мин. Адсорбент отделяют от масла фильтрованием. Для оценки эффективности сорбентов проводили контактную очистку проб отработанных масел при температуре 100...110 °С и времени контакта 60 мин. с использованием 5 % адсорбента (табл. 2).

**Таблица 1.** Характеристика исходных сорбентов

Наименование	Марка	Минеральный состав	Производитель	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
Земля отбеливающая Зикеевского месторождения	М-80	Опал-кристаллит, монтмориллонит, незначительные примеси кварца и клиноптилита	ЗАО «Сорбент» Россия	Нет данных	80...200
Активированные адсорбенты серии Filtrol	F-1 F-160 F-105SF F-24 Mb LVM	Основной компонент – монтмориолонит	Корпорация BASF Catalysts LLC	500...800	250...400

В качестве экспресс-методов испытаний для оценки качества вторичных рафинатов использовали значения кислотного числа, определяемого в соответствии с методикой [4], и коэффициента пропускания. Коэффициент пропускания измеряли с помощью фотоколориметра КФК-2 по отношению к дистиллированной воде в кюветках толщиной 10 мм при длине волны  $\lambda=490$  нм.

Из данных, приведенных в табл. 2, следует, что наиболее эффективным адсорбентом для очистки как сильно загрязненных (МСО-2), так и слабо загрязненных (МСО-1) масел, является Filtrol F-160.

Степень очистки рафината зависит от количества адсорбента, времени контакта сорбента с маслом и температуры проведения процесса. Влияние данных параметров на степень очистки отобранных образцов масел определяли с использованием сорбентов Filtrol F-160 и М-80. Последний представлял интерес из-за его низкой стоимости (5 р за 1 кг по сравнению с 23 р за 1 кг Filtrol F-160).

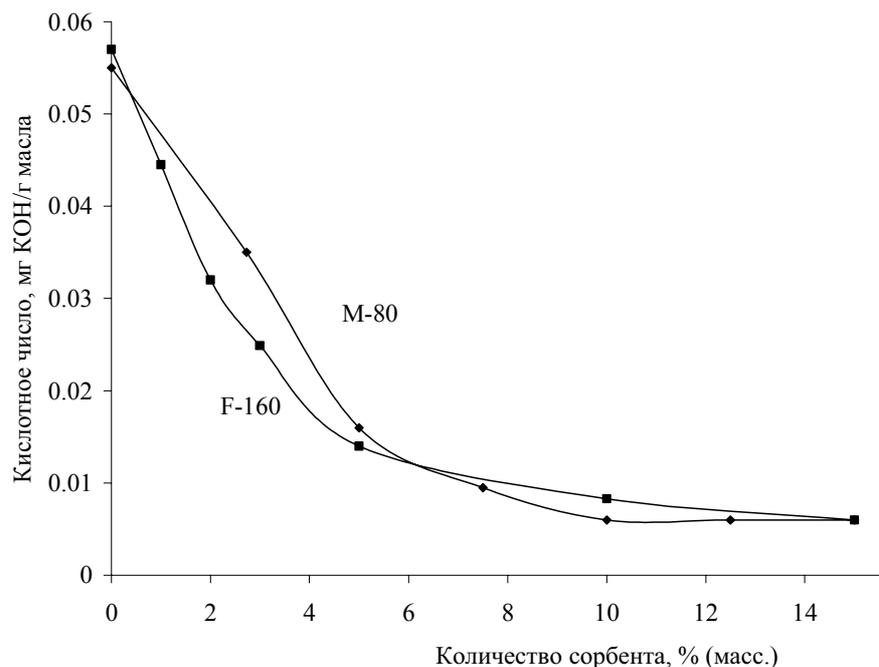
При выборе оптимального количества сорбента процесс очистки проводили при температуре 100...110 °С и времени контакта 60 мин. Значение кислотного числа рафината, удовлетворяющее требованиям нормативной документации [5], достигается при использовании 4 % адсорбента F-160 и 5 % адсорбента М-80 (рис. 1).

**Таблица 2.** Сравнение качества очистки масел различными сорбентами

Масло трансформаторное селективной очистки	Марка сорбента	Кол-во сорбента, мас. %	Кислотное число, мг КОН на 1 г масла	Коэффициент пропускания, %
Свежее МСО	–	–	0,004/0,02*	85...90
Отработанное МСО-1	–	–	0,018	31
Регенерированное МСО-1	F-160	2,5	0,014	84
	F-1		0,018	86
	F-24		0,014	52
	F-105SF		0,012	71
	MB LVM 30/60		0,007	44
	M-80		0,015	53
Отработанное МСО-2	–	–	0,053	9
Регенерированное МСО-2	F-160	5	0,016	66
		10	0,006	87
	F-1	5	0,021	63
		10	0,017	79
	F-24	5	0,034	21
		10	0,016	48
	F-105SF	5	0,023	48
		10	0,015	73
	MB LVM 30/60	5	0,017	16
		10	0,014	22
	M-80	5	0,014	23
		10	0,010	29

\* Максимальное значение по ГОСТ, ограничивающее дальнейшее использование данного продукта

Добиться значения коэффициента пропускания, соответствующего свежему маслу селективной очистки, удастся при использовании не менее 10 % адсорбента F-160. Применение сорбента M-80 даже в количестве 25 % не позволяет достичь требуемого показателя для отработанного масла (рис. 2).

**Рис. 1.** Зависимость кислотного числа рафината от количества используемого адсорбента

Для определения оптимальной температуры процесса провели ряд экспериментов при одном и том же массовом соотношении сорбент:масло. При проведении процесса адсорбции при температуре 110 °С достигнуто снижение значения кислотного числа до показателей, соответствующих свежему маслу за время контакта, равное 15...20 мин при использовании 10 % адсорбента F-160 (рис. 3). При снижении температуры до 90 или 20 °С аналогичные результаты достигаются при времени контакта 45 и 60 мин, соответственно.

Достигнуть величины коэффициента пропускания, соответствующего требованиям нормативных документов, удается только при температуре процесса выше 90 °С. Проведение процесса адсорбции при 110 °С позволяет получить рафинат с коэффициентом пропускания, удовлетворяющим требованиям к свежему маслу, за время контакта 50...60 мин (рис. 4). При использовании сорбента M-80 в аналогичных условиях не удается получить рафинат с высоким коэффициентом пропускания.

**Таблица 3.** Электроизоляционные свойства рафинатов

Наименование сорбента	Кол-во сорбента, мас. %	Напряжение пробоя при частоте 50 Гц, кВ	Тангенс угла диэлектрических потерь при 90 °С, %
F-160	5	70	0,5
F-160	10	80	0,48
M-80	10	63	2,23

Электроизоляционные свойства трансформаторных масел определяются тангенсом угла диэлектрических потерь и напряжением пробоя. Сорбционная очистка масел значительно снижает содержание кислотных групп и, соответственно, повышает диэлектрическую прочность масла. Сорбционная очистка масла МСО-2 отбеливающей глиной M-80

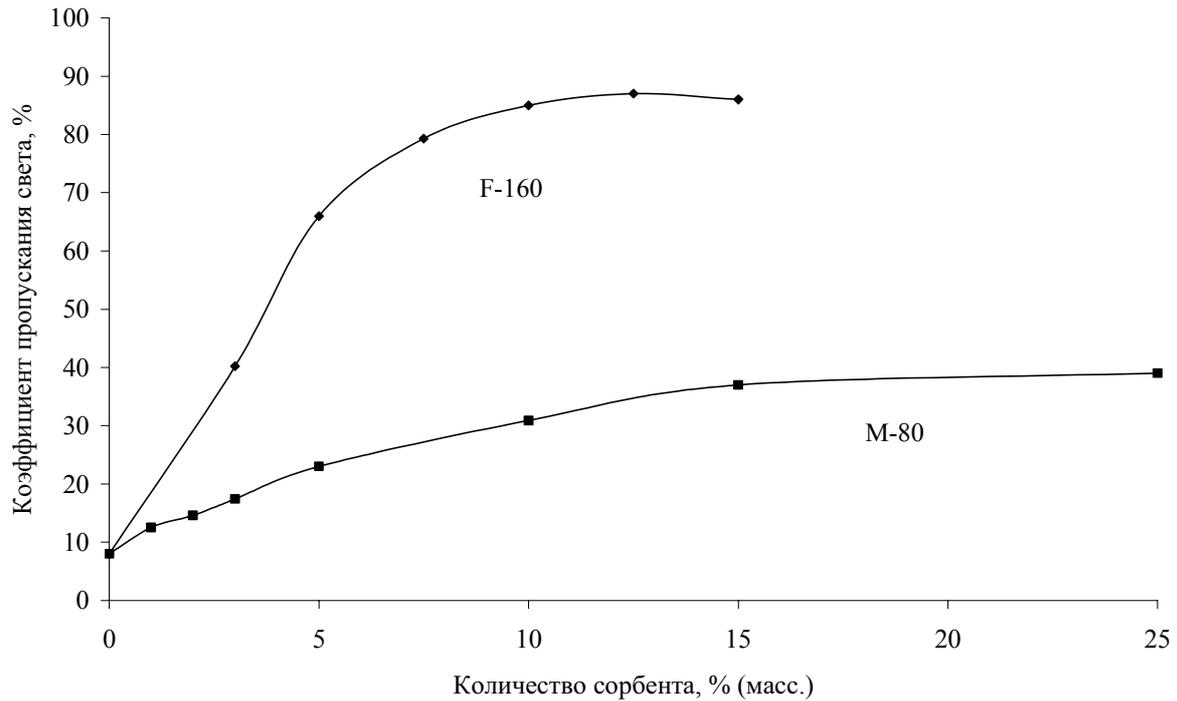


Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания рафината от количества сорбента

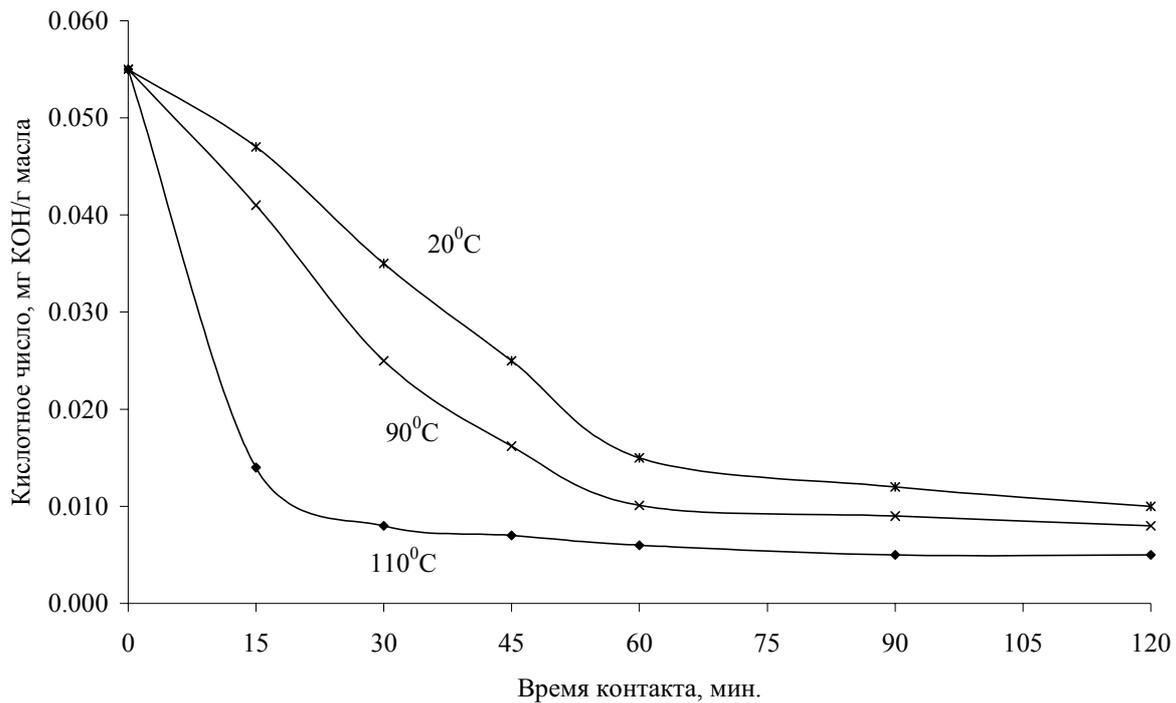


Рис. 3. Зависимость кислотного числа рафината от температуры и времени процесса

при 100...110 °С в течение 60 мин позволяет снизить тангенс угла диэлектрических потерь с 80,4 % для отработанного масла МСО-2 до 2,23 % для рафината (табл. 3). Filtrol F-160, примененный в аналогичных условиях в количестве 5 мас. %, снижает величину тангенса угла диэлектрических потерь до 0,5 %, что значительно ниже, чем это требует ГОСТ 10121-76 на свежее масло (1,7 %). Очистка масел сорбентами М-80 и Filtrol F-160 с последующим

кондиционированием позволяет достичь показателя напряжения пробоя до 80 кВ (табл. 3), что позволяет использовать данные масла в электрооборудовании с рабочим напряжением до 750 кВ [6].

Таким образом, наиболее эффективным для регенерации отработанных трансформаторных масел является сорбент F-160 корпорации BASF Catalysts LLC. Очистка сорбентом F-160 с последующим кондиционированием позволяет достичь величини-

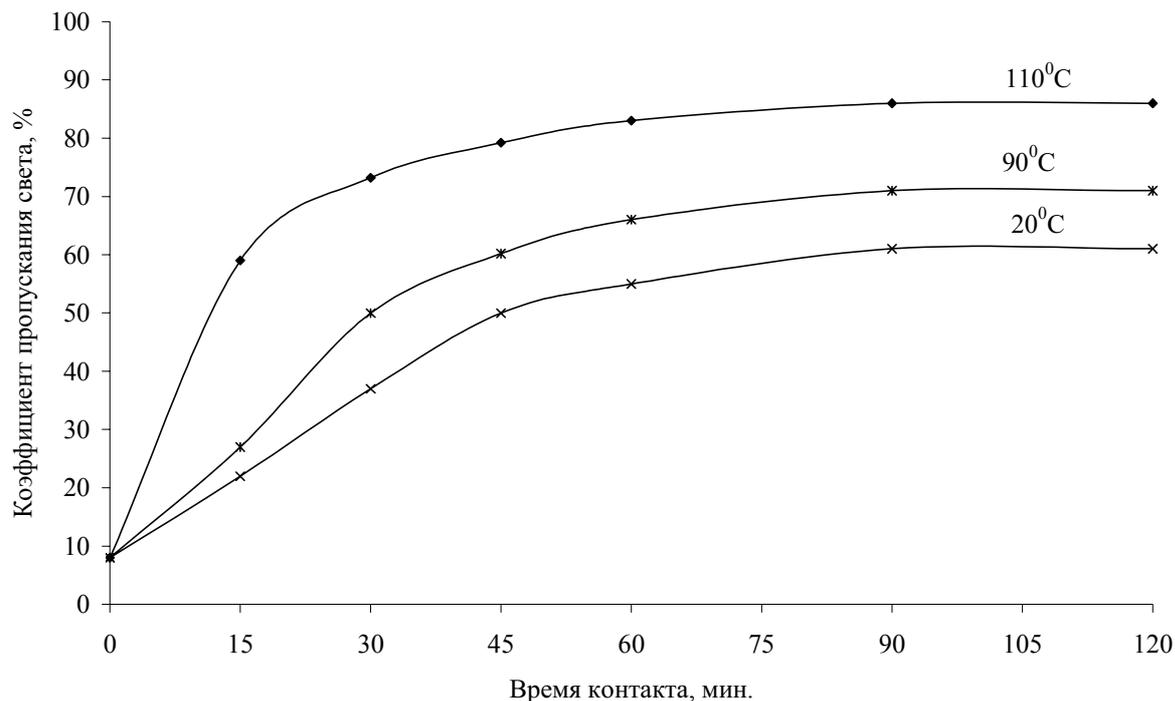


Рис. 4. Зависимость коэффициента пропускания рафината от температуры и времени процесса

ны напряжения пробоя до 80 кВ и тангенса угла диэлектрических потерь 0,48 %, что позволяет использовать данное масло в электрооборудовании с рабочим напряжением до 750 кВ. Оптимальные технологические параметры контактной очистки определяются индивидуально в соответствии со степенью загрязнения отработанного масла. Использование отбеливающей глины Зикеевского месторождения М-80 не позволяет достичь показате-

телей качества масла, получаемых с применением сорбента F-160. Цвет остается более высоким, чем нормативный. Кроме того, для достижения сравнимых показателей качества масла, очищенного сорбентами F-160 и М-80 последнего требуется большее количество. Экономически целесообразным может быть использование М-80 для предварительной очистки трансформаторного масла с последующей доочисткой сорбентом F-160.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кламанн Д. Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты. Пер. с англ. / Под ред. Ю.С. Заславского. – М.: Химия, 1988. – 488 с.
2. Яковлева Н.П., Кириченко Г.Н., Лапинг Т.П., Швец О.А. Регенерация отработанного турбинного масла // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 34–35.
3. Кипелов Б.Г., Мезенцев А.И. Очистка трансформаторного масла землями Зикеевского месторождения // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 33–34.
4. ГОСТ 5985-79. Метод определения кислотности и кислотного числа.
5. ГОСТ 10121-76. Масло трансформаторное селективной очистки.
6. Анисимов И.Г., Бадышатова К.М., Бнатов С.А. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / Под ред. В.М. Школьникова. – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

Поступила 19.12.2006 г.