

УДК 539.215: 681.521.5

**КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОАГРЕГАТОВ И ГИДРОФИЦИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ \***

©2002 Л. М. Логвинов<sup>1</sup>, Е. И. Поминов<sup>1</sup>, И. А. Кудрявцев<sup>1</sup>, П. Г. Редько<sup>2</sup>,  
А. В. Амбарников<sup>2</sup>, А. С. Рухлин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет

<sup>2</sup>ОАО Павловский машиностроительный завод «ВОСХОД»

Известно, что в системах изделий, использующих энергию гидравлической жидкости, передача энергии и управление ею осуществляется посредством жидкости, находящейся под давлением в замкнутом контуре. Рабочая жидкость одновременно является смазкой и средством передачи энергии.

В статье анализируется влияние наличия посторонних твёрдых частиц (частиц износа) на смазочные свойства гидравлической жидкости и износ узлов трения гидроагрегатов.

Подробно рассмотрены вопросы применения стенда КВАНТ-903 для анализа отобранных проб жидкости в условиях ОАО ПМЗ «ВОСХОД», и датчиков встроенного контроля. Показано, что использование встроенного контроля чистоты гидравлической жидкости существенно повышает точность и оперативность анализа.

Кратко описана система встроенного контроля ФОТОН-965, внедренная на ОАО ПМЗ «ВОСХОД».

Известно, что надёжность гидравлических, топливных и масляных (жидкостных) систем различных изделий и оборудования во многом зависит от уровня загрязнённости рабочей жидкости частицами износа, генерируемыми узлами трения, т. е. от промышленной чистоты гидроагрегатов [1-3].

Составным элементом любой гидромеханической (трибомеханической) системы является рабочая жидкость, обеспечивающая смазку, отвод тепла с трущихся поверхностей и удаление продуктов износа (частиц). Если принять во внимание, что информацию о течении процесса износа можно получить по изменению параметров генерируемых частиц, то можно считать, что количество и размер частиц, выделяющихся соприкасающейся парой, представляют собой ценную информацию о техническом состоянии всего узла трения (агрегата).

Повышение надёжности жидкостных систем различных изделий, а также перевод их на техническое обслуживание и ремонт по фактическому состоянию связаны с ранним обнаружением дефектов [4-6], прогнозированием

технического состояния и оценкой остаточного ресурса дорогостоящих агрегатов (насосов, рулевых приводов, редукторов, опор валов ГТД и др.) в процессе эксплуатации. Момент и место отказа в объекте являются внезапными при отсутствии объективного контроля его технического состояния [5]. Если же контролю подвергаются все элементы и узлы изделия, то можно практически исключить появление внезапных отказов при эксплуатации машин [7].

В зависимости от причин возникновения отказы агрегатов и узлов в жидкостных системах изделий могут проявляться постепенно или внезапно (например, разрыв трубопроводов). Для изделий авиационной техники необходимо выбирать критерии, которые выявляют постепенный отказ, поскольку он характеризуется закономерным изменением параметра (чистоты жидкости) за время, предшествующее отказу. Внезапному отказу такое изменение не предшествует.

Используя различные методы неразрушающего контроля, можно часть внезапных отказов перевести в разряд постепенных (на-

\* В изготовлении устройств автоматического контроля параметров частиц износа, а также в проведении исследований принимали участие сотрудники отраслевой научно-исследовательской лаборатории (ОНИЛ-16) Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ): Фалкин В.Д., Строгонов С.В., Кондоров Д.А., Шипилов А.А., Поминов Д.Е., Галдин В.Л., а также работники ОАО ПМЗ «Восход»: Лыбин В.М., Елагина В.М., Горелов Е.А.

пример, акустическая эмиссия может дать информацию о начале усталостных разрушений деталей). Кроме того, желательно, чтобы диагностический признак имел однозначную связь с техническим состоянием объекта и позволял обнаруживать зарождение дефекта на возможно более ранней стадии его развития, а также был удобен для контроля в процессе эксплуатации и обработки при анализе [4-6].

Сигнал с выхода любого первичного преобразователя (датчика) характеризуется рядом параметров: амплитудой, длительностью, формой и частотным спектром. Появление частиц износа (загрязнения) рабочей жидкости при работе узла трения представляет собой стохастический импульсный процесс. Поэтому для более полной характеристики потока сигналов с выхода датчика целесообразно использовать такие статистические параметры, как средняя частота появления частиц, спектральная плотность, амплитудно-временное распределение, среднее значение, дисперсия, корреляционная функция и др. [2, 4, 7].

При определении вида изнашивания узла трения (усталостное, абразивное и др.) наиболее информативными являются форма сигнала на выходе датчика и распределение амплитуд выходных импульсов [2, 5]. Если интересует изменение параметров самой рабочей жидкости (например, явление деструкции, «вымывание» присадок и др.), то следует обратить внимание на соотношение скорости счёта импульсов от частиц износа и увеличения амплитуды шумового компонента в выходном сигнале [3, 5].

При проведении контроля чистоты жидкостных систем летательных аппаратов следует учитывать несколько моментов [1, 2, 5]. Уровень загрязнения жидкости в «замкнутой» гидросистеме изделия сразу после ее включения получается довольно высоким. Однако через 15...20 минут уровень загрязнения рабочей жидкости в гидросистеме становится незначительным вследствие того, что система «самоочищается» с помощью установленных в ней линейных фильтров. Через 20...30 минут в исправной системе устанавливается динамическое равновесие, которое

сохраняется в течение всего времени эксплуатации, т.е. пока не потребуется заменить линейные фильтры по причине выработки их ресурса [1, 2].

Следовательно, если контроль уровня чистоты рабочей жидкости проводится по отобраным пробам [1, 2, 5], то отбор пробы жидкости необходимо проводить спустя 20...30 минут после включения гидростенда, не изменяя режима его работы. Существенно также то, что контактные способы, основанные на отборе проб, не позволяют получать информацию об уровне загрязнения жидкости в реальном масштабе времени [2, 3, 5]. Также имеется целый ряд проблем, связанных с низкой достоверностью результатов контроля уровня загрязнения рабочей жидкости по отобраным пробам [1, 2, 5].

Рассмотрим более подробно проблему повышения объективности (правильности) контроля параметров частиц износа в жидкостных системах изделий авиационной техники и технологического оборудования на всех этапах их производства.

Для проведения исследований было оборудовано рабочее место оператора-лаборанта (рис. 1) для подсчёта числа частиц в отобранной пробе по стандартной методике [2, 8] (в табл. 1 – графа «Микроскоп»).

На первом этапе (варианты 1 и 2 в табл. 1) проводились эксперименты по оценке сходимости результатов анализа загрязнения жидкости с помощью датчика встроенного контроля (ДВК) (строка «ПОТОК» [3, 5]), контактного отбора пробы по стандартной методике (строка «Микроскоп») и контроля загрязнения жидкости путём непрерывного слива её через пробоотборный кран в приёмный стакан прибора АЗЖ – 975, минуя отбор пробы в промежуточную ёмкость (строка «АЗЖ»).

Анализ результатов показывает (табл. 1 и рис. 2), что почти пятидесятикратное расхождение по числу частиц размером 5 – 10 мкм (вариант №1 в табл. 1 и на рис. 2) при анализе пробы по стандартной методике («Микроскоп») с результатами контроля с помощью ДВК подтверждает ранее высказанную мысль [5] о весьма низкой объективности контроля чистоты рабочей жидкости по



Рис. 1 – ПЦК «Квант 903» (а) - рабочее место оператора – лаборанта, (б) - модуль 1, (в) - модуль 2

отобраным пробам, поскольку в этом случае сильное влияние оказывают загрязнения окружающего воздуха и пробоотборной посуды, «фильтрующая» способность пробоотборного крана и др. [1, 2, 5, 8].

Результаты экспериментов особенно наглядно показывают недостатки метода ото-

бранных проб, с которыми сталкивается потребитель при анализе чистых и ультрачистых рабочих жидкостей. Действительно, в условиях производства и эксплуатации авиационной техники практически невозможно качественно отмыть внутреннюю поверхность пробоотборной посуды [2, 5]. Поэтому

Таблица 1. Сравнение вариантов контроля чистоты рабочей жидкости в гидросистеме стенда (давление 20 МПа)

№ Вариант	Тип датчика	Число частиц / класс, при диапазоне размеров частиц, мкм.				Комментарии
		5 - 10	10 - 25	25 - 50	>50	
1	2	3	4	5	6	7
1	поток	407/5	196/5	8/3	0	1. Объем анализируемой пробы жидкости - 100 см <sup>3</sup> ; 2. "Класс" чистоты жидкости - ГОСТ 17216-71; 3. "Поток" - встроенный датчик контроля чистоты жидкости - разработка ОНИЛ-16 СГАУ; 4. "АЗЖ" - встроенный контроль чистоты жидкости через пробоотборный кран (редуктор) - разработка ОНИЛ-16 СГАУ; 5. "Микроскоп" - контактный контроль чистоты жидкости путем отбора пробы (стандартная методика по ОСТ 1.41144-80); 6. OS-04 - система встроенного контроля чистоты жидкости американской фирмы ХАЙЯК/ РОЙКО.
	АЗЖ	498/5	8/0	0	0	
	микроскоп	17748/10	170/5	4/2	2/3	
	поток	405/5	165/5	9/4	0	
	АЗЖ	419/5	4/0	1/00	0	
	микроскоп	27462/11	736/7	62/7	8/6	
2	поток	307/5	106/4	6/3	0	
	АЗЖ	338/5	5/0	0	0	
	поток	294/5	89/4	3/1	0	
	АЗЖ	305/5	2/00	0	0	
	поток	241/4	117/4	9/4	0	
	АЗЖ	264/5	2/00	0	0	
	поток	241/4	117/4	9/4	0	
	АЗЖ	241/4	2/00	0	0	
3	поток	-	188/5	42/6	0	
	OS-04	-	198/5	4/2	0	
	поток	-	314/6	20/5	0	
	OS-04	-	312/6	4/2	0	



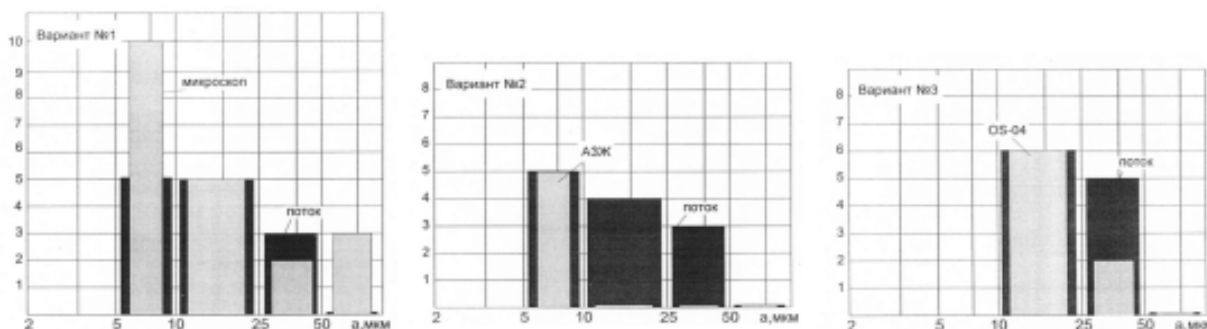


Рис. 2. Сравнение вариантов контроля чистоты рабочей жидкости в гидросистеме стенда (согласно табл. 1)

контроль чистоты рабочей жидкости по отобраным пробам рекомендуется применять лишь как аналитический при проведении небольшого объёма исследований при высокой квалификации оператора-лаборанта и соблюдая целый ряд требований существующих ГОСТов и ОСТов [2, 3, 8].

Хорошее совпадение результатов анализа чистоты жидкости с помощью ДВК и прибора АЗЖ – 975 (вариант № 2 в табл. 1 и рис. 2) имеет место только по фракции 5...10 мкм, а по фракции размером 10...25 и 25...50 мкм получается заметное расхождение, которое обусловлено, на наш взгляд, тем, что пробоотборный кран из-за высокого давления в напорной магистрали гидростенда должен «гасить» всё избыточное давление (в нашем случае – 15...20 МПа), а это можно обеспечить только малым зазором клапана в пробоотборном кране, который должен составлять единицы микрометров [2, 5]. При этом крупные частицы не попадают в пробоотборник, что приводит к снижению точности анализа.

Следовательно, подтверждая достоверность контроля чистоты жидкости с помощью прибора типа АЗЖ – 975 по фракции 5...10 мкм, видим, что контактный отбор пробы не может обеспечить достоверный контроль фракций с размерами частиц свыше 10 мкм из-за эффекта «фильтрации» частиц загрязнений клапаном пробоотборного крана (вентилля) [3, 5].

На втором этапе (вариант № 3 в табл. 1 и рис. 2) проводилось сравнение результатов анализа чистоты рабочей жидкости с помощью системы встроенного контроля типа OS – 04 (разработчик - американская фирма Хайяк/Ройко) с ДВК (разработчик ОНИЛ – 16

СГАУ) чистоты рабочей жидкости типа «ПОТОК – ФОТОН» [3, 5].

Анализируя результаты исследований по второму этапу, можно сделать вывод, что частицы размером свыше 25 мкм «теряются» в подводящих трубопроводах системы OS – 04, которые имеют большую протяжённость (порядка 10...15 метров). Кроме того, к недостатку системы OS – 04 следует отнести необходимость создания значительного давления (до 10 МПа), в то время как для нормальной работы ДВК требуется перепад давления порядка (0,05...0,1) МПа [3, 5].

Таким образом, можно утверждать, что наиболее совершенным методом контроля чистоты жидкости (наличия частиц износа) является встроенный контроль с использованием ДВК систем «ПОТОК – ФОТОН», впервые предложенный сотрудниками ОНИЛ – 16 в 80-х годах, когда ДВК встраивается непосредственно в разрыв напорной магистрали жидкостной системы, и контроль параметров загрязнений осуществляется при рабочих давлениях и расходах жидкости [2, 3, 5].

Остановимся подробнее на некоторых разработках сотрудников ОНИЛ – 16, выполненных в последние годы [9]. Автоматические приборы и системы контроля уровня загрязнения рабочих жидкостей позволяют успешно контролировать промышленную чистоту гидроагрегатов на всех этапах их производства.

Пост цехового контроля (ПЦК) «КВАНТ – 903» полностью обеспечивает проведение анализов отобранных проб рабочих жидкостей в соответствии с ОСТ 1.411 44 – 80 [8]. ПЦК, внедрённый в полном объёме на ОАО ПМЗ «Восход» (г. Павлово, Ни-

жегородская обл.), состоит из двух независимых модулей. Один из модулей (модуль № 1) может располагаться в помещении лаборатории промышленной чистоты (ЛПЧ) без предъявления дополнительных требований по пожаробезопасности и позволяет осуществлять мойку и сушку пробоотборной посуды, осуществлять дегазацию отобранных проб жидкости и контроль отобранных проб с помощью фотоэлектрических анализаторов загрязнения жидкостей АЗЖ – 975. ПЦК «КВАНТ – 903» позволяет проводить независимый и одновременный контроль четырьмя независимыми анализаторами, причём все гидравлические магистрали являются раздельными. Это позволяет не смешивать проанализированные жидкости и возвращать их в производство, что даёт существенную экономию гидравлических жидкостей.

Кроме того, с помощью модуля 1 можно осуществлять фильтрацию 100 см<sup>3</sup> жидкости на аналитический фильтр типа «Владипор» с последующим его анализом (подсчётом числа частиц загрязнений) на оптическом микроскопе. В составе ПЦК есть также одна гидролиния для анализа других рабочих жидкостей, не используемых на данном предприятии при производстве гидроагрегатов, которая может быть использована, например, для выполнения анализов по заказу других предприятий.

Модуль № 2 ПЦК «КВАНТ – 903» является пожароопасным и размещается в отдельном помещении с соответствующими требованиями по пожароопасности. Он осуществляет необходимую фильтрацию бензина, используемого для мойки пробоотборной посуды и выносных датчиков приборов АЗЖ – 975 (чистота бензина получается не хуже 1...3 класса чистоты по ГОСТ 17216 – 71). В нём расположены десятилитровые сливные ёмкости на каждую рабочую гидрожидкость (АМГ – 10, 7-50с-3, ЛМЗ – 2 и др.) и другие приспособления и устройства, которые существенным образом упрощают эксплуатацию и повышают надёжность.

Наиболее перспективной разработкой, выполненной в 1999...2001 гг., является многоцелевая система встроенного автоматического контроля чистоты жидкости ФОТОН – 965.

Она позволяет осуществлять функциональную диагностику агрегатов гидросистемы испытательного гидростенда, а также исследуемого (промываемого) гидроагрегата путём контроля изменения параметров частиц износа с помощью ДВК (рис. 3). Результаты анализа могут быть представлены в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ 17216 – 71, NAS – 1638 и ISO4406 [1, 2, 8]. Система может быть применена в авиационно-космической, судостроительной, автомобильной промышленности, энергетике и других отраслях. Она должна эксплуатироваться в помещениях, не имеющих взрывоопасных и легковоспламеняющихся жидкостей, образующих взрывоопасные зоны выше класса В – 1Б. Датчики встроенного контроля (ДВК) монтируются в разрывах гидравлической магистрали технологического оборудования путём соответствующей модернизации гидросистемы конкретного гидростенда. Система осуществляет непрерывный контроль чистоты рабочей жидкости в различных точках гидростенда, например, после насоса, на входе и на выходе водяного теплообменника.

Управление, контроль и результаты анализа состояния рабочей жидкости гидросистемы и качества промывки гидроагрегата осуществляется персональным компьютером, установленным в лаборатории промышленной чистоты (ЛПЧ) предприятия [11]. Режимы работы системы: однократный и циклический, причём результаты анализа в каждом цикле заносятся в память ЭВМ и могут быть оттуда извлечены в любой момент времени



Рис. 3. Общий вид системы ФОТОН – 965 с датчиками встроенного контроля

для детального анализа состояния исследуемого гидроагрегата и агрегатов гидросистемы промывочного стенда. Разработанное программное обеспечение с большой степенью точности позволяет прогнозировать остаточный ресурс агрегатов гидросистемы промывочного стенда, чего не обеспечивает ни одна из известных систем функциональной диагностики.

### Список литературы

1. Белянин П. Н., Данилов В. М. Промышленная чистота машин. М.: Машиностроение, 1982. 221 с.
2. Fitch E. C. Fluid Contamination Control // Technology transfer series # 4, Oklahoma, FFS, Inc. 1988. 433 p.
3. Логвинов Л. М., Кудрявцев И. А., Поминов Е. И., Васищева Г. А. Функциональная диагностика гидравлических систем с помощью датчиков встроенного контроля // Техника машиностроения. 2001. №5 (33). С. 36 – 39.
4. Биргер И. А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
5. Логвинов Л. М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости. М.: ЦНТИ «Поиск», 1992. 91 с.
6. Технические средства диагностирования: Справочник / В. В. Клюев, П. П. Пархоменко, В. А. Абрамчук и др. // под общ. ред. В. В. Клюева. М.: Машиностроение, 1989. 672 с.
7. Фролов К. В. Проблемы надёжности и ресурса изделий в машиностроении. М.: Наука, 1986. 230 с.
8. ОСТ 1.41144 – 80. Метод определения гранулометрического состава механических примесей в рабочих жидкостях. Метод анализа. М.: Госиздат, 1980. 20 с.
9. <http://www.ssau.ru/struct/nich/onil-16/>
10. Логвинов Л. М., Поминов Е. И., Строгонов С. И. и др. Пост цехового контроля загрязнения рабочих жидкостей «Квант – 903» // Тезисы докладов Всероссийской НТК «Аэрокосмическая техника и высокие технологии – 2002», 10 – 12 апреля 2002 г., Пермь, Россия. С. 167.
11. Логвинов Л. М., Кудрявцев И. А., Поминов Е. И., Редько П. Г. Многоцелевая система встроенного контроля загрязнения рабочих жидкостей типа ФОТОН – 965 // Тезисы докладов Всероссийской НТК «Аэрокосмическая техника и высокие технологии – 2002», 10 – 12 апреля 2002 г., Пермь, Россия. С.168.

## PURITY CONTROL OF HYDRO UNITS AND HYDRAULIC TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

© 2002 L. M. Logvinov, E. I. Pominov, I. A. Kudriavtsev, P. G. Redko,  
A. B. Ambarnikov, A. S. Rukhlin

Samara State Aerospace University  
Pavlovo Machine-Building Factory “VOSKHOD”, Joint Stock Company

It is known, that in products, using energy of hydraulic liquid, transfer of energy and it's management is carried out by means of the liquid under pressure in a closed contour. The working liquid is simultaneously grease and mean of energy transfer.

The article is devoted to the analysis of influence of wear debris on lubricative ability of hydraulic liquids and deterioration of friction units.

The authors made detailed description of application of developed control board KVANT-903 for analysis of samples taken at factory “VOSKHOD” and using built-in sensors.

It has been shown, that the using of built-in sensors sufficiently increases accuracy and efficiency of analysis. Briefly described developed system of built-in control FOTON-965, installed at “VOSKHOD”.