

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ МАСЛОПРОВОДОВ И УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ТУРБИННЫХ МАСЕЛ ТУРБОАГРЕГАТОВ ТЭС

З.А. Бахметов, к.т.н. В.М. Неуймин (ОАО «ОГК-4»)

Надёжность работы турбоагрегатов в значительной степени определяется чистотой маслохозяйств паротурбинных установок, каждая из которых включает в себя: систему смазывания подшипников турбины и турбогенератора; систему регулирования и защиты турбины; систему уплотнения вала турбогенератора; систему смазывания питательных насосов паротурбинных установок; систему приёма, хранения и регенерации масла (главные и вспомогательные маслососы, масляный бак, а также элементы защиты, блокировки и контроля маслосистемы). Маслоохладители с соответствующими трубопроводами образуют систему охлаждения масла.

Загрязнение масла шламами и влагой способствует электроэрозии подшипников, снижает надёжность работы систем регулирования и уплотнения вала турбогенератора, приводит к износу упорных колодок и вкладышей подшипников (влечёт за собой рост материальных затрат на ремонт оборудования), ухудшает эксплуатационные свойства и снижает срок службы турбинных масел.

В процессе эксплуатации в маслопроводах ТЭС накапливаются загрязнения, ухудшающие качество турбинных масел. Качественная очистка напорных маслопроводов и, особенно, сливных патрубков и сливных коллекторов, а так же турбинного масла обеспечивает длительную надёжную работу турбоагрегатов.

Анализ отказов, дефектов, повреждений энергетического оборудования свидетельствует, что до 20 – 25 % инцидентов связаны с нарушениями в системе маслоснабжения и качества турбинного масла [1,2].

Сохранению свойств турбинного масла в процессе эксплуатации оборудования способствует применение комплекса мер по предотвращению его загрязнения, предусматривающее использование эффективных средств и методов эксплуатационной очистки и регенерации масла, своевременное введение присадок.

Информация о достоинствах и недостатках применяемых в настоящее время в российской электроэнергетике способов очистки маслопроводов турбоагрегатов представлена в работе [3] (табл. 1).

В последние годы широкое применение нашла пневмогидроимпульсная (ПГИ) промывка маслосистем турбоагрегатов. Данная технология промывки позволяет выполнять очистку напорных

маслопроводов за счёт увеличения объёма и скорости промывочного потока; производить очистку сливных патрубков и сливных коллекторов среднего диаметра (до 300 мм). Хорошие результаты в 2000-2001 г.г. были получены при промывке маслосистем ПГИ-способом турбин мощностью 200 МВт ОАО «Сургутская ГРЭС-1»: отмечался 6-7 класс чистоты (ГОСТ 17216-2001) очищенного масла (без специальной организации турбулентного режима течения рабочей среды по маслопроводам) [4].

Аналогичные работы по промывке ПГИ-способом маслосистем турбоагрегатов выполнены, например, ОАО «ВТИ» на ряде других ТЭС (имеется как удачный, так и не вполне удачный опыт).

Не вполне удачный опыт применения ПГИ-способа очистки маслосистемы имел место при промывке в 2007 г. маслосистемы энергоблока мощностью 200 МВт филиала «Шатурская ГРЭС» ОАО «ОГК-4»: после промывки масло имело лишь 14 класс промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001; а также при очистке ПГИ-способом с забросом воздуха маслосистемы энергоблока мощностью 300 МВт филиала «Рефтинская ГРЭС» ОАО «ОГК-5».

Об опыте работы филиалов ОАО «ОГК-4» по очистке маслосистем турбоагрегатов и турбинных масел.

ОАО «ОГК-4» осуществляет производственную деятельность в пяти регионах Российской Федерации (Московская, Смоленская, Пермская, Тюменская области и Красноярский край). В состав ОАО «ОГК-4» на правах филиалов входят: Берёзовская ГРЭС, Смоленская ГРЭС, Сургутская ГРЭС, Шатурская ГРЭС, Яйвинская ГРЭС, Тепловые сети Берёзовской ГРЭС. Филиалы ОАО «ОГК-4» оснащены следующим основным оборудованием. Берёзовская ГРЭС: 2 энергоблока, в каждый из которых входят по 1 котлу П-67 и 1 турбине К-800-23,5; Сургутская ГРЭС: 6 энергоблоков, в каждый из которых входят 1 котёл ТГМП-204 ХЛ, 1 турбина К-800-23,5; Шатурская ГРЭС: 3 дубль-блока, в каждый из которых входят двухкорпусной котёл ТП-208 и турбина К-200-12,8; 2 энергоблока, в каждый из которых входит котёл ТМ-104А и турбина К-210-12,8; 1 энергоблок, включающий котёл БКЗ-320-240 ГМ и турбину ПТ-80-12,8; Смоленская ГРЭС: 3 дубль-блока, в каждый из кото-

Таблица 1. Достоинства и недостатки способов очистки маслопроводов турбоагрегатов ТЭС, нашедших применение в российской электроэнергетике

Способ очистки маслосистемы	Достоинства способа очистки маслосистемы	Недостатки способа очистки маслосистемы
1	2	3
Гидродинамическая промывка	- наиболее простой и дешёвый способ	- очень низкая эффективность; - невозможность турбулизации потока, необходимой для промывки напорных маслопроводов, тем более сливных; - невозможность полного заполнения и очистки сливных патрубков и сливных коллекторов; - накопление вымытых загрязнений в сливных коллекторах, увеличение вероятности залповых выбросов загрязнений в подшипники турбоагрегата; - длительная продолжительность промывки
Пневмогидроимпульсная промывка	- эффективная очистка напорных маслопроводов за счёт организации пневмогидроимпульсного движения промывочного потока; - эффективная очистка сливных патрубков и сливных коллекторов диаметром до 300 мм	- невозможность полного заполнения и эффективной очистки сливных коллекторов большого диаметра (свыше 300 мм);
Пневмогидроимпульсная промывка с применением устройств для заброса воздуха в маслосистему	- эффективная очистка напорных маслопроводов за счёт организации пневмо-гидроимпульсного движения промывочного потока	- опасность повреждения маслопроводов из-за возникновения гидроударов; - невозможность полного заполнения и эффективной очистки сливных коллекторов большого диаметра (свыше 300 мм)
Промывка маслосистемы воднохимическими растворами	- эффективное разложение и удаление продуктов коррозии на омываемых участках маслопроводов	- высокая стоимость химических реактивов; - повреждение или полное уничтожение пассивирующей плёнки маслопроводов; - интенсификация коррозионных процессов в маслопроводах после промывок, утонение стенок маслопроводов; - невозможность создания достаточных промывочных скоростей в сливных маслопроводах для удаления тяжёлых частиц загрязнений; - интенсивное накопление продуктов коррозии в маслопроводах (в том числе и в напорных) и опасность их залпового выброса в подшипники турбоагрегата; - снижение диэлектрических свойств эксплуатационного масла (в случае попадания в него остатков моющего раствора); - увеличение продолжительности очистки маслосистемы за счёт дополнительных технологических операций, не свойственных для оперативного персонала; - дополнительные затраты конденсата на промывку маслосистемы для удаления остатков моющего раствора; - дополнительные затраты на утилизацию моющих растворов
Турботермопневмогидроимпульсная промывка	- эффективная очистка напорных маслопроводов за счёт значительного увеличения объёма и скорости промывочного потока при интенсификации воздушно – кавитационных процессов; - эффективная очистка сливных патрубков и сливных коллекторов диаметром 300 мм и более за счёт создания масштабной вихревой турбулизации потока в промываемых маслопроводах; - отслоение прилипших загрязнений при организации «теплого удара» в маслопроводах; - отсутствие гидроударов; - возможность промывать маслосистему (в случае необходимости) даже в периоды средних и текущих ремонтов благодаря унификации промывочных устройств	- требует дополнительных затрат для изготовления промывочных устройств и монтажа дополнительных воздушных линий (250÷300 тыс. руб.) по сравнению с гидродинамическим способом

рых входят двухкорпусной котёл ТПЕ-208, турбина К-210-12,8; Яйвинская ГРЭС: 4 энергоблока, в каждый из которых входят котёл ТП-92 и паровая турбина К-150-12,8.

Основные данные о производственной деятельности ОАО «ОГК-4» за 2006 г. представлены в табл. 2 [5].

Показатели производственной деятельности ОАО «ОГК-4» в 2006-2007 гг. близки. Достижению показателей в определённой степени способствует совершенствование работы по очистке масло-

проводов турбоагрегатов.

В 2007 г. филиалом «Берёзовская ГРЭС» ОАО «ОГК-4» впервые проведена промывка ПГИ-способом маслосистемы смазывания и уплотнения вала турбогенератора турбоагрегата с турбиной К-800-23. До внедрения ПГИ-способа маслосистемы турбоагрегатов промывались через перемычки, устанавливаемые между напорными и сливными маслопроводами, повышенным расходом масла по контурам при демонтирован-

ном регуляторе давления.

Состояние маслопроводов и имеющиеся средства очистки позволяли добиваться и поддерживать качество турбинного масла в течение длительного времени на верхней границе требуемого ПТЭ уровня.

Промывка системы смазывания ПГИ-способом проводилась промывочным маслом ТП-22с, подаваемым в маслопроводы с давлением 2,0-2,5 атм и температурой 73°C. Суммарное время проведения промывки составляло 45 ч.

До и после промывки брались соскобы с внутренней части выборочных участков сливных маслопроводов и проводилась количественная оценка загрязнения. Коэффициент зашламления до промывки составлял 670,40-1471,12 г/м². После процедуры промывки коэффициент зашламления составил 107,50-118,60 г/м² (соответствует нормам РД 34.37.601-73).

На филиале «Сургутская ГРЭС-2» ОАО «ОГК-4» очистка маслосистем турбоагрегатов до 2007 г. осуществлялась в капитальные ремонты энергоблоков со вскрытием цилиндров турбины. Использовалась штатная схема промывки с установкой перемычек на напорном и сливном маслопроводах с организацией замкнутых контуров. Промывка маслопроводов осуществлялась повышенными расходами масла, имеющего температуру 60-80°C. Чистота масла на всех энергоблоках соответствовала 8-9 классу промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001.

В капитальный ремонт 2007 г. на энергоблоке № 5 была проведена промывка маслосистемы турбоагрегата ПГИ-способом. После фильтрации класс промышленной чистоты масла был доведен до уровня 8.

Для поддержания качества масла в процессе эксплуатации на энергоблоках электростанции используется разный тип оборудования.

Маслосистема смазки турбоагрегата и питательных турбонасосов энергоблоков №№ 1-3

с 2006 г. очищается установкой ПСМ 2-4 (ОАО «Полтавский турбомеханический завод»). Масло очищается до 9 класса промышленной чистоты. Установка очистки масла требует непрерывного контроля, длительно работает (через каждые 2 часа работы требуется чистка установки). Установка часто выходит из строя. Качество очистки масла – низкое (наиболее рационально использование установки для удаления из турбинного масла следов влаги).

На энергоблоке № 1 электростанции в 2007 г. был установлен агрегат очистки жидких нефтепродуктов от механических примесей, влаги и шламов типа ПГ-225 (Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», ОАО «Горизонт»). Агрегат очистки позволяет очищать турбинное масло до 5-8 классов промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001. Филиал высказал заинтересованность в закупке аналогичного оборудования для энергоблоков №№ 2, 3.

На энергоблоке № 2 электростанции с 2000 г. установлена установка очистки масла МОУ 20/6 (ВТИ-Ростовэнергоремонт), позволяющая доводить турбинное масло до 9 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001 (воду установка не удаляет). Применение установки требует больших эксплуатационных затрат: необходима частая замена белья. Качество очистки масла оставляет желать лучшего.

Для очистки турбинного масла систем регулирования паровых турбин энергоблоков №№ 1-3 используется штатный фильтр тонкой очистки, который установлен на МБР. Фильтр способен очищать масло до 8-10 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001.

Чистота масла маслосистем уплотнения валов турбогенераторов поддерживается передвижной сепараторной маслоочистительной установкой типа ПСМ 2-4 (ОАО «Полтавский турбомеханический завод»). Установка способна очищать масло от мехпримесей до уровня 9 класса промышлен-

Таблица 2. Основные данные о производственной деятельности ОАО «ОГК-4» за 2006 г.

Филиалы	Установленная мощность		Ввод э/б № 1	Выработка N _{эл} , млн. кВт ч	Отпуск тепла, тыс. Гкал	K _{иум} , %	Удельный расход топлива, гут /кВт ч
	N _{эл} , МВт	N _Q , Гкал/ч					
Сургутская ГРЭС-2	4800	840,0	1985	32 884,36	1 064	78,2	304,90
Березовская ГРЭС	1500	860,0	1987	6 921,04	727	52,7	341,60
Шатурская ГРЭС	1100	344,3	1971	4 762,74	501	49,4	379,50
Смоленская ГРЭС	630	66,0	1978	2 387,79	79	43,3	366,50
Яйвинская ГРЭС	600	69,0	1963	4 074,19	110	77,5	363,40
Всего по ОГК-4	8630	2179,3	1971	51 030,13	2 481	67,5	332,08

ной чистоты; требует непрерывного контроля; по причине длительной работы часто выходит из строя; качество очистки масла оставляет желать лучшего (наиболее целесообразна для удаления воды из масла).

Системы смазывания подшипников турбин, турбогенераторов, питательных турбонасосов обслуживаются маслоочистительными сепараторными установками типа ПСМ 2-4 (ЦФС): 4ЦФС-02.07; 5ЦФС-1988 г.; 6ЦФС-04.07. О достоинствах и недостатках установок отмечено выше.

Системы уплотнений валов турбогенераторов обслуживаются установками ПСМ 2-4 (ОАО «Полтавский турбомеханический завод»): 4ЦФУ-1987 г., 5ЦФУ-1987 г., 6ЦФУ-1988 г. Применение установок позволяет удалять из турбинного масла мехпримеси и поддерживать чистоту масла не хуже 9 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001.

Одна передвижная установка типа МОУ 20/6 (ООО «Азимут Гранд-Строй», Москва) с 2004 г. используется для трёх систем смазывания подшипников турбоагрегатов №№ 4-6 и ТДМ-А/Б указанных энергоблоков. Установка способна очищать масло до 8-9 классов промышленной чистоты.

Кроме указанных средств очистки масла на электростанции применяются: штатные фильтры тонкой очистки (по 3 фильтра на один питательный турбонасос: 2 – в работе, 1 - в резерве). Фильтры установлены на ГМБ. Из-за низкой производительности фильтры используются в качестве дополнительных средств очистки масла. Эффективность очистки масел от мехпримесей крайне низка.

По 3 штатных фильтра очистки масел от мехпримесей установлены в системе маслоснабжения питательных турбонасосов (имеют недостаточную способность очистки масла).

На филиале «**Яйвинская ГРЭС**» ОАО «**ОГК-4**» очистка маслопроводов до последнего времени осуществлялась через перемычки, устанавливаемые между напорными и сливными маслопроводами повышенным расходом масла по контурам. Эксплуатация оборудования велась, преимущественно, на масле, имеющем 9-10 класс промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001.

В августе 2008 г. в период капитального ремонта оборудования одного из энергоблоков электростанции впервые был применён ПГИ-способ промывки маслосистемы.

На филиале «**Шатурская ГРЭС**» ОАО «**ОГК-4**» в мае 2005 г. на энергоблоках №№ 2,3 удаление из маслосистемы турбоагрегатов масляного шлама, осаждаемого в процессе эксплуатации с внутренних поверхностей маслопроводов и маслоохладителей, осуществлено без разборки маслосистемы водным раствором универсального щелочного биоразлагаемого моющего препарата ТМС ЛН (ТУ 2383-001-56478641-01). После промывки масла установился 9 класс промыш-

ленной чистоты по ГОСТ 17216-2001.

С 2007 г. филиал осваивает ПГИ-способ промывки маслопроводов. Загрязнённость поверхностей напорного и сливного маслопроводов турбоагрегатов по итогам промывки снижается более, чем в 5 раз, и соответствует действующим нормам.

На филиале «**Смоленская ГРЭС**» в июне 2007 г. с привлечением ОАО «ВТИ» выполнена промывка ПГИ-способом маслосистемы энергоблока № 2. Промывка велась 10 суток. Наблюдался активный вынос из маслопроводов шлама на сетки ГМБ. На внутренних поверхностях напорных и сливных маслопроводов отложений шлама обнаружено не было. Качество очистки соответствовало требованиям РД 34.37.601-75. По итогам промывки маслосистемы и последующего фильтрования турбинного масла был достигнут 8 класс промышленной чистоты.

В июле 2008 г. персоналом филиала самостоятельно осуществлена промывка маслосистемы турбоагрегата энергоблока № 3. После промывки маслосистемы и фильтрования масла в течение 50 ч был достигнут 8 класс промышленной чистоты (отбор масла осуществлялся из чистого отсека ГМБ).

Переход на очистку маслосистем с одного турбоагрегата на другой затрудняют имеющиеся на оборудовании фланцевые соединения мест присоединений и отводов от каждого подшипника (поставленные с разными турбинами фланцевые соединения маслопроводов не унифицированы).

Чистота турбинного масла при эксплуатации энергоблоков мощностью 800 МВт филиалов ОАО «ОГК-4» поддерживается на уровне 8 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001 (в системах регулирования – на уровне 7 класса промышленной чистоты) и соответствует нижнему пределу требований ПТЭ.

Чистота турбинного масла при эксплуатации энергоблоков мощностью 150-210 МВт, включая системы регулирования турбин, филиалов ОАО «ОГК-4» поддерживается на уровне 8 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001 и соответствует требованиям ПТЭ.

Разработчики ПГИ-способа промывки маслосистем турбоагрегатов предупреждают эксплуатационный персонал ТЭС о том, что при промывке маслопроводов их сливные патрубки и сливные коллекторы большого диаметра (свыше 300 мм) данным способом промыть невозможно: при промывке не происходит полного заполнения рабочим телом их внутреннего объёма и сохраняется потенциальная опасность выноса загрязнений в подшипники во время эксплуатации турбоагрегата; при использовании устройств для забора воздуха с целью создания турбулентного характера течения очищаемого масла по маслопроводам сохраняется опасность повреждения маслопроводов из-за возникновения гидроударов.

Авторы работы [6] предлагают новый турботермопневмогидроимпульсный способ промывки маслопроводов турбоагрегатов (методика проведения испытаний в настоящее время не аттестована). Данный способ хорошо зарекомендовал себя при промывке в 2007-2008 гг. в период капитальных ремонтов маслопроводов нескольких турбин Т-250/300-23,5 филиала ТЭЦ-26 ОАО «ТГК-3» (ОАО «Мосэнерго»). Обнадёживающие результаты получены в 3-м квартале 2007 г. на филиале «Среднеуральская ГРЭС» ОАО «ОГК-5» при промывке некоторых маслопроводов турбины К-277-23,5 (ст. №11).

Наличие подготовленной (законсервированной) стационарной воздушной разводки в комплекте с универсальными перемычками, позволит, в случае необходимости, промывать турботермопневмогидроимпульсным способом маслосистему энергоблоков любой мощности в сжатые сроки, в том числе в периоды проведения текущих ремонтов! Стоимость гибких металлических рукавов, которые можно использовать вместо трубопроводов для перемычек и воздушной разводки, например, для энергоблока мощностью 300 МВт, составляет до 300 тыс. руб.; затраты на изготовление перемычек ~ 200 тыс. руб.; затраты на сборку практикуемой схемы - 200 тыс. руб.; затраты на закупку материала и изготовление перемычек ~ 50 тыс. руб. (все цены: на 01.07.2007 г.).

Изготовление специалистами ТЭС воздушной разводки и перемычек занимает 2-3 недели. При этом, последующие подобные промывки маслосистем на этих энергоблоках не будут превышать стоимости обычной гидродинамической промывки, которая является составной частью технологического процесса ремонта маслосистемы и рассчитывается по базисным ценам.

По чистым (очищенным) маслопроводам должно поступать к энергетическому оборудованию качественное турбинное масло. В процессе эксплуатации характеристики масла ухудшаются (в указанной статье рассматривается лишь промышленная чистота масла). Проблемы эксплуатации энергетических масел рассмотрены в работе [7].

В чистых отсеках ГМБ установлены сетки с ячейкой 130 мкм (оборудование ЛМЗ) и 250 мкм (оборудование ТМЗ), что соответствует требованиям заводов-изготовителей, но позволяет частицам размерами 0,13-0,25 мм проникать в масляный клин подшипников, который в некоторых случаях не превышает 0,10 мм, и повреждать как вкладыши, так и шейки роторов. Такой размер ячеек установлен заводами – изготовителями из-за опасения срыва маслоснасосов и потери маслоснабжения подшипников оборудования в случае засорения штатных сеток чистого отсека ГМБ.

На ТЭС страны не редко используются устаревшие маслоочистительные установки, например, установки типа ПСМ-2 с низкой производительностью (2 м³/ч), которые часто выходят из строя

и требуют постоянного контроля со стороны эксплуатационного персонала.

Зачастую, меры к очистке масла не принимаются из-за неисправности маслоочистительных установок.

Некоторые ТЭС до сих пор не имеют средств контроля качества турбинного масла. Эксплуатация оборудования на масле низкого качества приводит к увеличению роста эксплуатационных затрат. Например, эксплуатация 10 паровых турбин угольных энергоблоков мощностью 300-500 МВт на одной из электростанций страны на масле низкого качества (12-17 класс промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001) приводила в 2006-2007 гг. к ремонту вкладышей подшипников турбин на сумму ~ 10 млн. руб./год.

В условиях эксплуатации контроль чистоты турбинного масла проводится согласно требований ПТЭ (сокращённый контроль) и согласно рекомендаций РД 34.44.102-96 (периодически, не реже 1 раза в день). При этом, чистота эксплуатируемого турбинного масла должна быть не хуже 11-го класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001.

Следует отметить, что это требование должно соблюдаться при неблагоприятных эксплуатационных ситуациях, например, при возникновении вибрации подшипников. Поэтому, контроль чистоты масла при промывках маслопроводов после ремонтов турбоагрегата нужно проводить исключительно в режиме турбулентной прокачки масла.

Для повышения уровня эксплуатации оборудования на ТЭС страны требуется приобретение электростанциями современных маслоочистительных установок и средств контроля качества турбинных масел. Краткая информация об установках очистки турбинных масел, нашедших наиболее широкое распространение на ТЭС страны, их достоинствах и недостатках приведена в табл. 3.

Вкратце рассмотрим характеристики лишь трёх установок: МОУ-20/6, OSU-S 206, ФОДЖ. Маслоочистительная установка типа МОУ 20/6 (ОАО «ВТИ») способна обеспечить чистоту эксплуатируемого турбинного масла согласно ТУ на поставку не хуже 7÷8 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001. Установка является стационарной и предназначена для очистки масла на отдельном энергоблоке. Стоимость установки с монтажом и наладкой составляет ~ 2,0 млн. руб.

Маслоочистительная установка типа OSU-S 206 (Альфа-Лаваль) позволяет производить байпасную очистку эксплуатируемого масла с 90% очисткой загрязнений величиной ≥ 5 мкм и до 99% загрязнений величиной 3÷5 мкм при производительности 9000 л/ч. Указанная установка одновременно обеспечивает удаление из масла не менее 90% воды, является мобильной и может использоваться как стационарно, так и для оперативной очистки масла на любом энергоблоке ТЭС. Стоимость одной установки данного типа составляет 73 тыс. евро (~ 2,50 млн. руб.) (без НДС 18%).

По данным изготовителя (ООО ТПК «Инком Техника») мобильная автоматическая установка ФОДЖ (фильтр очистки диэлектрических жидкостей) (поставлена на 3 атомные станции Украины, на 6 атомных станций России, на 3 тепловые электростанции Украины) позволяет очищать масло до 4 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001. При этом, концентрация воды после очистки масла не превышает 0,003%. Установка подключается к ГМБ. Забор масла осуществляется из грязного отсека, сброс масла – через чистый отсек (рециркуляция). При этом, откачку масла выполняют насосы маслоочистительной установки. Производительность очистки – не менее 2000 (2400) л/ч масла. За один цикл степень очистки масла составляет не менее 3 классов промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001. Коэффициент очистки по всем фракциям составляет не менее 90%. Установка состоит из: блока очистки, оборудованного одним фильтром грубой очистки (заменяется после очистки 200 т масла); электрофильтра тонкой очистки (регенерируемый, количество регенераций не ограничено); блока осушки (для удаления влаги из масла). Фильтр каплеотделителя заменяется по мере загрязнения (1 фильтр на 900 т очищенного масла); системы АСУ, контролирующей все процессы очистки и осушки масла. Одна установка за 30-45 суток способна очистить 120 т масла от состояния «внеклассовое» до уровня 7-9 класса промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001. Время регенерации электрофильтров – не более 30 мин.

При обработке масел электростатическими полями: увеличивается толщина смазочного слоя на поверхности трения; возрастает несущая способность адсорбированной плёнки; уменьшается число взаимодействий выступов неровностей контактирующих поверхностей деталей; останавливается рост кислотного числа; возрастает объёмный коэффициент полезного действия гидроприводов; присадки и их свойства сохраняются; масло выступает в роли очистителя маслосистем, разрушает и вымывает ранее образовавшийся шлам.

По данным изготовителя оборудования установка ФОДЖ в зависимости от комплектации стоит 75-150 тыс. долларов США. Окупаемость установки составляет 0,5-2,0 года (в зависимости от загрузки установки).

Практика показывает, что действующие требования и методики проверок качества турбинного масла не могут гарантировать надёжную работу турбоагрегатов: турбинное масло, имеющее 11-й класс промышленной чистоты по ГОСТ 17216-2001, не гарантирует защиту подшипников и шеек роторов турбины и турбогенератора от повреждений посторонними частицами. В случае недостаточной чистоты маслосистем класс чистоты масла может резко ухудшаться (на 3-4 класса): при повышении вибрации турбоагрегата происходит

залповый вынос к подшипникам турбин и турбогенераторов накопившихся в системах маслоснабжения загрязнений. Поэтому, способы промывки маслосистем должны превосходить по эффективности любые неблагоприятные эксплуатационные ситуации.

Контроль за чистотой турбинного масла в процессе эксплуатации возможен путём применения соответствующих средств измерений, например, прибора типа ПКЖ-904А, либо оснащением турбоагрегата диагностическим комплексом, способным оперативно обнаруживать ухудшение качества турбинного масла.

На энергетическом рынке появились современные анализаторы качества масла, которые позволяют в режиме on-line оценивать чистоту эксплуатируемого масла. Например, система контроля, созданная на основе прибора Spektro Helios CACC (Спектрометр для Анализа Состояния Смазки) (ф. «Спектро Техникал Сервисес»), может быть установлена непосредственно в ГМБ.

Кафедра ТЭС Ю-Р ГТУ (НПИ) предлагает оснащать турбины ТЭС влагомерами турбинных масел типа ВТМ-2 [8], позволяющими в режиме on-line обнаруживать наличие влаги в масле на сливе из подшипников турбины (1 комплект влагомера ВТМ-2 стоит ~ 300 тыс. руб.). Опытный образец прибора в 2003-2004 гг. прошёл успешную «обкатку» на энергоблоке мощностью 300 МВт ОАО «Новочеркасская ГРЭС».

Для очистки синтетического масла (ОМТИ) от механических примесей не редко используется высокоскоростной сепаратор - установка типа «Emmie».

31.07.08 было проведено заседание Комиссии НП «ИНВЭЛ» по техническому регулированию в области электроэнергетики, на котором был рассмотрен проект стандарта организации «Энергетические масла и маслоснабжения электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования».

Актуальность выхода подобного документа назрела давно. Проект стандарта разработан филиалом «Фирма ОРГРЭ» ОАО «Инженерный центр ЕЭС» совместно с ОАО «ВТИ» на основании документов, используемых в электроэнергетике долгие годы. К сожалению, передовой опыт эксплуатации энергетических масел на объектах электроэнергетики России и зарубежных стран проект названного стандарта не затрагивает. В согласовании проекта стандарта приняли участие ограниченное число организаций: ОАО «ТГК-3», филиал «Костромская ГРЭС» ОАО «ОГК-3», филиал «Невский» ОАО «ТГК-1», ОАО «ЭНИН», ФПЗИ.

После предстоящей доработки стандарт целесообразно рассмотреть с обязательным участием специалистов ВНИИ НП, заводов-изготовителей турбин, турбогенераторов, маслonaполненного

Таблица 3. Краткая информация об установках очистки турбинных масел, нашедших применение на ТЭС России.

N п/п	Обозначение МОУ (изготовитель-поставщик)	Технические характеристики маслоочистительных установок						
		Производительность, л/ч	Содержание мехпримесей в очищенном масле, объемных %	Содержание воды в очищенном масле, объемных %	Частота вращения, об./мин.	Геометрические размеры МОУ	Цена поставки, млн. руб.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Центробежная установка ПСМ-1-3000	13200-180000 л/ч			6600			
2	Сепаратор типа А1-АОЖ (Мащзавод, Махачкала)	65 л/ч	0,009	0,009	5000	145 x 1100 x 1700	0,750	
3	Центробежный стенд модели СОГ-93ЗКТ-1 (ОАО «НИТИТесар, Саранск)	до 55 л/ч	5-10 класс промчистоты по ГОСТ 17216-2001	0,05	8000	840 x 474 x 1085	0,200	
4	Мобильная МОУ-20/6 (консорциум "Сатэн", ГРЭС-24 ОАО «ТГК-3»)	6600 и 20000 л/ч	8-9 класс промчистоты по ГОСТ 17216-2001 (перепад на фильтрах до 0,6 МПа)				0,400	
5	Стационарная термовакуумная установка с ручным управлением (консорциум «Сатэн», ГРЭС-24 ОАО «ТГК-3»)	6000 л/ч		100 % свободной воды, 80 % растворенной в масле воды			2,000 (МОУ- 20/6 совместно с термовакуумной установкой)	
6	6 СОМ (МПП «Фильтрам», Москва)	3900 л/ч	8 класс промчистоты по ГОСТ 17216-2001	не более 7,8 г/т (0,0005 %)	-	1530 x 1120 x 1910	0,600	
7	6 СОМ (МПП «Фильтрам», Москва)	1320 л/ч	8-9 класс промчистоты по ГОСТ 17216-2001		-		0,100	
8	Мобильная автоматическая установка ФОДЖ-200 (ООО «Центромашхолдинг», Москва)	90000 л/ч	2-5 класс промчистоты по ГОСТ 17216-2001	не более 0,003 %		2200 x 1500 x 2200	1,126	
9	Мобильная автоматическая установка ФОДЖ-200 (ООО «Центромашхолдинг», Москва)	6840 л/ч	не более 8 класса промчистоты по ГОСТ 17216-2001	не более 0,012 %	-			
10	Мобильная автоматическая установка (ф. «Pall»).	480 л/ч	не более 8 класса промчистоты по ГОСТ 17216-2001	-	-	1070 x 1680 x 1530	2,256.	
11	Мобильная автоматическая установка (ф. «Pall»).	4200 л/ч	не более 8 класса промчистоты по ГОСТ 17216-2001	100 % свободной воды и 80 % растворенной в масле воды		1070 x 1680 x 1530	до 5,000	
12	Сепаратор для очистки промышленного масла модели «Етпие» (высокоскоростные сепараторы серии ОСУ-S 103; ОСУ-S 204 – Альфа - Лаваль)	170 л/ч (до 1 т/ч; 1-8 м³/ч)	90 % твердых частиц размером до 5 мкм и 70 % частиц размером до 3-х мм (7 класс промчистоты по ГОСТ 17216-2001)	Свободной воды не более 10 ppm.				Опыт эксплуатации: э/б № 1 филиала «Конаковская ГРЭС» ОАО «ОГК-5»
13	ОТМ 5000 (ООО «НПФ «Энавл»))	Исходные данные: массовое содержание влаги до 1%; мехпримесей до 15-17 класса чистоты по ГОСТ 17216-2001;	8-10 класс чистоты по ГОСТ 17216-2001	После 1 прохода: уменьшение влажности в 3 раза (10 г/т). Тонкость фильтрации: 1 ст.-30; 2 ст.-5 мкм		1600 x 870 x 1850	0,672 (без НДС)	Лучше для К-210-12,8

Таблица 3. продолжение

N п/п	Обозначение МОУ (изготовитель-поставщик)	Технические характеристики маслоочистительных установок						
		Производительность, л/ч	Содержание мехпримесей в очищенном масле, объёмных %	Содержание воды в очищенном масле, объёмных %	Частота вращения, об./мин.	Геометрические размеры МОУ	Цена поставки, млн. руб.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	ПСМ 2-4	ОАО «Полтавский турбо-механический завод»	9 класс чистоты					
15	Агрегат для очистки жидких нефтепродуктов от механических примесей, влаги и шлама ПГ-225.	Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» ОАО «Горизонт»	5-8 класс чистоты (фильтр-цикл-100 т, затем смена мембранных модулей)					
16	Маслоочистительная установка «ФОДЖ» (фильтр очистки дизлектрических жидкостей) ООО ТПК «Инком Техника»)	Для повышенной производительности - не менее 2400 л/ч (для нормальной производительности - не менее 2000 л/ч)	Степень очистки за один цикл – не менее 3 класса чистоты по ГОСТ 17216-2001 (максимально достижимый класс чистоты – 4 класс). Примечание. За 30-45 суток 1 установка способна очистить 120 т масла, поступающего в грязный отсек ГМБ, от состояния «внеклассового» до 7-9 класса чистоты	Не более 0,003 %	-	2000 x 1000 x 2000 (вес-до 450 кг)	\$ 75-150 тыс. (зависит от комплектации); срок окупаемости: 0,5-2,0 года	КолАЭС, КуАЭС, КалАЭС, БалАЭС, НововАЭС, Зуевская ТЭС, Луганская ТЭС, Старо-бешевская ТЭС.

оборудования, эксплуатирующих организаций, энергоремонтных предприятий и, даже, полномочных представителей энергетической общности стран СНГ.

В заключение следует отметить:

1. К наиболее эффективным способам очистки маслопроводов системы смазывания подшипников турбины и турбогенератора, системы смазывания и регулирования питательных насосов паротурбинных установок и их турбоприводов, системы приёма, хранения и регенерации масла (главные и вспомогательные маслонасосы, масляный бак, маслоохладители с трубопроводами) относятся: пневмогидроимпульсная промывка, в том числе с применением устройств для заброса воздуха в маслосистему (эффективная очистка напорных маслопроводов и сливных патрубков и коллекторов диаметром до 300 мм за счёт организации пневмо-гидроимпульсного движения промывочного потока при сохранении опасности повреждения маслопроводов из-за возникновения гидроударов), и турботермопневмогидроимпульсная промывка (эффективная очистка напорных маслопроводов, сливных патрубков и коллекторов диаметром 300 мм и более за счёт создания масштабно – вихревой турбулизации потока в промываемых маслопроводах и значительного увеличения объёма и скорости промывочного потока при

интенсификации воздушно – кавитационных процессов в трубопроводах и сливных патрубках).

2. Некоторые особенности эксплуатируемых на ТЭС РФ установок очистки турбинных масел:

2.1. Низкую эффективность имеют используемые на многих ТЭС страны маслоочистительные установки, работающие по принципу центробежного сепаратора, типа А1-СОЖ, СОТ-933 КТ-1.

К недостаткам таких МОУ могут быть отнесены: сложность конструкции, качество изготовления центрифуг, необходимость повышенной квалификации обслуживающего персонала, длительность по времени процесса очистки масла.

Цена одной МОУ указанного типа составляет ~ 1,0 млн. руб.

2.2. Достаточный класс промышленной чистоты по очистке масла от механических примесей можно получить при использовании МОУ 20/6 (требует значительных затрат при эксплуатации). Установка может быть укомплектована стационарной термовакuumной установкой для очистки масел от влаги.

Стоимость одной комплектной установки составляет ~ 2,0 млн. руб.

2.3. МОУ типа СОМ (МПП «Фильтрам») обеспечивает высокую степень комплексной очистки масла от механических примесей и повышенного влагосодержания. Установка относительно недорогая, эксплуатационные расхо-

ды на её содержание относительно не высоки. Отсутствие автоматизации процесса очистки масла снижает привлекательность установки для пользователей.

2.4. Установки фирмы «PALL» высокоэффективны, однако, имеют повышенные эксплуатационные расходы и высокую стоимость.

2.5. Маслоочистительная установка «ФОДЖ» (фильтр очистки диэлектрических жидкостей) ООО ТПК «Инком Техника» не имеет конкурентов по степени очистки турбинных и трансформаторных масел.

В силу повышенной стоимости МОУ ФОДЖ наибольшее распространение получила на АЭС России и Украины (возможна краткосрочная аренда установки).

Литература

1. Неумин В.М. К вопросу о ресурсе и надёжности работы котлов и турбин ТЭС Холдинга РАО «ЕЭС России». – Энергосбережение и водоподготовка, 2004, № 5.

2. Ю.Н. Самородов. Анализ аварий инцидентов в работе турбогенераторов в 2001-2005 гг. – Новое в российской электроэнергетике, 2008, № 3.

3. Бахметов С.А., Неумин В.М. Повышение эффективности производства электроэнергии путём совершенствования способов очистки маслосистемы и турбинного масла турбоагрегатов ТЭС. – Сб. докладов V1 МНТК «Повышение эффективности производства электроэнергии». - Новоч-к, Ю-Р ГТУ, Новочеркасск, Оникс+, 2007, с. 295.

4. Внедрение комплексной программы очистки маслосистем на турбоагрегатах Сургутской ГРЭС-1. /Бахметов З.А., Лыско В.В. и др.// - Энергетик, 2000, № 5.

5. Бахметов С.А., Неумин В.М. Деятельность ОАО «ОГК-4» по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке, размещению опасных отходов. – Новое в российской электроэнергетике, 2008, № 1.

6. Новая технология промывки маслосистемы турбоагрегатов. - /Б.В. Ломакин, И.Ш. Загретдинов, А.М. Балашов и др.// Новое в российской электроэнергетике, 2007, № 8.

7. С.А. Гуназа. Проблемы эксплуатации энергетических масел. – Новое в российской электроэнергетике, 2005, № 1.

8. Влагомер турбинного масла. /Сулейманов В.И., Гвоздев В.С., Горбачёв В.М. и др.// - Изв. вузов. Сев.-Кавк. Регион. Технические науки, 2001, № 1.

