

УДК 620.424.1

О чистоте турбинного масла

Н.А. Пшениснов

Южно-Уральский государственный университет; ООО «НПО ЭнергоСервис»

On the problem of the turbine oil purity

N.A. Pshenisnov

South Ural State University; EnergoService Scientific and Production Enterprise LLC

Загрязнение смазочных материалов представляет собой серьезную угрозу производительности и надежности оборудования. Наиболее разрушительные частицы в турбинном масле примерно эквивалентны по размеру рабочим зазорам зон трения (скольжения) машин. Они легко остаются во взвешенном состоянии вследствие небольшого размера, турбулентного движения жидкости и отсутствия эффективного фильтрования. Наиболее частым нарушением условий эксплуатации и причиной ухудшения всех остальных показателей качества турбинного масла является его обводнение. Контроль загрязнения в смазке — процесс минимизации или устранения попадания, образования и накопления загрязнений в смазочных материалах и смазываемых системах. Контроль загрязнения включает в себя три основных этапа: исключение попадания загрязнений, их удаление и мониторинг чистоты масла. Фильтрование играет ключевую роль в снижении скорости износа подшипников. Описаны критерии, применяемые для оценки эффективности фильтров. Отмечены недостатки существующей системы очистки турбинного масла в системах маслоснабжения и регулирования отечественных турбоагрегатов. Приведены наиболее важные факторы, которые необходимо учитывать при выборе фильтра. Определена эффективность фильтров масляного бака с перегородками из латунной сетки и полиамидного фильтрующего материала. После замены латунных сеток на полиамидный фильтрующий материал в фильтрах маслобака турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ количество твердых частиц в масле размером более 5 мкм уменьшилось в 5,8 раза, чистота соответствовала классу 7 по ГОСТ 17216–2001. Количество капель эмульгированной воды в масле размером более 25 мкм снизилось в 4,7 раза. Установлено, что полиамидный фильтрующий материал удаляет воду из турбинного масла более эффективно, чем латунная сетка. В результате исследования и обобщения данных о чистоте турбинного масла для совмещенных систем маслоснабжения подшипников и регулирования турбин (в чистом отсеке главного масляного блока) необходим класс 7–8 по ГОСТ 17216–2001.

EDN: RHZHDX, <https://elibrary/rhzhdx>

Ключевые слова: паровая турбина, турбинное масло, маслоснабжение турбоагрегата, рабочая жидкость

Lubricant contamination appears to be a serious threat to the equipment performance and reliability. The most destructive particles in oil are approximately equivalent in size to the working clearances in the machine friction (sliding) zones. They easily remain suspended due to their small size, turbulent fluid motion, and the missing effective filtration. Rehydration is the most common violation of operation conditions and the cause of deterioration in all other oil quality indicators. Lubricant contamination control is the process of minimizing or eliminating ingress, formation, and accumulation of the contaminants in lubricants and lubricated systems. Contamination control includes three main stages: eliminating the contaminants ingress; their removal and monitoring the oil cleanliness.

Filtration plays a key role in reducing the bearing wear rate. The paper describes criteria used in evaluating the filter efficiency. It notes disadvantages in the existing oil purification system of oil supply and control systems in the domestic turbo units. The most important factors to consider in selecting a filter are provided. The paper determines efficiency of the oil tank filters with partitions made of brass mesh and polyamide filter material. After replacing brass meshes with the polyamide filter material in the oil tank filters of the T-180/210 LMZ turbo unit, the solid particles amount in oil larger than $5 \mu\text{m}$ decreased by 5.8 times, the purity corresponded to class 7 according to GOST 17216–2001. The amount of emulsified water droplets in oil larger than $25 \mu\text{m}$ decreased by 4.7 times. Polyamide filter material removes water from the turbine oil more effectively than the brass mesh. As the result of study and data generalization on the oil cleanliness for combined bearing oil supply and turbine control systems (in clean compartment of the main oil block), class 7 or 8 of GOST 17216–2001 is required.

EDN: RHZHDX, <https://elibrary/rhzhdx>

Keywords: steam turbine, turbine oil, frame filters, turbo unit oil supply, working fluid

Важным фактором, влияющим на работу паровых, газовых турбин и других механизмов, является состояние турбинного масла (ТМ), особенно его «механическая» чистота (наличие твердых частиц). Частицы, невидимые невооруженным глазом, наносят большой ущерб оборудованию [1]. Кроме того, следует учитывать не только твердые загрязнения. Вода является вторым наиболее разрушительным загрязнителем.

Согласно статистическим данным [2, 3], около 20...25 % вынужденных простоев турбоагрегатов на электростанциях происходит вследствие выхода из строя (отказа) подшипников, причем доля неисправностей опор скольжения, обусловленная загрязнением смазочного материала, составляет 50...55 %. Вследствие неисправностей элементов маслосистемы происходит до 10 % всех отказов турбоагрегатов [4]. Межотраслевое исследование, опубликованное Национальным исследовательским советом Канады, показало, что загрязнение твердыми частицами является основной причиной 82 % отказов оборудования, связанных с износом [5].

Цель работы — исследование влияния загрязнения ТМ на надежность работы турбоагрегатов и повышение эффективности его очистки.

Влияние загрязнения твердыми частицами на смазочные свойства ТМ. Наиболее разрушительные частицы в ТМ примерно эквивалентны по размеру рабочим зазорам зон трения (скольжения) машин [6, 7]. Требование к чистоте рабочих жидкостей (РЖ) основано на количестве твердых частиц размером 10...25 мкм,

оказывающих наибольшее влияние на снижение показателей надежности агрегатов гидросистем [8]. Они легко остаются во взвешенном состоянии из-за небольшого размера и турбулентного движения РЖ.

По сравнению с более крупными частицами мелкие менее эффективно задерживаются фильтрами и центрифугами и очень медленно оседают в резервуарах, если оседают. Более крупные частицы часто быстро дробятся на множество мелких. Когда сильно нагруженный вал турбины вращается с большой скоростью в подшипнике, возникают микроскопические повреждения, в результате чего образуется еще больше частиц.

Количество генерируемых частиц зависит от многих факторов, в том числе от типа машины, эффективности фильтрации, количества зон трения, рабочих зазоров и скоростей. Со временем концентрация мелких частиц образует абразивную среду, которая может нанести машине значительный вред.

Экспериментальные исследования показывают, что коэффициент трения в подшипниках существенно изменяется даже при низкой концентрации твердых частиц. В результате увеличения силы трения значительно повышается температура подшипника, что влияет на вязкость смазки. Воздействие твердых загрязнений проявляется в виде интенсивного абразивного износа и эрозии деталей агрегатов, вызывает явление застойной нечувствительности, заедание клапанов, золотников и других подобных элементов.

Если частицы быстро удаляются фильтром, происходит меньше повреждений, и образуется меньше новых частиц износа. И, наоборот, низ-

кая эффективность фильтрования приводит к увеличению времени пребывания частиц в жидкости, а следовательно, к большему повреждению и образованию частиц износа.

Чистота ТМ важна не только для предотвращения износа оборудования, но и для снижения деградации ТМ. Частицы загрязнений могут истощать присадки и способствовать окислению.

Влияние загрязнения водой на смазочные свойства ТМ. Наиболее частым нарушением условий эксплуатации и причиной ухудшения всех остальных показателей качества масла является его обводнение. Оно способствует увеличению скорости протекания окислительных процессов (в 3–5 раз), содержания агрессивных водорастворимых кислот (в 40...50 раз) и коррозионной активности. Эти же продукты ухудшают деаэрирующую способность ТМ. Продукты окисления растворяют цветные металлы сеток фильтров главного масляного бака (ГМБ). Цветные металлы и продукты коррозии являются катализаторами окислительных процессов в ТМ [9, 10].

Усилие трогания неподвижного золотника системы регулирования при эксплуатации масла с кислотностью 0,114 КОН, содержащего 0,3 % воды, в 60 раз больше, чем на сухом ТМ. В некоторых случаях ТМ при обводнении образует стойкие эмульсии, вследствие чего ухудшаются его смазочные свойства. Повышенная вязкость эмульсии может ухудшить условия транспортирования ТМ по трубопроводам, спровоцировать вибрацию валопровода и т. д. [11].

Степень ухудшения эксплуатационных свойств ТМ зависит от агрегатного состояния воды в ТМ. Вода может присутствовать в виде растворенной и (или) свободной. Известно, что свободная вода служит главной причиной проблем, связанных с загрязнением водой.

Наличие воды в ТМ ухудшает его смазочные свойства в условиях граничной смазки. В подшипнике при режиме граничной смазки из обводненного ТМ выделяется водород, повышающий пожарную опасность системы [12].

Важным моментом в борьбе с обводнением ТМ является определение источника попадания воды и (или) водяного пара в систему. Проникновение воды трудно полностью предотвратить, но несложный ремонт и замена износившихся деталей позволяют значительно снизить обводнение ТМ.

Контроль загрязнения и нормирование чистоты ТМ. Контроль загрязнения в смазке — процесс минимизации или устранения попадания, образования и накопления загрязнений в смазочных материалах и смазываемых системах. Контроль загрязнения включает в себя три основных этапа: исключение попадания загрязнений, их удаление и мониторинг чистоты ТМ.

Понятие «ингрессия» относится к попаданию частиц в смазочные материалы и гидравлические жидкости независимо от источника. Источники поступления загрязнений разделяют на внешние и внутренние. В зависимости от типа оборудования скорость проникновения и источники могут значительно различаться.

Для оборудования, установленного в цехах с чистой средой, основными могут быть внутренние источники (износ, коррозия и т. д.).

Для многих машин источником загрязнения является воздух (абразивная пыль), который обычно поступает через неплотности маслосистемы. Например, в 2006–2007 гг. эксплуатация десяти паровых турбин угольных энергоблоков мощностью 300...500 МВт на одной из электростанций страны на ТМ низкого качества (класс 12–17 промышленной чистоты по ГОСТ 17216–2001) приводила к ремонту вкладышей подшипников турбин на сумму около 10 млн руб/год [13].

Кроме того, воздух, содержащийся в ТМ в виде пузырьков, снижает скорость передачи гидравлических импульсов, вызывает пульсацию давления в проточных линиях и уменьшает запас устойчивости системы регулирования. Существует взаимосвязь между аэрацией, обводнением и загрязнением ТМ, обусловленная его качеством [11].

Емкости для хранения и перекачивающее оборудование также являются источниками загрязнения частицами. Фактически, свежее ТМ служит источником загрязнения.

В процессе эксплуатации в циркуляционной системе маслоснабжения турбоагрегата уровень чистоты ТМ стабилизируется. Это предполагает постоянство скорости поступления загрязнений и эффективности их удаления при фильтровании. Если какое-либо из этих условий изменится, то баланс будет потерян и восстановится на другом уровне, т. е. количество частиц, поступающих в ТМ вследствие ингрессии и удаляемых при фильтровании, должно быть одинаковым. Этот режим работы называется установившимся.

Следовательно, подсчет количества частиц на входе и выходе фильтров в установившемся режиме работы машины может оказаться полезным для определения скорости ингрессии. Для надежной работы оборудования стабильное состояние чистоты РЖ должно находиться в пределах нормы [14].

Повышение эффективности фильтрования снижает скорость износа подшипников. Требования к очистке наиболее важны при вводе в эксплуатацию турбин, а также когда оборудование вращается на низких оборотах. Именно в это время гидродинамическая пленка в подшипниках наиболее тонкая.

Кроме того, перед вводом машины в эксплуатацию рекомендуется промыть систему, чтобы обеспечить максимальную защиту от абразивного износа в критических условиях запуска [13].

Для удаления внешних загрязнений и продуктов износа, которые проникли в систему маслоснабжения, необходимы эффективные полнопоточные фильтры.

Применение байпасных фильтров в системе маслоснабжения подшипников при эксплуатации турбоагрегата под нагрузкой, как правило, малоэффективно из-за низкой пропускной способности (не более 2...5 % общего расхода ТМ), недостаточной для стабилизации на уровне нормативной чистоты. К недостаткам таких маслоочистительных установок относятся высокая стоимость, периодичность работы и повышенные эксплуатационные расходы [14].

Гидравлические системы регулирования турбин подвергаются гораздо большему риску выхода из строя из-за загрязнения РЖ, чем системы смазки подшипников. Поэтому для совмещенных систем маслоснабжения подшипников и регулирования показатели чистоты имеют более жесткие требования. Гидравлическое масло должно быть в 2–4 раза чище, чем смазочное. Например, нормативный уровень чистоты для гидравлических систем может составлять класс 7–8, что будет намного выше, чем для смазывания подшипников (класс 9–10) [15].

По данным американской компании Noria Corporation [16], рекомендуемая норма чистоты ТМ для паровых турбин и РЖ в системе электрогидравлического управления — класс 7–8.

Наблюдения показали, при эксплуатации турбины Т-180/210 ЛМЗ после ремонта, когда чистота ТМ в системе маслоснабжения подшипников и регулирования была ниже класса 7-8,

чувствительность системы регулирования несколько снизилась (увеличилось время срабатывания золотников системы регулирования) [17].

В результате исследования и обобщения данных о чистоте ТМ для совмещенных систем маслоснабжения подшипников и регулирования турбин (в чистом отсеке ГМБ) установлено, что необходим класс чистоты 7–8 [14].

Норма содержания воды в ТМ во многом аналогична показателям промышленной чистоты. По данным компании Noria Corporation [16], рекомендуемая норма содержания воды в ТМ паровых турбин не более 0,005 %, а по данным компании Ametek Spectro Scientific [18], для систем смазки турбин и систем управления — не более 0,01 %.

В соответствии со стандартом организации СТО 70238424.27.100.053-2013 «Энергетические масла и маслохозяйства электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования» (Приказ НП «ИНВЭЛ» от 12.02.2013 № 05), разработанным ОАО «Фирма ОРГРЭС» и ОАО «ВТИ», нормой промышленной чистоты ТМ для совмещенных систем маслоснабжения подшипников и регулирования турбин является класс 10, а содержание воды — не более 0,03 % [19].

Фильтрование ТМ в системе маслоснабжения.

Для полнопоточного фильтрования ТМ обычно применяют сдвоенные плоские вертикальные сетки, закрепленные в рамах и установленные в шандорах ГМБ с возможностью их периодической выемки через люк наружу для очистки от осадка. В отечественной энергетике чаще всего используют металлические (латунные) тканые проволочные сетки квадратного плетения (ГОСТ 6613–86).

Фильтрующие свойства перегородок оценивают качественными и количественными параметрами. К первым относятся размер ячеек фильтрующих сеток и максимальный размер частиц, прошедших через фильтрующую перегородку; ко вторым — коэффициент пропуска, коэффициент отфильтровывания и т. д.

Наиболее показательным критерием оценки эффективности фильтров является коэффициент пропуска частиц i -й фракции

$$W_i = 1 - \varphi_i. \quad (1)$$

Здесь φ_i — фракционный коэффициент отфильтровывания, характеризующий степень

снижения штучной концентрации частиц отдельной фракции,

$$\varphi_i = \frac{N_{i0} - N_{if}}{N_{i0}},$$

где N_{i0} и N_{if} — число частиц i -й фракции в РЖ до и после фильтра.

Эти параметры характеризуют способность фильтра задерживать частицы загрязнений во всем диапазоне их размера.

Особое внимание для оценки загрязненности ТМ заслуживают методы дисперсионного анализа, основанные на таких оптических свойствах, как поглощение, отражение и рассеяние света. При исследовании микроструктуры ТМ и изучении процессов образования и накопления загрязнений наибольший интерес представляют автоматические счетчики частиц. Они позволяют проводить подсчет частиц различных размерных групп в соответствии с выбранным стандартом.

Анализ РЖ в различных точках циркуляционной системы маслоснабжения турбоагрегатов позволяет видеть полную картину износа машины. Это дает возможность определить эффективность фильтрования, тип режима износа (нормальный эксплуатационный или повышенный) по изменению концентрации частиц, а также количество эмульгированной воды.

Для анализа чистоты ТМ специалистами Южно-Уральского государственного университета и ООО «НПО ЭнергоСервис» разработан экспресс-метод на базе отечественного прибора контроля чистоты жидкости ПКЖ-904 [17]. Исследования, проведенные с применением указанного метода, показали, что используемые латунные сетки (ЛС), как правило, не обеспечивают необходимую чистоту ТМ. При фильтровании обводненного ТМ их прочность и коррозионная стойкость недостаточны. Продукты окисления ТМ (особенно низкомолекулярные кислоты) растворяют цветные металлы сеток фильтров ГМБ. В свою очередь, цветные металлы и продукты коррозии являются катализаторами окислительных процессов в ТМ [9, 10].

Недостатки существующей системы очистки ТМ привели к необходимости подбора более эффективного фильтрующего материала.

Наиболее важными факторами, которые следует принимать во внимание при выборе фильтра для конкретного применения, являются размер, форма и твердость подлежащих уда-

лению частиц, их количество, тип и объем фильтруемой РЖ, рабочий расход, характер расхода (постоянный, переменный и (или) неравномерный), давление в системе, а также химическая совместимость фильтрующего материала с жидкостью, ее температура и свойства, грязеемкость и требуемая эффективность фильтрования.

Регенерация фильтров, т.е. степень их очистки, при прочих равных условиях определяется адгезией частиц загрязнений к очищаемой поверхности: чем она больше, тем труднее ее очистить. Целесообразность выбора тех или иных фильтрующих материалов обусловлена соотношением свойств частиц загрязнений жидкости и фильтрующей перегородки. От величины адгезии к частицам осадка зависит задерживающая способность перегородки. В непрерывно действующем фильтре осадок должен обладать минимальной адгезией к фильтрующему материалу. Чем выше эффективность регенерации фильтров, тем больше срок службы.

В последнее время в промышленной практике все чаще применяют синтетические фильтрующие материалы. Анализ показал, что всем требованиям отвечает полиамидный фильтрующий материал (ПФМ). Окончательный выбор фильтрующих перегородок для конкретных условий эксплуатации систем маслоснабжения подшипников и регулирования паровых турбин сделан по результатам исследования физико-химических свойств ткани, фильтрационных показателей и промышленных испытаний. Для фильтров грубой очистки номинальный размер ячеек составил 400...450 мкм, для фильтров тонкой очистки — 200...250 мкм [14, 17, 20].

При фильтровании ТМ сетчатые перегородки способны задерживать значительную часть воздушных пузырьков, вследствие чего это свойство сеток используют для интенсификации воздуховыделения. Сетчатые фильтры также применяют для обезвоживания ТМ [11].

Данные о чистоте ТМ в системе маслоснабжения подшипников и регулирования турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ до и после замены ЛС на ПФМ в фильтрах ГМБ приведены в табл. 1 и 2.

Эффективность фильтрования для частиц размером 10...25 мкм можно оценить по формуле (1). Для фильтров ГМБ с перегородками из ПФМ $W_{\text{ПФМ}} = 0,20$, из ЛС $W_{\text{ЛС}} = 0,44$.

Таблица 1

**Промышленная чистота ТМ в системе
маслоснабжения подшипников
и регулирования турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ**

Размер частиц, мкм	Число частиц твердых загрязнений в 100 мл ТМ	
	для фильтра ГМБ из ПФМ	для фильтра ГМБ из ЛС
5...10	11 296/1991	22 869/12 769
10...25	3152/646	6788/2957
25...50	438/147	547/464
50...100	16/11	66/44
100...200	0/0	19/16
> 200	0/0	10/9
Класс чистоты	8–9/6–7	9–10/8–9

Примечание. В числителе дроби указаны значения для грязного отсека ГМБ, в знаменателе — для чистого.

Таблица 2

**Концентрация капель эмульгированной воды
в ТМ системы маслоснабжения подшипников
и регулирования турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ**

Размер капель, мкм	Число капель воды в 100 мл ТМ в чистом отсеке ГМБ	
	для фильтра ГМБ из ЛС	для фильтра ГМБ из ПФМ
25...50	153 883	32 242
50...100	2473	916
100...200	220	89
> 200	50	38
> 25	156 626	33 285

Число твердых частиц определенного размера в фильтрате системы маслоснабжения определяется выражением [1]

$$N_{if} = N_i \frac{W_i}{1 - W_i},$$

где N_i — ингрессия твердых частиц определенного размера в РЖ за одну прокачку через циркуляционный контур системы смазки паровой турбины.

Зависимость класса чистоты ТМ от ингрессии твердых частиц N_i размером 10...25 мкм в каждые 100 мл РЖ для турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ с фильтрами ГМБ из ПФМ и ЛС показана на рис. 1. Здесь штриховая линия; обозначает установившейся режим работы турбоагрегата.

Следует отметить, что аналитическая зависимость, приведенная на рис. 1, подтверждена практикой, из которой следует, что эффективно работающие фильтры ($W_{ПФМ} = 0,2$) в системе маслоснабжения подшипников и регулирования паровых турбин не обеспечивают чистоту масла класса 7–8, если ингрессия твердых частиц загрязнений 10...25 мкм в каждые 100 мл РЖ составляет более 8 000 (чаще всего при повышенном износе подшипников, а также при низком качестве масла, ремонта и т. д.).

Обобщенные результаты измерения размеров и подсчета количества твердых частиц, загрязняющих ТМ в чистом отсеке ГМБ, приведены на рис. 2, где N — общее число частиц, имеющих размер больше, чем указанные (накопленный счет) в 100 мл пробы; X — размер частиц.

После замены ЛС на ПФМ в фильтрах ГМБ твердых частиц в ТМ размером более 5 мкм уменьшилось в 5,8 раз, чистота соответствует классу 6–7. Количество капель эмульгированной воды в ТМ размером более 25 мкм уменьшилось в 4,7 раза. ПФМ более эффективно обезвоживает ТМ, чем ЛС.

Экономический эффект от внедрения мероприятий по контролю чистоты и очистке ТМ. Загрязненная РЖ часто является причиной выхода из строя турбоагрегатов. Инвестиции в обеспечение чистоты ТМ приносят выгоду, которая значительно превышает затраты, связанные с простоями, ремонтом или заменой оборудования.

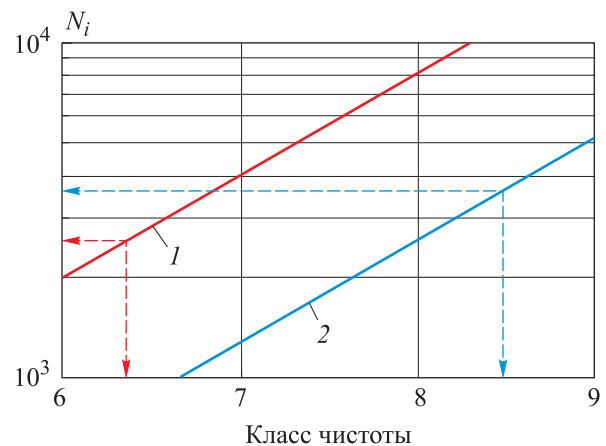


Рис. 1. Взаимосвязь между классом чистоты ТМ и ингрессией твердых частиц N_i размером 10...25 мкм для турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ: 1 — с фильтрами ГМБ из ПФМ, $W_{ПФМ} = 0,20$; 2 — с фильтрами ГМБ из ЛС, $W_{ЛС} = 0,44$

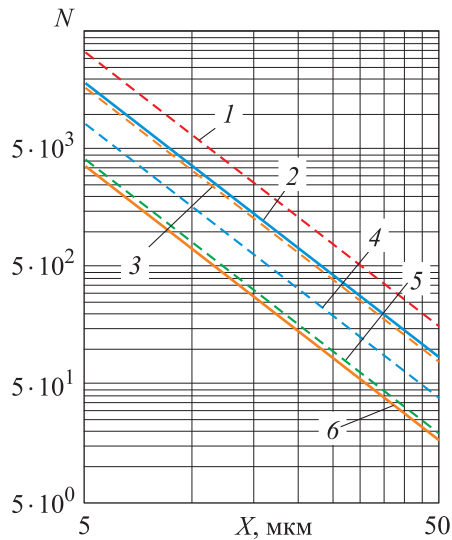


Рис. 2. Кривые твердых загрязнений ТМ турбоагрегата Т-180/210 ЛМЗ:
1, 3, 4, 5 — классы 10, 9, 8, 7;
2 и 6 — фильтрат из чистого отсека ГМБ с фильтрами ГМБ из ЛС и ПФМ

По данным [4], реализация мероприятий по повышению уровня эксплуатации энергетических масел позволяет не менее чем на 30 % сократить потребление свежих ТМ. Срок службы ТМ при правильной эксплуатации составляет 5...10 лет и снижается до 1 года при плохой. Недостаточное внимание к очистке ТМ и контролю чистоты влечет за собой увеличение расхода свежего масла, превышая нормативную потребность на 20...30 %.

Кроме того, повышаются затраты из-за регулярного применения маслоочистительных установок, приходится чаще дренировать воду, скапливающуюся в нижней части ГМБ. При ремонте в 2–3 раза возрастают трудозатраты на очистку маслосистемы от шлама и отложений, а также увеличивается время капитальных ремонтов.

Внедрение мероприятий по контролю чистоты и очистке ТМ включает в себя следующие шаги.

1. Оценка и установление нормативных показателей чистоты ТМ с помощью ГОСТ 17216–2001. Следует отметить, что каждый раз, когда класс чистоты увеличивается, количество частиц в ТМ возрастает в 2 раза, при этом примерно удваиваются затраты на очистку при переходе к каждому последующему классу. Значительного повышения надежности и срока службы оборудования можно добиться, установив нормативные значения чистоты ТМ выше, чем рекомендованные производителем.

Например, повышение чистоты с класса 10 до 8 позволит продлить срок службы в 1,5 раза [16].

2. Выбор правильного фильтрующего материала для фильтров. Для достижения нормативных показателей уровня чистоты ТМ, необходимо сделать правильный выбор фильтрующего материала. Критерии выбора должны включать в себя совместимость с РЖ, перепад давления, грязеемкость и другие технические требования. Более эффективные фильтровальные материалы, способные обеспечить нормативную чистоту РЖ, могут сократить срок окупаемости инвестиций. Материалы с длительным сроком службы еще больше повышают рентабельность.

3. Регулярный контроль чистоты ТМ. Регулярный анализ ТМ предоставит специалистам по техническому обслуживанию три важных показателя: текущий уровень чистоты ТМ, эффективность системы очистки и наличие сбоев в системе. Эта информация поможет принять соответствующие превентивные или ответные меры. Затраты, связанные с анализом ТМ, минимальны по сравнению с таковыми на замену ТМ или ремонт оборудования.

4. Очистка нового ТМ. Как показали наблюдения, новые ТМ не являются чистыми. Доливка новых ТМ без очистки наносит вред оборудованию. Когда надо долить или заменить ТМ, его необходимо очистить до нормативных показателей, а лучше до уровня на один класс выше [21]. Стало обычной практикой обходить эту работу в целях сокращения затрат. Но инвестиции в высокоэффективную очистку обычно оказываются значительно дешевле, чем последствия, связанные с попаданием загрязненного ТМ в систему, включая более частую замену ТМ и время простоя, связанное с заменой ТМ или повреждением оборудования.

5. Герметичность системы и резервуаров. Если маслосистема и резервуары с ТМ негерметичны, то загрязнители из воздуха попадают в ТМ. Повышение герметичности системы маслоснабжения может напрямую повлиять на чистоту ТМ, а следовательно, на эксплуатационные расходы.

6. Выявление и сведение к минимуму утечек ТМ. Утечки в системе приводят к двойным затратам. Они вызывают две проблемы: потерю ТМ и доступ загрязнений в систему с доливками.

Выводы

1. Экспресс-метод определения чистоты ТМ на базе отечественного прибора контроля жидкости ПКЖ-904 позволяет получать оперативную информацию о загрязненности РЖ и активно влиять на процессы загрязнения и ее очистки в системах смазки турбоагрегатов.

2. Проведена модернизация фильтров ГМБ в системе маслоснабжения подшипников и регулирования турбоагрегатов, получены экспери-

ментальные данные, подтверждающие эффективность применения ПФМ.

3. В результате исследования и обобщения данных о чистоте ТМ для совмещенных систем маслоснабжения подшипников и регулирования турбин (в чистом отсеке ГМБ) установлено, что необходим класс чистоты 7–8

4. Затраты на очистку ТМ могут быть быстро компенсированы снижением затрат на техническое обслуживание и замену поврежденного оборудования.

Литература

- [1] Осинцев К.В., Пшениснов Н.А., Пшениснов А.И. Процессы загрязнения и очистки турбинного масла в системах смазки паровых турбин. *Вестник ЮУрГУ. Сер. Энергетика*, 2022, т. 22, № 3, с. 83–89, doi: <https://doi.org/10.14529/power220309>
- [2] Бродов Ю.М., Муромский Б.Е., Мительман М.М. Анализ показателей надежности турбоустановок и энергоблоков в целом АО «Свердловэнерго». *Теплоэнергетика*, 1997, № 8, с. 23–25.
- [3] Дюфрейн К.Ф., Кеннел И.В., Маклюски Т.Х. Износ радиальных подшипников паровых турбин при малых рабочих скоростях. *Проблемы трения*, 1983, т. 105, № 5, с. 42–45.
- [4] Гвоздев В.С. *Обводнение турбинного масла и средства контроля и защиты его от влаги на турбогенераторах ТЭС*. Дисс. ... канд. тех. наук. Новочеркасск, ЮРГТУ, 2003. 156 с.
- [5] How to identify and control lubricant contamination. *machinerylubrication.com: веб-сайт*. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31963/how-to-identify-and-control-lubricant-contamination> (дата обращения: 25.10.2023).
- [6] Broeder J.J., Heijnkemp J.W. Abrasive wear of journal bearings by particles in the oil (apparatus, experiments and observation). *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1965, vol. 180, no. 11, pp. 36–40, doi: https://doi.org/10.1243/PIME_CONF_1965_180_316_02
- [7] Collins K., Duchowski J. Cleanliness requirements for journal bearing lubrication. *Pract. Oil Anal.*, 2000, no. 7. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/126/journal-bearing-contamination>
- [8] Барышев В.И. Классификация, контроль и нормирование промышленной чистоты рабочих жидкостей и масел. *Вестник ЮУрГУ. Сер. Машиностроение*, 2005, № 1, с. 149–161.
- [9] Петриченко А.Д. Эффективность существующей системы контроля турбинного масла. *Электрические станции*, 1988, № 7, с. 41–44.
- [10] Иванов К.И., Лужецкий А.А., Александров А.Н. и др. Старение и коррозионное действие турбинных масел в присутствии воды. *Теплоэнергетика*, 1970, № 2, с. 23–27.
- [11] Казанский В.Н. *Системы смазывания паровых турбин*. Москва, Энергоатомиздат, 1986. 152 с.
- [12] *Повышение экономичности, надежности и экологической безопасности ТЭС*. Мат. науч.-техн. конф. Москва, Изд-во МЭИ, 2005. 211 с.
- [13] Бахметов З.А., Неуймин В.М. Анализ способов очистки маслопроводов и установок очистки турбинных масел турбоагрегатов ТЭС. *Надежность и безопасность энергетики*, 2008, № 3, с. 50–58.
- [14] Осинцев К.В., Пшениснов Н.А., Пшениснов А.И. Анализ эффективности очистки турбинного масла в системе маслоснабжения турбоагрегатов и модернизация рамных фильтров. *Энергетик*, 2022, № 11, с. 45–49, doi: <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2022.77.89.007>
- [15] Richardson T. Contamination control objectives: cleanliness and dryness. *Machinery Lubrication*, 2022, no. 10. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/32210/contamination-control-objectives-cleanliness-and-dryness>

- [16] Oil target cleanliness calculator. *Machinery Lubrication*, 2013, no. 10. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29526/oil-cleanliness-targets>
- [17] Осинцев К.В., Пшениснов Н.А., Пшениснов А.И. Комплекс мер по повышению чистоты турбинного масла. *Электрические станции*, 2023, № 2, с. 38–43, doi: <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2023.1099.2.007>
- [18] Power generation — Spectro Scientific. *spectrosci.com: веб-сайт*. URL: <https://www.spectrosci.com/industries/power-generation-condition-based-monitoring/> (дата обращения: 25.10.2023).
- [19] СТО 70238424.27.100.053-2013. *Энергетические масла и маслохозяйства электрических станций и сетей. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. НП «ИНВЭЛ»*. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293784/4293784229.pdf> (дата обращения: 25.10.2023).
- [20] Осинцев К.В., Пшениснов Н.А., Пшениснов А.И. Эффективность многоступенчатого фильтрования турбинного масла в системе маслоснабжения турбоагрегатов. *Теплоэнергетика*, 2023, № 9, с. 28–34, doi: <https://doi.org/10.56304/S0040363623080076>
- [21] Sheffield I.N. *How to Use Fluid Cleanliness Standards to Drive Cost Control*. *Machinery Lubrication*, 2009, no. 11. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/2474/how-to-use-fluid-cleanliness-standards-to-drive-cost-control> (date accessed: 25.10.2023).

References

- [1] Osintsev K.V., Pshenisnov N.A., Pshenisnov A.I. Processes of pollution and cleaning of turbine oil in lubrication systems of steam turbines. *Vestnik YuUrGU. Ser. Energetika* [Bulletin of South Ural State University. Ser. Power Engineering], 2022, vol. 22, no. 3, pp. 83–89, doi: <https://doi.org/10.14529/power220309> (in Russ.).
- [2] Brodov Yu.M., Muromskiy B.E., Mitelman M.M. An analysis of the reliability indices of turbine installations and power-generating units in AO Sverdlovenergo. *Teploenergetika*, 1997, no. 8, pp. 23–25. (In Russ.).
- [3] Dyufreyn K.F., Kennel I.V., Maklyuski T.Kh. Wear of radial bearings of steam turbines at low operating speeds. *Problemy treniya*, 1983, vol. 105, no. 5, pp. 42–45. (In Russ.).
- [4] Gvozdev V.S. *Obvodnenie turbinnogo masla i sredstva kontrolya i zashchity ego ot vlagi na turbogeneratorakh TES*. Diss. kand. tekhn. nauk [Turbine oil watering and means of its control and protection from moisture in TPP turbine generators. Kand. tech. sci. diss.]. Novocherkassk, YuRGTU Publ., 2003. 156 p. (In Russ.).
- [5] How to identify and control lubricant contamination. *machinerylubrication.com: website*. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31963/how-to-identify-and-control-lubricant-contamination> (accessed: 25.10.2023).
- [6] Broeder J.J., Heijnkemp J.W. Abrasive wear of journal bearings by particles in the oil (apparatus, experiments and observation). *Proc. Inst. Mech. Eng.*, 1965, vol. 180, no. 11, pp. 36–40, doi: https://doi.org/10.1243/PIME_CONF_1965_180_316_02
- [7] Collins K., Duchowski J. Cleanliness requirements for journal bearing lubrication. *Pract. Oil Anal.*, 2000, no. 7. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/126/journal-bearing-contamination>
- [8] Baryshev V.I. Classification, control and standardisation of industrial cleanliness of working fluids and oils. *Vestnik YuUrGU. Ser. Mashinostroenie* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry], 2005, no. 1, pp. 149–161. (In Russ.).
- [9] Petrichenko A.D. Efficiency of the existing system of turbine oil control. *Elektricheskie stantsii*, 1988, no. 7, pp. 41–44. (In Russ.).
- [10] Ivanov K.I., Luzhetskii A.A., Aleksandrov A.N. et al. Ageing and corrosive effect of turbine oils in the presence of water. *Teploenergetika*, 1970, no. 2, pp. 23–27. (In Russ.).
- [11] Kazanskiy V.N. *Sistemy smazyvaniya parovykh turbin* [Lubrication systems of steam turbines]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 152 p. (In Russ.).
- [12] *Povyshenie ekonomichnosti, nadezhnosti i ekologicheskoy bezopasnosti TES*. Mat. nauch.-tekhn. konf. [Increase of economical efficiency, reliability and ecological safety of TPPs. Proc. Int. Sci.-Tech. Conf.]. Moscow, Izd-vo MEI Publ., 2005. 211 p. (In Russ.).

- [13] Bakhmetov Z.A., Neuymin V.M. Analysis of methods of cleaning oil pipelines and turbine oil cleaning units of TPP turbine units. *Nadezhnost i bezopasnost energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry], 2008, no. 3, pp. 50–58. (In Russ.).
- [14] Osintsev K.V., Pshenisnov N.A., Pshenisnov A.I. Analysis of the turbine oil purification efficiency in the oil supply system of turbine and modernization of frame filters. *Energetik*, 2022, no. 11, pp. 45–49, doi: <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2022.77.89.007> (in Russ.).
- [15] Richardson T. Contamination control objectives: cleanliness and dryness. *Machinery Lubrication*, 2022, no. 10. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/32210/contamination-control-objectives-cleanliness-and-dryness>
- [16] Oil target cleanliness calculator. *Machinery Lubrication*, 2013, no. 10. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29526/oil-cleanliness-targets>
- [17] Osintsev K.V., Pshenisnov N.A., Pshenisnov A.I. Set of measures to increase the purity of turbine oil. *Elektricheskie stantsii* [Electrical Stations], 2023, no. 2, pp. 38–43, doi: <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2023.1099.2.007> (in Russ.).
- [18] Power generation — Spectro Scientific. *spectrosci.com: website*. URL: <https://www.spectrosci.com/industries/power-generation-condition-based-monitoring/> (accessed: 25.10.2023).
- [19] STO 70238424.27.100.053-2013. *Energeticheskie masla i maslokhozyaystva elektricheskikh stantsiy i setey. Organizatsiya ekspluatatsii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya. Normy i trebovaniya. NP «INVEL»* [Power oils and oil farms of electric power plants and grids. Organisation of operation and maintenance. Norms and requirements. NP "INVEL"]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293784/4293784229.pdf> (accessed: 25.10.2023). (In Russ.).
- [20] Osintsev K.V., Pshenisnov N.A., Pshenisnov A.I. Efficiency of multistage filtration of turbine oil in the oil-supply system of turbo units. *Teploenergetika*, 2023, no. 9, pp. 28–34, doi: <https://doi.org/10.56304/S0040363623080076> (In Russ.). (Eng. version: *Therm. Eng.*, 2023, vol. 70, no. 9, pp. 659–664, doi: <https://doi.org/10.1134/S0040601523080074>)
- [21] Sheffield I.N. *How to Use Fluid Cleanliness Standards to Drive Cost Control*. *Machinery Lubrication*, 2009, no. 11. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/2474/how-to-use-fluid-cleanliness-stands-to-drive-cost-control> (date accessed: 25.10.2023).

Статья поступила в редакцию 27.12.2023

Информация об авторе

ПШЕНИСНОВ Никита Анатольевич — преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Южно-Уральский государственный университет; директор ООО «НПО ЭнергоСервис» (454080, Челябинск, Российская Федерация, пр-т Ленина, 76, e-mail: enserv@mail.ru).

Information about the author

PSHENISNOV Nikita Anatolievich — Lecturer, Department of Industrial Thermal Power Engineering, South Ural State University; Director. Limited Liability Company EnergoService (454080, Chelyabinsk, Russian Federation, Lenin Ave, Bldg. 76, e-mail: enserv@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Пшениснoв Н.А. О чистоте турбинного масла. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 8, с. 94–103.

Please cite this article in English as:

Pshenisnov N.A. On the problem of the turbine oil purity. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 8, pp. 94–103.