

ПАРОТУРБИННЫЕ, ГАЗОТУРБИННЫЕ,
ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ
И ИХ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ
КОМПЛЕКСНОЙ ОЧИСТКИ ОГНЕСТОЙКИХ МАСЕЛ

© 2024 г. Р. В. Акулич^a, Н. В. Аржиновская^a, *

^aВсероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт (АО ВТИ),
3-й Автозаводский пр-д, д. 4, корп. 1, Москва, 115280 Россия

*e-mail: nvarzhinovskaya@vti.ru

Поступила в редакцию 07.06.2024 г.

После доработки 08.07.2024 г.

Принята к публикации 05.08.2024 г.

В настоящее время на энергетических объектах, на которых эксплуатируются системы смазки и регулирования турбин с применением огнестойкого масла, потребляются огнестойкие жидкости только зарубежных производителей (Reolube-OMTI, Reolube 46RS и Fugquel-L). Невозможность отечественного производства огнестойкого масла связана с утратой в России в 90-е годы прошлого века специальной промышленно-сырьевой базы. Восстановление всего технологического цикла – вопрос не самой ближайшей перспективы. Для поддержания эксплуатационной готовности масел, работающих в технологическом оборудовании, продления их ресурса и сокращения объемов замены необходимо организовать качественный процесс их очистки. С этой целью в АО ВТИ была разработана технология комплексной очистки огнестойких жидкостей и создано оборудование для ее реализации на энергетических объектах. Приведены результаты анализа комплексной очистки и восстановления масел со сливом их из маслосистемы и “на ходу”. Показатели качества масел в обоих вариантах значительно улучшены: снижены кислотное число, время деаэрации и деэмульсации, содержание влаги, коррозионная агрессивность масла, понижен класс промышленной чистоты и пр., по отдельным показателям достигнуты значения, соответствующие требованиям, предъявляемым к свежим маслам. Показано, что комплексную очистку масла целесообразно проводить “на ходу”, что способствует отмыканию маслосистемы от накопленных отложений вследствие одновременно протекающего процесса растворения шлама, а также позволяет значительно снизить скорость деградации восстановленного масла в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: огнестойкое масло теплотехнического института, деградация, деструкция, гидролиз, кислотное число, регенерация, класс промышленной чистоты жидкости

DOI: 10.56304/S0040363624700516

В последние годы на всех доступных площадках сотрудники АО ВТИ поднимают вопросы о необходимости импортозамещения в сфере обрабатывающей энергетических масел, в частности огнестойких турбинных масел, эксплуатируемых в системах регулирования турбин большой мощности ТЭС, а также в системах регулирования и смазки на АЭС.

В настоящее время на российских ТЭС и АЭС используются огнестойкие масла только зарубежного производства (марки Reolube-OMTI, Reolube 46RS и Fugquel-L), которые, как и разработанное ранее огнестойкое масло теплотехнического института (ОМТИ), являются жидкостями на основе триксиленилфосфатов [1]. Производство ОМТИ на территории России было прекращено в 90-х годах прошлого века. Причиной этому явились небезызвестные события, приведшие к утра-

те сырьевой и производственной баз. В настоящее время российские энергетические компании вынуждены закупать огнестойкие турбинные масла у зарубежных производителей, в результате чего вся отечественная энергетика поставлена в зависимость от иностранных поставщиков.

Оснащение существующих химических предприятий России необходимым оборудованием для реализации крупнотоннажного синтеза огнестойких жидкостей, проработка схем производства и поставок сырья – вопросы отдаленной перспективы. Поэтому снижение зависимости энергетики от поставок масла из недружественных стран можно трансформировать в задачи продления ресурса масла, уже находящегося в эксплуатации, и восстановления отработанного огнестойкого масла, накопленного в маслозапасах предприятий [1, 2]. Решение этих задач воз-

можно при наличии технологии и оборудования, позволяющих производить очистку эксплуатируемых и отработанных огнестойких жидкостей от загрязнений.

МАСЛООЧИСТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ОАО ВТИ

Комплексный подход к очистке огнестойких жидкостей (снижение кислотного числа, удаление влаги и механических примесей) позволит вернуть в оборот отрасли значительные объемы продукта [1]. Для снижения кислотного числа специалисты АО ВТИ разработали технологию очистки огнестойких масел парными сорбентами, которая применима для огнестойких жидкостей любых марок [2, 3]. При этом возможна очистка масла как со сливом из маслосистемы, так и “на ходу”. В последнем случае очистке от накопленного шлама и механических примесей подвергается вся маслосистема.

В АО ВТИ были спроектированы, изготовлены и установлены на энергетических объектах несколько передвижных маслоочистительных установок, в которых реализован процесс комплексной очистки масла, заключающийся в снижении кислотного числа, удалении влаги, очистке от шлама и механических примесей [3]. В 2023–2024 гг. установки были удостоены высших наград на Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий “Архимед”.

Установки состоят из модулей нагрева, сорбционной очистки, термовакуумной сушки и механической фильтрации. Оборудование всех модулей размещено на одной раме, оснащенной колесами для удобства перемещения по машинному залу.

Модуль нагрева предназначен для повышения температуры очищаемого масла в целях снижения его вязкости и проведения термовакуумной сушки. Он представляет собой замкнутый контур, в котором циркулирует вода, нагреваемая тэнами. Вода, в свою очередь, через встроенный в бак теплообменник греет очищаемое масло на всех этапах обработки.

Модуль сорбционной очистки предназначен для удаления из масла продуктов деструкции, накопленных за период эксплуатации. Он состоит из перезаряжаемых картриджей, загруженных сорбентами в нужных пропорциях сообразно степени загрязнения масла, что позволяет восстановить до нормативных значений кислотное число, содержание водорастворимых кислот, время де-

эмульсации, время деаэрации, скорость коррозии стальных пластин.

В модуле термовакуумной сушки происходит удаление из регенерируемого масла летучих продуктов разложения, свободной и связанной влаги. В нем размещаются бак с теплообменником для нагрева масла и распределительная система, предназначенная для диспергирования масла. В состав модуля входит вакуумный насос, создающий в баке требуемое разрежение, с трубопроводом выхлопа, оснащенным специальным механизмом, предотвращающим попадание паров масла в воздух рабочей зоны.

Удаление из масла механических примесей и шлама происходит в модуле механической фильтрации, который состоит из фильтров со сменными элементами, обеспечивающими тонкость фильтрации 1–3 мкм.

Установка оснащена электроприводной арматурой, датчиками уровня и влажности, шкафом управления и контроллером для обеспечения реализации всех процессов в автоматическом режиме (см. рисунок). Возможна эксплуатация в полуавтоматическом и ручном режимах.

С помощью передвижной установки можно проводить очистку масла, как слитого из маслосистемы, так и находящегося в ней, путем непосредственного подключения ее к действующей маслосистеме – “на ходу”.

В первом случае объем порции масла определяется вместимостью бака установки, масло после очистки сливается в очищенный бак маслосистемы или распределяется по чистым бочкам. Во втором случае объем порции масла, забираемого на очистку, ограничивается минимальным уровнем масла в маслобаке, а очищенное масло сливается в чистый отсек. При реализации процесса по второму варианту очистке от накопленного шлама и механических примесей подвергается вся маслосистема.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОГНЕСТОЙКОГО МАСЛА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

В табл. 1 приведены значения показателей качества турбинного масла, содержащиеся в нормативных документах, в табл. 2 – результаты регенерации огнестойкого масла из систем регулирования турбогенераторов ТГ-8 и ТГ-3 объекта I, расположенного в центральной части России. Очистка выполнялась без слива масла из маслосистемы, “на ходу”. Достигнуто существенное снижение кислотного числа, содержания водорастворимых кислот, коррозионной



Маслоочистительная установка АО ВТИ

агрессивности эксплуатируемого масла. Масло осушено до отсутствия дисперсной влаги, значительно улучшен класс промышленной чистоты, снижены время деаэрации и время деэмульсации. При этом вязкостно-плотностные и температурные характеристики огнестойкой жидкости, определяющие гидравлическую устойчивость и пожаробезопасность системы регулирования, остались на требуемом уровне.

За период эксплуатации регенерированного масла в системах регулирования ТГ-8 и ТГ-3 отказы в работе систем не наблюдались. При регенерации масла “на ходу” была выполнена отмывка маслосистем от накопленного шлама и других продуктов деструкции, что подтверждается низкой скоростью деградации регенерированного масла за период эксплуатации, которая сопоставима со скоростью деградации свежей огнестойкой жидкости.

В табл. 2 представлены также данные по очистке масла на объекте III, также расположеннем в

центральной части России. Масло очищали со сливом из маслосистемы, показатели его качества практически соответствовали требованиям, предъявляемым к свежим маслам. В настоящее время масло находится в резерве.

В табл. 3 приведены результаты регенерации масла из системы регулирования ТГ-11, ТГ-10 и ТГ-9 объекта II, расположенного на Среднем Урале. Масло регенерировали со сливом из маслосистем. При этом степень его разрушения была значительной, особенно на ТГ-9, вплоть до образования в нем фосфора в количестве 73.66 г/кг.

В результате очистки масла специально подобранным составом сорбентов были достигнуты нормативные значения практически по всем показателям качества: кислотное число было снижено на два порядка, существенно уменьшено содержание водорастворимых кислот, снижены время деаэрации и время деэмульсации, понижен класс промышленной чистоты, выполнена качественная осушка масла.

Таблица 1. Нормируемые значения показателей качества турбинного масла [4, 5]

Показатель	Эксплуатационное масло	Масло, заливаемое в оборудование
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0.8	0.3
Содержание водорастворимых кислот, мг КОН/г, не более	0.4	0.15
Коррозия на стальных пластинах, г/м ² , не более	15	5
Содержание воды, % (по массе)	Отсутствие (менее 0.03)	Отсутствие (менее 0.03)
Класс промышленной чистоты, не хуже	9*	9*
Время деаэрации, с, не более	540	240
Время деэмульсации, с, не более	600	300**
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не менее	240	240
Кинематический коэффициент вязкости при 50°С, мм ² /с, не менее	23	23

* Для систем регулирования.

** Нормируется для систем смазки.

После заливки регенерированного масла в системы на протяжении первого месяца эксплуатации наблюдалось резкое ухудшение его качества, что свидетельствовало о начавшихся процессах отмычки маслосистем и частичного гидролиза масла под влиянием повышенного содержания воды. После одного-двух месяцев работы скорость деструкции масла стабилизировалась, на текущий момент, несмотря на то что масло заливалось в неочищенные маслосистемы, показатели его качества остаются в норме. На рассматриваемом объекте регенерированное масло более года находится в эксплуатации, основные нормируемые показатели его качества сохраняются.

Анализ представленных результатов подтверждает эффективность разработанных в АО ВТИ технологий и оборудования для восстановления огнестойких масел, позволяющих реанимировать их даже при очень высокой степени деструкции и обеспечить выполнение нормативных эксплуатационных требований.

Сравнительный анализ показателей качества регенерированного масла после 12 мес работы на объектах I и II свидетельствует о том, что скорость ухудшения качественных характеристик масла, регенерация которого была проведена без слива из маслосистемы, значительно меньше скорости деградации масла, регенерация которого была проведена со сливом из маслосистемы.

Таким образом, для обеспечения критерия длительной эксплуатационной готовности огнестойких жидкостей регенерацию масла целесооб-

разно проводить “на ходу”, чтобы она сопровождалась очисткой всей маслосистемы.

ВЫВОДЫ

1. С помощью технологии и оборудования для комплексной очистки масла как со сливом его из маслосистемы, так и “на ходу”, разработанных в АО ВТИ, можно значительно улучшить качественные характеристики турбинных масел, находящихся в эксплуатации.

Очистка масла “на ходу” позволяет выполнить качественную безреагентную очистку всей маслосистемы.

2. Результаты восстановления эксплуатационных характеристик огнестойких масел с использованием маслоочистительных установок АО ВТИ представляют научный и практический интерес с позиций изучения процессов деградации масла в целях корректировки технологии комплексной очистки огнестойких масел различной степени загрязненности применительно к конкретным условиям их эксплуатации на энергообъектах.

3. Опыт реализации технологии комплексной очистки турбинного масла свидетельствует о том, что затраты на регенерацию масла одной системы регулирования, сопровождающуюся очисткой маслосистемы, значительно ниже затрат на приобретение свежего и промывочного масел.

4. Продление ресурса и восстановление огнестойких жидкостей, находящихся в эксплуатации, является первым необходимым шагом на пути импортозамещения данного продукта.

Таблица 2. Результаты комплексной очистки масел на объектах I, III

Исследуемый показатель	ТГ-8 (объект I)		ТГ-3 (объект I)		Емкость для хранения (объект III)	Метод исследования
	очистка 22.11.2022– 26.01.2023	текущее значение с 27.01.2023	очистка 30.08.2023– 04.03.2024	текущее значение с 05.03.2024		
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0.80/0.082	0.16	0.8/0.098	0.1	0.26/0.04	[6]
Содержание водорастворимых кислот, мг КОН/г, не более	0.088/0.006	Не более 0.1	0.09/0.01	Не более 0.1	0.020/0.004	[7]
Коррозия на стальных пластинах, г/м ² , не более	3.0/0.2	—	0.2/0.2	—	2/0	[8]
Содержание воды, % (по массе)	Не более 0.03/ не более 0.03	Не более 0.03	Не более 0.03/ не более 0.03	Не более 0.03	Не более 0.03 0.03/0.02	[9]
Класс промышленной чистоты, не хуже	9/(8—9)	0.0032*	12/9	0.0028*	12/8	[10]
Время дeaэрации, с, не более	60/30	—	90/225	—	470/470	[11]
Время дeэмulsации, с, не более	780/585	—	600/580	—	440/360	[12]
Температура вспышки в открытом типе, °C, не менее	261/258	243	258/252	250	259/263	[13]
Кинematicкий коэффициент вязкости при 50°C, мм ² /с, не менее	28.93/28.22	27.99	30.94/30.47	29.93	28.11/28.06	[14]

Примечание. В числителе – до очистки, в знаменателе – после очистки.

* Содержание механических примесей, %.

Таблица 3. Результаты комплексной очистки масел на объекте II

	ТГ-11	ТГ-10	ТГ-9	Метод исследования
Исследуемый показатель	очистка 16.02.2023– 31.03.2023	текущее значение 31.03.2023– 10.04.2024	очистка 16.05.2023– 26.06.2023	очистка 27.06.2023– 21.07.2023
Кислотное число, мг KOH/g, не более 2024	1.297/0.028	0.213	1.634/0.032	текущее значение 25.07.2023– 10.04.2024
Содержание водорастворимых кислот, мг KOH/g, не более	0.157/0.001	0.07	0.284/0.041	0.128/0.011
Коррозия на стальных пластинах, г/м ² , не более	2.0/1.2	—	2.0/1.5	3.0/0.2
Содержание воды, % (по массе)	0.276/0.019	0.068	0.051/0.023	0.11/0.03
Класс промышленной чистоты, не хуже	10/9	12	12/9	12/9
Время деаэрации, с, не более	440/327	—	457/369	760/620
Время деэмulsации, с, не более	434/310	657	348/290	362/410
Температура вспышки в открытом типле, °C, не менее	269/270	263	259/256	259/251
Кинематический коэффициент вязкости при 50 °C, мм ² /с, не менее	29.15/28.23	28.06	28.47/28.23	27.92/28.57
Примечание. В числителе – до очистки, в знаменателе – после очистки.				[14]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулич Р.В., Аржиновская Н.В. Проблемы эксплуатации огнестойких масел и пути их решения // Теплоэнергетика. 2023. № 11. С. 101–106.
<https://doi.org/10.56304/S0040363623110012>
2. Чуприна А.П., Акулич Р.В., Аржиновская Н.В. Опыт применения маслоочистительных установок для восстановления эксплуатационных характеристик огнестойких жидкостей // Современные тенденции развития рынка огнестойких турбинных масел и опыт эксплуатации их на ТЭС и АЭС. М.: ОАО ВТИ, 2023.
3. Технология комплексной очистки огнестойких масел / В.В. Мартынов, Н.В. Аржиновская, Н.М. Первушина, В.А. Петрухин, А.Б. Пономарёв, С.К. Моисеев // Теплоэнергетика. 2021. № 10. С. 45–52.
<https://doi.org/10.1134/S0040363621100027>
4. СТО 70238424.27.100.053-2013. Энергетические масла и маслозапасы электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. 2-е изд. М.: НП ИНВЭЛ, 2013.
5. РД ЭО1.1.2.05.0444-2016. Требования к эксплуатации, организации и проведению испытаний трансформаторных и турбинных масел на атомных станциях. М.: АО “Концерн Росэнергоатом”, 2016.
6. ФР.1.31.2010.08898 МВИ № 63-09. Методика выполнения измерений кислотного числа в пробах огнестойких турбинных масел типа ОМТИ. М.: ВТИ, 2009.
7. ФР.1.31.2010.08895 МВИ № 64-09. Методика выполнения измерений массовой доли (мг КОН/г) водорастворимых кислот в пробах огнестойких турбинных масел типа ОМТИ. М.: ВТИ, 2009.
8. ФР.1.31.2010.08899 МВИ 60-09. Методика выполнения измерений антикоррозионной характеристики проб минеральных и огнестойких (типа ОМТИ) турбинных масел. М.: ВТИ, 2009.
9. ГОСТ 2477-2014. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. М.: Стандартинформ, 2018.
10. ГОСТ 17216-2001. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001.
11. ФР.1.31.2010.08897 МВИ 61-09. Методика выполнения измерений времени деаэрации в пробах минеральных и огнестойких (типа ОМТИ) турбинных масел. М.: ВТИ, 2009.
12. ГОСТ 12068-66. Масла нефтяные. Метод определения времени деэмульсации. М.: Госстандарт, 1966.
13. ГОСТ 4333-2021. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. М.: Рос. ин-т стандартов, 2021.
14. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. М.: Стандартинформ, 2017.

Implementation Results for the Technology of Comprehensive Purification of Fire-Resistant Oils

R. V. Akulich^a and N. V. Arzhinovskaya^{a,*}

^aAll-Russia Thermal Engineering Research Institute (AO VTI), Moscow, 115280 Russia

*e-mail: nvarzhinovskaya@vti.ru

Abstract—Currently, power facilities that operate turbine lubrication and control systems using fire-resistant oil only use fire-resistant fluids from foreign manufacturers (Reolube-OMTI, Reolube 46RS, and Fyrquel-L). The impossibility of domestic production of fire-resistant oil is connected with the loss of a special industrial raw material base in Russia in the 1990s. Restoring the entire technological cycle is not a matter for the immediate future. To maintain the operational readiness of oils used in process equipment, extend their service life, and reduce the volume of replacement, it is necessary to organize a high-quality cleaning process. For this purpose, the All-Russia Thermal Engineering Research Institute developed technology for the comprehensive cleaning of fire-resistant liquids and created equipment for its implementation at energy facilities. The results are presented of the analysis of complex cleaning and restoration of oils with their draining from the oil system and “on the go.” The quality indicators of the oils in both variants have been significantly improved—the acid number, deaeration and demulsification time, moisture content, and corrosive aggressiveness of the oil have been reduced, the industrial purity class has been lowered, etc.—and values for individual indicators have been achieved that meet the requirements for fresh oils. It has been shown that it is advisable to carry out complex oil cleaning “on the go,” which helps to clean the oil system from accumulated deposits due to the simultaneously occurring process of sludge dissolution and also allows to significantly reduce the rate of degradation of the restored oil under operating conditions.

Keywords: fire-resistant oil of the heat-engineering institute, degradation, destruction, hydrolysis, acid number, regeneration, industrial purity class of liquid