

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АГРЕГАТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕМЕЙСТВА ВЕРТОЛЕТОВ МИ-8**

© 2016 А.М. Гареев, И.А. Попельнюк

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 24.05.2016

В статье приведена принципиальная схема, технические характеристики и область применения экспериментальной установки. Рассмотрен принцип её работы. Описана методика проведения экспериментов на установке. Проанализирована возможность применения результатов для диагностики технического состояния агрегатов гидравлической системы вертолета Ми-8.

*Ключевые слова:* вертолет Ми-8, гидравлическая система, диагностика, рабочая жидкость, загрязнение, встроенный контроль чистоты.

Авиационная промышленность – отрасль российского машиностроения, интегрирующая в себе новейшие достижения науки и техники, формы и методы проектирования и производства авиационной техники. Для России, занимающей одну восьмую часть земной суши, авиационный транспорт просто необходим для нормального функционирования рынка товаров и услуг, развития регионов, межрегиональных и международных связей, в наибольшей степени отвечает национальным интересам страны.

Значительную часть парка авиационной техники в РФ занимают вертолеты, которые используют для грузовых и пассажирских перевозок в труднодоступные районы, для борьбы с лесными пожарами, для доставки грузов на большие высоты (при строительстве), для нужд оборонно-промышленного комплекса страны. При этом, одним из самых распространенных в России и в мире являются вертолеты семейства Ми-8, которые, не смотря на почти полувековую историю, продолжают оставаться эффективными и надежными машинами для решения широкого спектра задач. Именно поэтому вопросы повышения экономической эффективности эксплуатации и безопасности полетов этих машин остаются актуальными и по сей день.

Целью данной работы является разработка экспериментальной установки для проведения исследований по изучению зависимости технического состояния агрегатов гидравлической системы вертолета Ми-8 от содержания механических примесей в рабочей жидкости. Прототипом разрабатываемого оборудования является установка для испытаний и регулирования гидравлических приводов вертолёт Ми-8, входящая в состав

комплекса лабораторного оборудования кафедры эксплуатации авиационной техники. Новая установка обладает более широким функционалом (оснащена современным оборудованием с применением средств автоматизации).

Объектом исследования данной статьи является гидравлическая система (ГС) вертолета Ми-8, основной функцией которой является обеспечение управления вертолетом в продольном, поперечном и путевом каналах [1]. Для обеспечения высокой надежности и безопасности полетов на вертолете имеются основная и дублирующая системы. Основная система обеспечивает питание всех гидроагрегатов, а дублирующая – питание только гидроусилителей в случае отказа основной гидросистемы.

Анализируя принципиальную схему ГС (рис. 1), можно сделать вывод, что агрегатами, от которых в значительной степени зависит функционирование ГС являются насос и гидравлические усилители.

Известно, что надежность системы складывается из физической и схемной составляющей. Опуская способы соединения агрегатов ГС, можно говорить о том, что физическая надежность каждого из них закладывается на этапе проектирования и производства. При этом в течение времени под воздействием ряда факторов её уровень снижается. На сегодняшний день проведены исследования по оценке внешних воздействий на работоспособность ГС летательных аппаратов (ЛА) [2-4]. Резюмируя их результаты, можно сделать вывод о том, надежность и правильное функционирование ГС в значительной степени зависит от концентрации в рабочей жидкости (РЖ) механических примесей, т.к. кроме негативного влияния на саму систему, частички загрязнений вызывают деградацию свойств РЖ (вязкость, смазывающая способность и т.д.). Загрязнения попадают в систему из различных источников на всех этапах жизненного цикла. Существующие мировые и российские

*Гареев Альберт Минеасхатович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации авиационной техники.  
E-mail: gareyev@ssau.ru*

*Попельнюк Илья Александрович, аспирант кафедры эксплуатации авиационной техники.  
E-mail: osni204@yandex.ru*

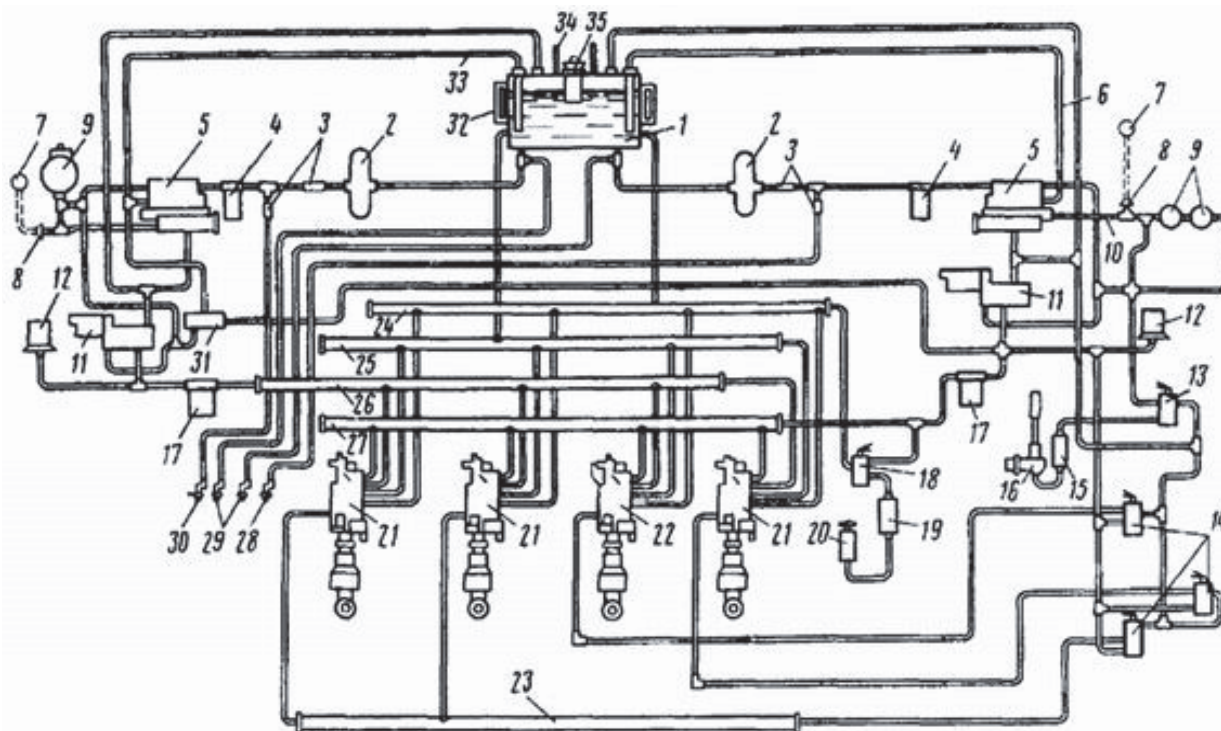


Рис. 1. Принципиальная схема гидравлической системы вертолета Ми-8:

1 — гидробак; 2 — шестеренный насос НШ-39М; 3 — обратные клапаны ОК-10А; 4 — фильтр тонкой очистки 8Д2996; 5 — автомат разгрузки насоса ГА-77В; 6 — магистраль слива жидкости от ГА-77В в бак; 7 — указатель манометра ДИМ-100К; 8 — датчик манометра ДИМ-100К; 9 — гидроаккумуляторы; 10 — магистраль подачи жидкости к управляющему золотнику ГА-77В; 11 — электромагнитный кран ГА-74М/5; 12 — сигнализатор давления МСТ-35; 13, 14, 18 — электромагнитные краны ГА-192Т; 15, 19 — дозатор ГА-172-00-2; 16 — ручка ШАГ-ГАЗ с цилиндром растопоривания фрикциона; 17 — фильтр тонкой очистки ФГ-11СН; 20 — гидроупор; 21 — комбинированные гидроусилители КАУ-ЗОВ; 22 — комбинированный гидроусилитель РА-60Б; 23, 24, 25, 26, 27 — коллекторы; 28 — бортовой клапан нагнетания основной системы; 29 — бортовые клапаны всасывания; 30 — бортовой клапан нагнетания дублирующей системы; 31 — автоматический клапан ГА-59/1 включения дублирующей системы; 32 — маслостекло; 33 — магистраль слива жидкости из автомата разгрузки насоса и клапана ГА-59/1; 34 — трубопроводы дренажа полостей гидробака; 35 — заливная горловина; 36 — сигнализатор давления МСТ-25

стандарты (NAS-1638, SAE.ARP – 598, ГОСТ 17216-71) устанавливают широкий разброс размеров частиц от 0,5 - 1 до 200 мкм. Особые затруднения вызывает удаление частиц размерами от 2 до 15 мкм, т.к. применение особо тонких фильтров существенно удорожают эксплуатацию ГС и ухудшает условия работы гидравлических агрегатов (ГА), расположенных в магистрали за ними. Поэтому, на сегодняшний день качество очистки считается удовлетворительным, если из жидкости удаляются частицы, соизмеримые с наименьшим зазором в прецизионных парах. На основании всего вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в РЖ постоянно присутствуют загрязнения. Учитывая факт, что на основе измерения количества механических примесей в РЖ можно сделать вывод о состоянии того или иного агрегата ГС, возможно разработать методику, позволяющую диагностировать ГА на основании оценки загрязненности РЖ. Такой подход позволит повысить оперативность диагностики, снизить затраты на эксплуатацию ЛА и повысить уровень надежности и безопасности полетов вертолетов семейства вертолетов Ми-8.

Для этого, в первую очередь, необходимо изучить зависимость состояния ГА от концентрации загрязнений в РЖ. С этой целью на кафедре эксплуатации авиационной техники СГАУ ведется работа по разработке экспериментальной установки, обеспечивающей функционирование того, или иного агрегата ГС вертолета в условиях, соответствующих реальным эксплуатационным нагрузкам, одновременно с реализацией контроля чистоты РЖ.

Существующие методы, позволяющие подсчитать количество частичек загрязнения в некотором объеме жидкости и распределить их по размерным фракциям, можно разделить на 2 большие группы:

1) Микроскопические методы визуального счета частиц. Применяются в лабораторных условиях и являются весьма трудоемкими и субъективными. Суть этой группы методов заключается в том, что оператор с использованием микроскопа высокого разрешения (металлографический инвертированный микроскоп или телевизионный микроскоп МТ) производит подсчет общего числа частиц в некотором объеме РЖ (пробе), а

также подсчет числа частиц в рамках принятых размерных фракций. По результатам подсчета чистота жидкости аттестуется согласно ГОСТ 17216 либо иного используемого стандарта.

2) Счет частиц с использованием автоматизированных средств контроля. Эта группа методов является наиболее прогрессивной на сегодняшний день, т.к. они позволяют сократить время оценки чистоты РЖ в 3-4 раза, повысить объективность результатов и культуру производства.

В соответствии с международным стандартом ISO 21018-1 [5] для автоматизированного контроля уровня загрязнения жидкости могут быть использованы три метода:

1) контроль по отобраным пробам (off-line контроль), при котором представительная проба рабочей жидкости изымается из потока в специальную посуду, изолируется и анализируется в лабораторных условиях;

2) контроль с установкой датчика непосредственно в основном потоке жидкости (in-line контроль);

3) контроль, при котором для размещения датчика в ГС предусматривается дополнительный гидравлический контур с малым расходом жидкости (on-line контроль).

Наиболее перспективным для применения в разрабатываемой установке выглядит метод in-line контроля, реализуемый с помощью точного анализатора загрязнений ФОТОН-965 с применением датчиков встроенного контроля (ДВК). Такой подход позволит получать информацию о состоянии РЖ в реальном масштабе времени, а применение ДВК фотоэлектрического типа – повысить достоверность проводимых экспериментов за счет их возможности выявления частиц загрязнений из различных материалов (в том числе и немагнитных) в широком размерном диапазоне.

Принципиальная схема разрабатываемой установки представлена на рис. 2.

Принцип работы установки заключается в следующем: исследуемый агрегат подключается к магистрали. Гидравлическая станция (ГС) пере-

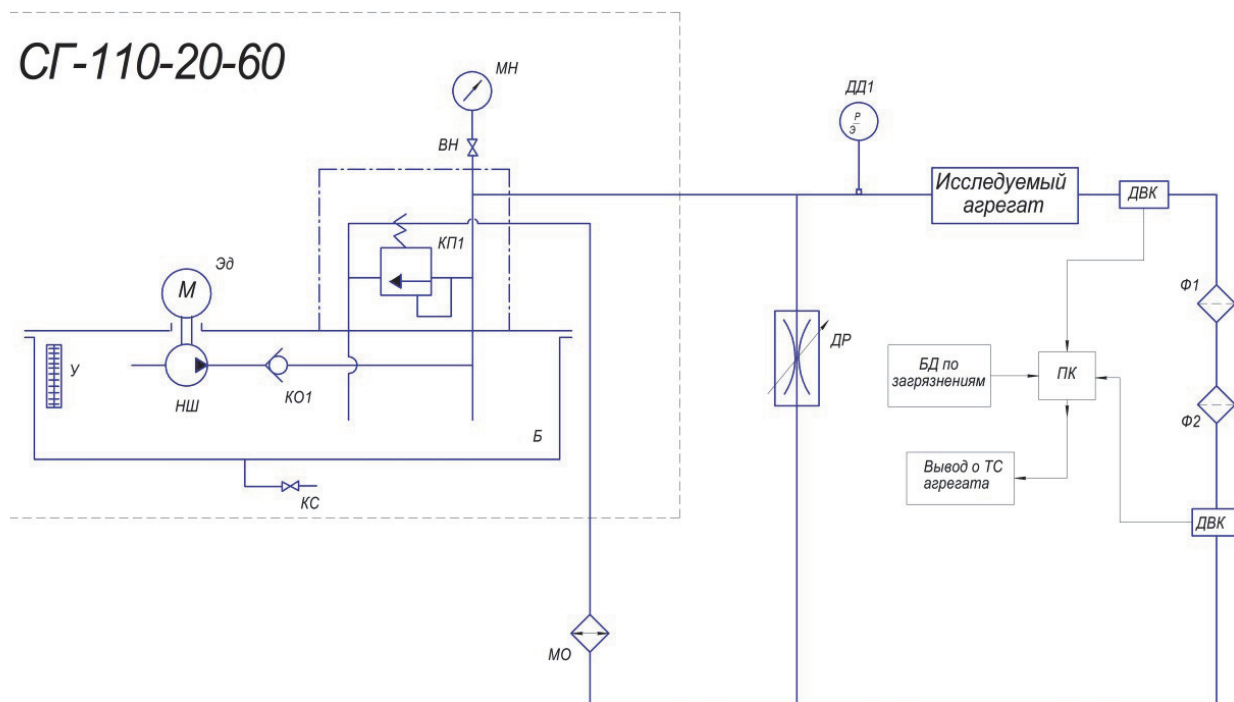


Рис. 2. Принципиальная схема установки для диагностирования агрегатов ГС

Технические характеристики:

1) Рабочая жидкость	АМГ-10 ГОСТ 6794-75
2) Объём гидравлического бака	60 л
3) Давление жидкости на выходе из насоса	11 МПа
4) Рабочее давление стенда	4,5-6,5 МПа
5) Питание установки:	
напряжение	380 В
частота тока	50 Гц
6) Коммутационное напряжение:	
постоянный ток	27 В
переменный ток	36 В
7) Мощность электродвигателя	5,5 кВт,
8) Частота вращения	N=1500 об/мин
9) Расход рабочей жидкости	20 л/мин

качивает РЖ из бака (Б), создавая необходимое давление в системе, величину которого можно измерить по манометру (МН) и, в случае необходимости, отрегулировать при помощи дроссельного вентиля (ДР). Поток рабочей жидкости проходит через исследуемый агрегат и ДВК, который в автоматическом режиме посылает информацию о количестве частиц на выходе из агрегата на ПК. Далее, пройдя через фильтры грубой и тонкой очистки и маслоохладитель, жидкость снова попадает в бак. При этом, качество очистки РЖ оценивается при помощи еще одного ДВК, установленного непосредственно после системы фильтров. Важно отметить, что установка является малогабаритной и мобильной.

Перечень составных элементов представлен в табл. 1

Для проведения экспериментов планируется использовать материальную базу учебного аэродрома Самарского национального исследовательского университета. Парк авиационной техники включает шесть вертолетов Ми-8, один вертолет Ми-6 и один вертолет Ми-2. Все образцы техники имеют различный налет в часах, что дает возможность проведения целой серии экспериментов с агрегатами одного наименования, но разной наработкой. На начальном этапе для проведения исследований будут использованы шестеренчатый насос НШ-39 и комбинированный гидроусилитель КАУ-30Б с парка вертолетов Ми-8.

Методика проводимых исследований заключается в следующем. Перед проведением опытов испытываемый агрегат необходимо продефекти-

ровать и определить их техническое состояние (ТС). Далее агрегат монтируется в магистраль установки, подается питание и происходит прокачка РЖ через агрегат с одновременным осуществлением встроенного контроля чистоты в системе. Показания ДВК-2, установленного после исследуемого агрегата и ДВК-1 за системой фильтров в автоматическом режиме обрабатываются на ПК и регистрируются оператором. Для каждого агрегата необходимо проведение целой серии экспериментов, т.к. количество частиц загрязнений на входе и на выходе из агрегата существенно изменяется вместе с изменением его ТС. Так, насосы по мере наработки, интенсивнее генерируют частицы, а вот прецизионные пары, наоборот, загрязнения не пропускают (вследствие уменьшения зазора между элементами пары).

В результате, рассчитывается разность показаний по формуле:

$$N^i = n_1^i - n_2^i,$$

где  $n_1^i$  - показания ДВК-2,

$n_2^i$  - показания ДВК-1,

$i$  - размерная фракция частиц по ГОСТ-17216-71.

Получается ряд точек, объединение которых позволяет получить некую кривую вида:

$$N^i = f(S),$$

где  $S$  – состояние агрегата, выраженное в процентах его ухудшения от первоначального.

Данная кривая иллюстрирует зависимость количества частиц на выходе от технического со-

**Таблица 1.** Перечень агрегатов, входящих в состав разрабатываемой установки

Обозначение	Наименование	Количество	Примечание
1	2	3	4
Б	Гидравлический бак	1	Объём 60 л
КО1	Обратный клапан	1	
НШ	Насос шестеренчатый	1	P=11МПа, Q=20 л/мин
Эд	Электродвигатель	1	N=5500 об/мин, N=5,5 кВт
Ф1	Фильтр грубой очистки	1	$T_\phi = 12$ мкм
1	2	3	4
Ф2	Фильтр тонкой очистки	1	$T_\phi = 8$ мкм
ДР	Вентиль дроссельный	1	
у	Указатель уровня визуальный	1	
МО	Маслоохладитель	1	
КП1	Клапан перепускной		
МН	Манометр механический	1	
ДД1	Датчик давления kulite ctl-312 (M)	1	
КС	Кран сливной сферический		

**Таблица 2.** Уровень чистоты рабочей жидкости в различных точках ГС ЛА

Участок гидросистемы	Класс чистоты
Бак (на выходе)	7 – 9
<b>После насоса</b>	
- в линии дренажа	9 – 11
- в линии нагнетания	7 – 9
После фильтра в линии нагнетания	4 – 5
<b>После потребителей (подсистем)</b>	
- шасси	7 – 10
- механизации	7 – 9
- управления	6 – 8

стояния агрегата. Важно, что показатель  $n_1$  должен соответствовать реальному состоянию РЖ в условиях эксплуатации ГС. На основании данных, приведенных в табл. 2 [4], принимаем чистоту РЖ, а соответственно и содержание частиц по ГОСТ 17216-71 соответствующее 7 классу чистоты.

Для поддержания требуемого уровня загрязнений на выходе из бака необходимо после завершения экспериментов с каждым конкретным агрегатом проводить отбор проб жидкости из бака. В случае превышения допустимого значения необходимо провести промывку фильтров и бака, и заменить жидкость на новую. Косвенным показателем снижения чистоты РЖ за баком можно оценить по показаниям ДВК-1 (за системой фильтров).

Главным результатом работы на установке, как упоминалось выше, является получение зависимости ТС агрегатов ГС от содержания в РЖ механических примесей различных размерных фракций. Основным критерием достоверности полученной зависимости является высокий коэффициент корреляции  $R_{ТС}^{P,T}$  реального и теоретического технического состояния ГА. Для агрегатов ГС ЛА принимаем  $R_{ТС}^{P,T} = 0,97$ . Добиться такого значения возможно путем проведения серии экспериментов с корректировкой внешних факторов. На основании обобщения и анализа полученных связей для различных размерных фракций частиц загрязнений будет разработан алгоритм, реализация которого

в программной среде LabView позволит автоматизировать процесс диагностики агрегатов ГС ЛА.

Таким образом, разрабатываемая установка позволяет проводить исследования по изучению зависимости технического состояния агрегатов ГС вертолета Ми-8 от содержания механических примесей в РЖ. Дальнейшее использование результатов экспериментов позволит решить важную задачу повышения надежности и безопасности полета этого типа воздушных судов.

Кроме того, спроектированная установка может быть внедрена в учебный процесс для проведения лабораторных работ по курсу надежности и технической диагностики ЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов В.А. Вертолет Ми-8: устройство и техническое обслуживание. М.: Транспорт, 1988. 278 с.
2. Гареев А.М., Тиц С.Н. Упреждающее обслуживание гидравлических систем летательных аппаратов. Самара: Издательство СНИЦ РАН, 2010. 112 с.
3. Кондаков Л.А. Рабочие жидкости и уплотнения гидравлических систем. М.: Машиностроение, 1982. 216 с.
4. Тимиркеев Р.Г., Сапожников В.М. Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986. 152 с.
5. ISO 21018-1:2003 Hydraulic fluid power – Monitoring the level of particulate contamination of the fluid – Part 1: General principles.

#### DEVELOPMENT OF THE EXPERIMENTAL APPARATUS FOR DIAGNOSTIC OF THE HELICOPTER MI-8 HYDRAULIC SYSTEM UNIT

© 2016 A.M. Gareyev, I.A. Popelnyuk

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

Principal scheme, technical characteristic and list of facilities of the experimental apparatus were adduct in the paper. Principle of its operation was considered. The methodic of the experiment with stand was described. Possibility of the result's application for the diagnostics of the helicopter Mi-8 hydraulic unit technical state was analyzed.

*Keywords:* helicopter Mi-8, Hydraulic system, diagnostic, work fluid, contamination, in-line purity control.

*Al'bert Gareyev* Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Maintenance Department. E-mail: gareevalbert@mail.ru  
*Ilya Popelnyuk*, Graduate Student at the Aircraft Maintenance Department. E-mail: osni204@yandex.ru