

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ТУРБИННОГО МАСЛА

Докт. техн. наук, проф. ТОРОПОВ Е. В., канд. техн. наук ПШЕНИСНОВ И. Ф.,  
инженеры ПШЕНИСНОВ А. И., ПШЕНИСНОВ Я. И.

*Южно-Уральский государственный университет,  
Уральский научно-исследовательский теплотехнический институт,  
ОАО «Челябэнерго»*

Повышенная загрязненность рабочих жидкостей в энергетическом оборудовании вызывает ускоренный износ подшипников, снижает надежность системы регулирования и уплотнений вала генератора, приводит к ускорению износа упорных колодок и вкладышей подшипников, ухудшает их эксплуатационные свойства [1]. Кроме того, загрязнение рабочих жидкостей гидросистемы сокращает срок службы гидрооборудования.

Проблема повышения надежности и долговечности энергетического оборудования не может быть решена без анализа процесса загрязнения рабочей жидкости и определения источников загрязнения, совершенствования методов и средств очистки, регламентации уровня чистоты жидкости и ее контроля.

Работа проводилась на Челябинской ТЭЦ-3 и Южно-Уральской ГРЭС с целью определения причин частых отказов в системах регулирования турбоагрегатов Т-180/210 и Т-200-130 ЛМЗ. В задачу работы также входило обоснование физического механизма процесса загрязнения рабочей жидкости в системе маслоснабжения, регламентация необходимого класса промышленной чистоты турбинного масла в соответствии с действующими нормативами и определение путей достижения требуемой чистоты в системах смазки подшипников и регулирования турбоагрегатов [2].

Загрязняющие примеси поступают в масло извне и образуются непосредственно в объеме рабочей жидкости. Скорость поступления внешних загрязнений, таких как продукты износа сопряженных пар трения, атмосферная пыль и т. д., при установившемся режиме работы турбоагрегата и неизменности внешних условий можно считать постоянной и независимой от работы масляной системы [3].

Эффективность работы фильтра можно оценить коэффициентом пропускания частиц  $W_i$  для  $i$ -й фракции

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

где  $\varphi_i$  – фракционный коэффициент отфильтровывания, характеризующий степень снижения штучной концентрации частиц отдельной фракции,

$$\varphi_i = (N_{i1} - N_{i2})/N_{i1}; \quad (2)$$

$N_{i1}, N_{i2}$  – число частиц  $i$ -й фракции в жидкости до и после фильтра.

Твердые частицы  $i$ -й фракции могут поступать в масло извне и непосредственно образовываться в нем; при установившемся режиме общее

число частиц, поступивших в масло и образовавшихся в нем за одну про- качку, можно считать постоянным  $K_i = \text{const}$ .

Число твердых частиц  $i$ -й фракции в масле на сливе после прокачки всего количества жидкости через систему маслоснабжения 1, 2, ...,  $n$  раз определим по формулам:

$$K_{i1} = K_{i0}W_i + K_i; \quad (3)$$

$$K_{i2} = K_{i0}W_i^2 + K_iW_i + K_i; \quad (4)$$

.....

$$K_{in} = K_{i0}W_i^n + K_iW_i^{n-1} + K_iW_i^{n-2} + \dots + K_iW_i + K_i; \quad (5)$$

где  $K_{i0}$  – начальное число частиц  $i$ -й фракции в масле, залитом в систему.

Разделив обе части уравнения (5) на  $K_i$ , получим уравнение в безраз- мерной форме

$$K_{in}/K_i = W_i^n K_{i0}/K_i + W_i^{n-1} + W_i^{n-2} + \dots + W_i + 1. \quad (6)$$

Остаточный член степенного ряда ( $W_i^{n-1} + W_i^{n-2} + \dots + 1$ ) быстро схо- дится при  $W_i < 1$ , т. е. при работе фильтра в маслосистеме, и расходится при  $W_i = 1$ , когда масло не фильтруется. Первый член ряда при  $W_i < 1$  стре- мится к нулю при  $n \rightarrow \infty$ ; таким образом, сумма ряда в области сходимости есть  $1/(1 - W_i)$ , а  $K_{in} = K_i/(1 - W_i)$ . Число частиц  $i$ -й фракции в фильтрате определяется по формуле  $K_{i\phi} = K_iW_i/(1 - W_i)$ , а их поступление в рабочую жидкость  $K_i = K_{in} - K_{i\phi}$ .

Зависимость между классом чистоты рабочей жидкости гидросистем по ГОСТ 17216–71 и поступлением твердых частиц  $i$ -й фракции в масло  $K_i$  для различных значений фракционного коэффициента отфильтровывания  $\phi_i$  показана на рис. 1.

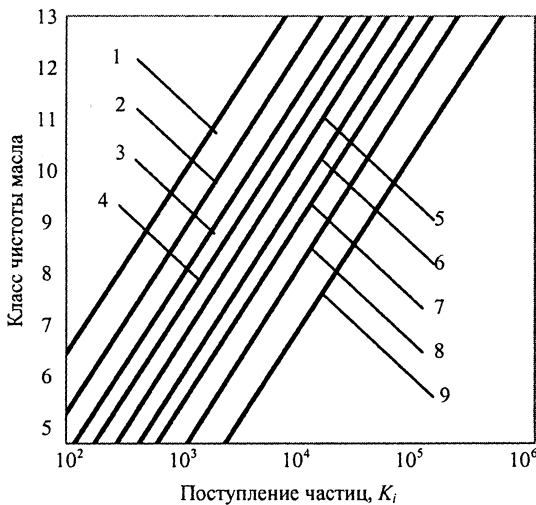


Рис. 1. Зависимость класса чистоты масла от поступления твердых частиц  $K_i$  размером 10...25 мкм для разных значений коэффициента отфильтровывания  $\phi_i$ : 1 –  $\phi_i = 0,1$ ; 2 –  $0,2$ ; 3 –  $0,3$ ; 4 –  $0,4$ ; 5 –  $0,5$ ; 6 –  $0,6$ ; 7 –  $0,7$ ; 8 –  $0,8$ ; 9 –  $0,9$

Исследования загрязнения и фильтрации турбинного масла проводи- лись в системах смазки подшипников и регулирования турбоагрегатов.

В этих системах приемный отсек бака для хранения грязного масла отделен от чистого отсека встроенными фильтрами грубой и тонкой очистки. В качестве фильтрующей перегородки используются латунные тканые проволочные сетки с квадратными ячейками размером 700 и 140 мкм для фильтров грубой и тонкой очистки соответственно.

Оценка твердых загрязнений в масле по гранулометрическому составу производилась по методике, разработанной Уральским научно-исследовательским теплотехническим институтом с помощью прибора контроля чистоты жидкости ПКЖ-904В путем анализа отдельных проб масла, отобранных во время работы турбоагрегата под нагрузкой. Масло на анализ отбиралось из потока в зонах турбулентного движения жидкости из отсеков вблизи фильтра при установившемся режиме, когда количество твердых частиц загрязнений, образующихся в системе, равно количеству частиц, задерживаемых фильтрующими перегородками [4].

Данные счета частиц проб масла из грязного отсека и фильтрата из чистого отсека приведены в табл. 1, обобщенные результаты измерений размеров и подсчета количества твердых частиц в масле на рис. 2, где применена «сетка Цинциннати»  $\lg N = f(\lg^2 X)$ . По оси абсцисс отложен квадрат логарифма размера загрязняющей частицы, по оси ординат – логарифм общего количества частиц, имеющих размеры более чем установленные, в соответствии с правилами накопленного счета.

Таблица 1

**Загрязненность масла в системе маслоснабжения подшипников и регулирования турбин до и после фильтров**

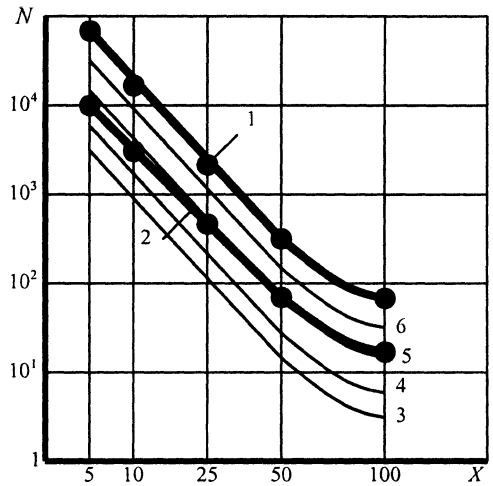
Место отбора проб	Число частиц в 100 мл масла размером, мкм				
	5...10	10...25	25...50	50...100	100
Из грязного отсека бака	50440	14318	1361	225	48
Фильтрат из чистого отсека	10058	2956	218	39	22

Чистота промышленного масла оценивалась по числу в пробе частиц размерной группы 10...25 мкм, оказывающих основное влияние на снижение показателей надежности агрегатов гидросистем и отнесенных к 8...9 классам. Следует отметить, что на практике подтвердилась линейная зависимость рис. 1 с использованием полулогарифмической сетки.

Фильтрующие элементы из латунных сеток, как правило, не обеспечивают необходимую нормативную чистоту рабочей жидкости и имеют ограниченный ресурс из-за коррозии, недостаточной прочности и износостойкости [2]. Промышленные испытания таких элементов в качестве фильтрующей перегородки в двухступенчатом фильтре грубой очистки проводились в условиях эксплуатации системы маслоснабжения подшипников и системы регулирования турбины Т-200-130 ЛМЗ на Южно-Уральской ГРЭС «Челябэнерго».

Отбор проб масла производился в следующих точках: из кранов штатных пробоотборников маслоохладителей и на сливе масла с подшипников турбины через смотровые окна с помощью специального пробоотборника. Данные счета частиц проб масла системы маслоснабжения турбоагрегата представлены в табл. 2. Недостаточный уровень чистоты масла (9...10 классы в системе маслоснабжения турбоагрегата) является следствием неэффективной работы фильтра грубой очистки.

Рис. 2. Содержание твердых загрязнений  $N$  в жидкости системы маслоснабжения и регулирования турбин по размерам  $X$ , мкм: 1 – масло из грязного отсека; 2 – фильтрат из чистого отсека; 3...6 – нормативная чистота масла для классов 7...10 соответственно



Недостатки существующей системы очистки масла привели к необходимости подбора такого фильтрующего материала и размеров ячеек фильтрующих сеток в каждой ступени фильтра грубой очистки, который обеспечил бы необходимую нормативную чистоту масла при удовлетворительной гидравлической характеристике фильтра. Кроме того, фильтрующий элемент должен быть устойчив к воздействию температуры до 100 °С и агрессивной среды, иметь достаточную механическую прочность и износостойкость, обладать достаточной емкостью по отфильтрованному осадку, т. е. удерживать на поверхности определенное количество загрязнений в виде слоя, который легко удаляется продувкой сетки струей сжатого воздуха. Из-за трудности количественного определения и сочетания этих требований подбор фильтрующих перегородок пока производится опытным путем.

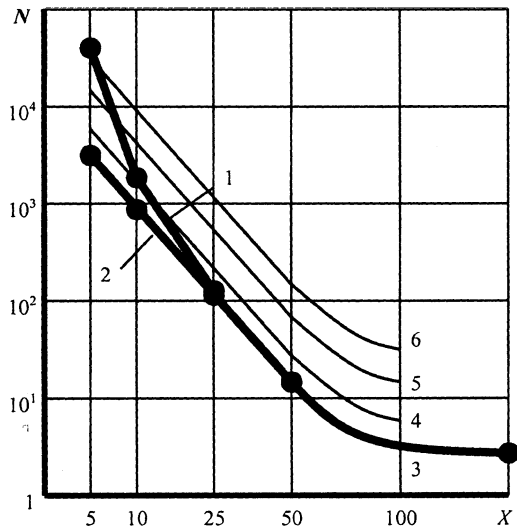
Перечисленным выше требованиям в большинстве отвечают рамные фильтры с ситовой тканью из полиамидных мононитей с номинальным размером ячеек 400 мкм – для фильтра грубой очистки и 250 мкм – для фильтра тонкой очистки соответственно. Результаты сравнительных испытаний фильтров грубой очистки с фильтрующими перегородками из ситовой ткани в системе маслоснабжения подшипников и регулирования турбоагрегата Т-200-130 ЛМЗ приведены в табл. 2. Обобщенные результаты измерений размеров и подсчета количества твердых частиц, загрязняющих масло, в чистом отсеке маслобака после установки полиамидных сеток вместо латунных (модернизация рамных фильтров) приведены на рис. 3. Здесь же для сравнения приведены данные о чистоте масла в системе маслоснабжения турбины Т-180/210 ЛМЗ на ЧТЭЦ-3 «Челябэнерго» после модернизации рамных фильтров [2].

После модернизации фильтра грубой очистки количество твердых частиц в пробах из чистого отсека маслобака с размерами более 5 мкм уменьшилось в 2,1 раза, чистота масла соответствует 8 классу. В двухступенчатом фильтре грубой очистки вместо латунной тканой проволочной сетки с размерами ячеек 700 мкм, предусмотренной техническими требованиями завода-изготовителя, при модернизации установлена ситовая ткань из полиамидных мононитей с номинальным размером ячеек 400 мкм.

**Промышленная чистота турбинного масла в системе  
маслоснабжения подшипников и регулирования  
турбоагрегата Т-200-130 ЛМЗ  
до и после модернизации фильтра грубой очистки**

Размер частиц, мкм	Число частиц в 100 мл масла из чистого отсека		
	До модернизации	После модерни- зации	После модернизации Т-180/210
5...10	69245	33868	1991
10...25	6191	1952	648
25...50	192	86	147
50...100	43	12	11
100...200	15	3	0
Больше 200	12	3	0
Класс чистоты	9...10	8	7

*Рис. 3.* Содержание твердых загрязнений  $N$  в жидкости системы маслоснабжения и регулирования турбин по размерам  $X$ , мкм: 1 – после модернизации фильтра грубой очистки Т-200-130; 2 – после модернизации рамных фильтров Т-180/210; 3...6 – нормативная чистота масла для классов 7...10 соответственно



Следует отметить, что значительное отклонение от линейности в области малых размеров частиц на рис. 3 свидетельствует о повышенном износе деталей гидрооборудования, и это связано с появлением в рабочей жидкости большого количества частиц малого размера [4].

Результаты анализа загрязненности рабочей жидкости по содержанию твердых частиц можно использовать для диагностики износа пар трения в подшипниках турбин. Так, в табл. 3 приведены данные счета частиц проб масла на сливе с подшипников турбины Т-200-130 ЛМЗ по размерам, а на рис. 4 – суммарное количество частиц в пробах всех пяти подшипников. Скорость износа четвертого подшипника, определенная по числу частиц, превышает минимальную на первом и пятом подшипнике более чем в четыре раза.

**Загрязненность масла в системе маслоснабжения турбоагрегата Т-200-130 ЛМЗ  
на сливе с подшипников**

Номер подшипника	Число частиц в 100 мл масла размером, мкм, и $K_i$					
	5...10	10...25	25...50	50...100	100...200	> 200
1	44316	4120	397	60	13	9
	10448	2168	311	48	10	6
2	46585	4049	344	46	11	8
	12717	2097	258	34	6	3
3	51632	4124	245	39	15	15
	17764	2172	159	27	12	12
4	76675	10243	363	52	14	12
	42807	8291	277	40	11	9
5	44305	3635	338	43	21	20
	10437	1683	252	31	18	17

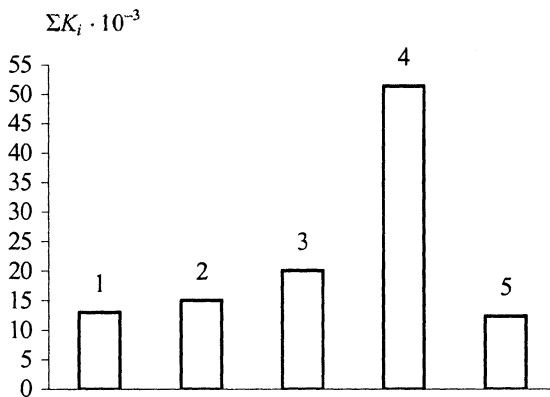


Рис. 4. Распределение  $\Sigma K_i$  по узлам подшипников турбины Т-200-130 ЛМЗ:  
1...5 – порядковый номер подшипника

### ВЫВОДЫ

1. Показано, что ситовая ткань из полиамидных мононитей обеспечивает эффективное фильтрование загрязненного масла в системе маслоснабжения подшипников и регулирования турбин.

2. Гранулометрический анализ чистоты масла на содержание продуктов износа пар трения в различных точках системы маслоснабжения турбоагрегата можно использовать для технической диагностики надежности подшипников.

3. Контроль качества очистки масла от твердых загрязнений путем анализа отдельных проб рекомендуется производить специальными приборами, например ПКЖ-904, на установках контроля чистоты масла по методике УралВТИ.

4. Нормативы промышленной чистоты масел (11...13 классы) необоснованно занижены; как показали испытания, это не обеспечивает надежную работу оборудования, класс чистоты масла в чистом отсеке совмещенных систем смазки подшипников и регулирования турбин должен быть 7...8.

1. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС / Г. П. Гладышев, Р. З. Аминов, В. З. Гуревич и др.; Под ред. А. И. Андрищенко. – М.: Высш. шк., 1991. – 303 с.
2. Торопов Е. В., Пшениснов А. И. Очистка турбинного масла в системе маслоснабжения и регулирования Т-180/210 ЛМЗ до нормативной чистоты // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1998. – № 4. – С. 54–61.
3. Рыбаков К. В., Коваленко В. П. Фильтрация авиационных масел и специальных жидкостей. – М.: Транспорт, 1977. – 188 с.
4. Коновалов В. М., Скрицкий В. Я., Рокшевский В. А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. – М.: Машиностроение, 1976. – 261 с.

Представлена кафедрой  
промтеплоэнергетики

Поступила 30.10.2003

УДК 535.33

## **ИНФРАКРАСНЫЕ ГАЗОВЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И., инж. НАЗАРОВА Е. В.**

*Белорусский национальный технический университет,  
Белорусский государственный экономический университет имени А. Д. Сахарова*

В настоящее время важность охраны биосферы общепризнанна. Уже в середине XX в. объем выбросов загрязняющих окружающую среду веществ антропогенного происхождения стал соизмерим с масштабами процессов миграции и аккумуляции различных соединений в биосфере.

Чтобы располагать информацией об уровне загрязнения окружающей среды, делать долгосрочный прогноз и принимать решения о ликвидации загрязнений, необходимо проводить мониторинг и контроль окружающей среды, цель которых – постоянное наблюдение за природными объектами (реками, озерами и т. д.), оценка их исходных состояний, прогнозирование и выявление тенденций изменения для предупреждения ситуаций, угрожающих окружающей среде и здоровью человека.

Для осуществления задач экологического мониторинга решающее значение могла бы иметь разветвленная глобальная или региональная сеть стационарных и нестационарных пунктов мониторинга, оснащенная простыми и дешевыми, но надежными датчиками на различные компоненты окружающей среды. Эти датчики должны обладать определенными преимуществами по сравнению с обычными лабораторными анализаторами и спектрометрами: точностью, высокой производительностью, оперативностью и простотой алгоритмизации результатов анализа. Необходимо, чтобы аппаратура была компактной, кроме того, приборы должны обеспечивать одновременное измерение многих компонентов спектра (линий, пи-