

УДК 629.735.064.3

Ю.С. Головка, канд. техн. наук

Національний авіаційний університет, г. Київ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОСИСТЕМЫ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СЕРВОЗОЛОТНИКОВОГО РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Наводяться дані про фактичну забрудненість робочої рідини гідросистем вертольотів і вплив забруднення робочої рідини на характеристики сервозолотників систем керування.

At this article the information about real contamination of helicopter hydro systems and its influence on control systems servo valves performances are considered.

Введение

Опыт эксплуатации воздушных судов показывает, что значительное число летных происшествий связано с отказами гидравлических систем и электрогидравлических систем управления [1–3].

Как показывает отечественная и зарубежная практика, повышенная загрязненность рабочей жидкости является в 70–90 % случаев причиной отказа гидросистем, в 50 % случаев отказа газотурбинных двигателей. Кроме того, загрязненность жидкости приводит к снижению срока службы агрегатов в 1,5–3 и более раз.

Наличие в рабочей жидкости частиц загрязнений прежде всего приводит к повышенному износу элементов и снижению ресурса гидроагрегатов. Даже монотонное изменение структурных параметров агрегатов может привести к выходу за пределы допуска функциональных параметров, например, коэффициента полезного действия или комплексного показателя надежности. При определенных условиях износ может привести к полному отказу агрегата, а при отсутствии дублирования, к отказу системы. Обобщение экспериментальных исследований надежности машин, а также испытаний на чувствительность к загрязнению, с учетом типовой гистограммы нагружения, дает зависимость показателей надежности от класса чистоты рабочей жидкости в соответствии с ГОСТ Р 17216-2001 (рис. 1).

Результаты исследования

Как видно из графика, показанные здесь кривые, отражающие изменение ресурса гидроагрегатов и время простоев машин в зависимости от класса чистоты рабочей жидкости, практически зеркальны. Особенно резко возрастают простои машин при работе гидроагрегатов на загрязненной жидкости (класс чистоты рабочей жидкости с 19 по 22).

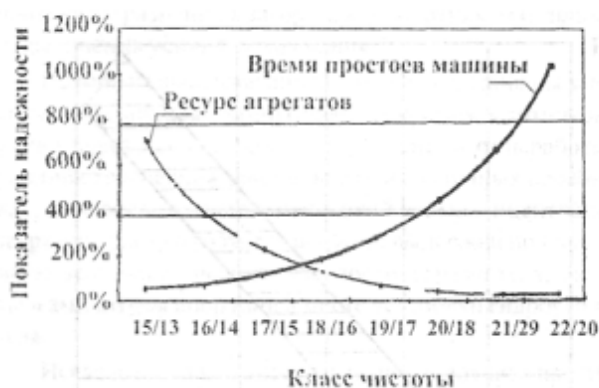


Рис. 1. Зависимость ресурса агрегатов и времени простоя машин от чистоты рабочей жидкости.

В настоящее время в связи с увеличением массы различных машин и для того, чтобы облегчить работу оператора, все чаще применяют различные гидравлические усилители и электрогидравлические автоматические системы управления. Эти системы включают в себя сервозолотники и золотниковые пары с малыми усилиями для перемещения золотников. Названные устройства с цилиндрическими золотниками имеют диаметральный зазор (золотник–гильза) в пределах 10–15 мкм, подвержены облитерации и чувствительны к загрязнениям.

Некоторые ведущие мировые фирмы, выпускающие такую продукцию, провели собственные исследования и выработали требования к чистоте рабочей жидкости и регламентирующие усилия на золотниках, считая, что превышение заданных усилий может привести к отказу автоматической системы управления.

Так, исследования, проведенные фирмой «General Electric», показали [3], что золотники являются самыми чувствительными к загрязнению элементами гидравлической системы, и уровни загрязнения для них должны

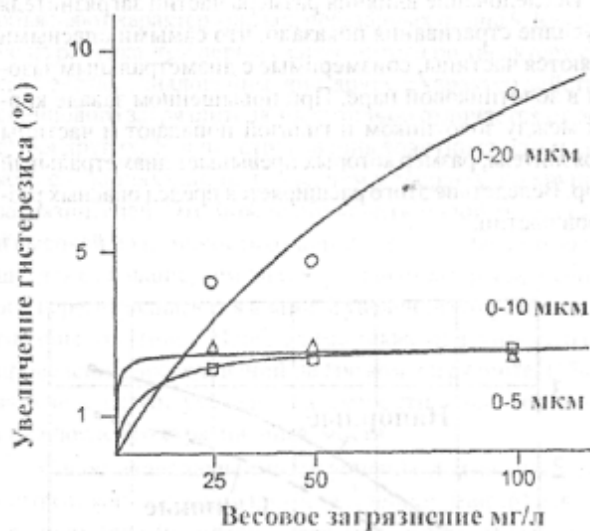


Рис. 5. Увеличение гистерезиса сервозолотника при работе на загрязненной жидкости.

Как видно из рисунка, исследуемый сервозолотник при определенной концентрации загрязнений незначительно реагирует на частицы в пределах 0–5 мкм и 0–10 мкм, однако, когда при определенной концентрации размеры частиц возросли до пределов 0–20 мкм, сервозолотник проявил чувствительность, которая должна быть оценена при проектировании гидросистемы.

Изменение характеристик сервозолотника необходимо учитывать, поскольку статические характеристики сервозолотника в значительной мере влияют на динамические характеристики системы управления воздушного судна в целом.

Таким образом, попадание загрязнений в зазор золотниковой пары увеличивает ее износ, увеличивает усилие страгивания золотника и увеличивает гистерезис сервозолотникового распределителя. В некоторых случаях это может привести к полному заклиниванию сервозолотника, т.е. к полному отказу гидроусилителя системы управления вертолета, так как гидроусилитель не дублирован, а возможность управления вертолетом без гидроусилителей имеется лишь при его полетной массе менее 3 тонн.

Учитывая приведенные выше данные, были проведены исследования фактической загрязненности гидросистем вертолетов [2] и было установлено, что количество частиц загрязнений в гидросистеме в общем случае может быть определено по следующей формуле

$$n_c = n_0 \exp\left(-\varphi K \frac{Q}{V} t\right) + \frac{n_n}{\varphi K} \left[1 - \exp\left(-\varphi K \frac{Q}{V} t\right)\right]$$

где n_c — количество частиц определенного размера в единицу объема рабочей жидкости; n_0 — количество этих частиц в начале эксплуатации; n_n — количество этих ча-

стиц, поступающих в единицу объема рабочей жидкости за один полный проход жидкости; φ — коэффициент отфильтровывания частиц определенного размера; K — отношение расхода рабочей жидкости, проходящей через фильтр, к общему расходу в гидросистеме; V — объем жидкости в гидросистеме; t — время.

Данные по загрязненности рабочей жидкости гидросистем двух типов вертолетов показывают, что в исследованных пределах наработок количество загрязнений каждой фракции колеблется вокруг определенного уровня. Выявлено также, что эти загрязнения имеют широкий дисперсный состав. В жидкости присутствуют частицы размером от 2 до 100 мкм, в том числе значительное количество частиц, соизмеримых с размером зазоров в золотниковых парах и представляющих наибольшую опасность для их работоспособности.

В процессе эксплуатации происходит износ отсечных кромок золотников, что увеличивает вероятность проникновения загрязнений в зазор между золотником и гильзой и увеличения усилия страгивания.

Исходя из вышесказанного, были исследованы зависимости величины эрозии отсечных кромок золотников и утечек через золотниковый распределитель от наработки, усилий страгивания золотников при различных наработках, от расположения золотниковой пары, концентрации загрязнителя, его размера, времени выдержки под давлением, величины давления, твердости загрязнителя, частоты и амплитуды вибрации в месте установки гидроусилителя.

Исследования усилий страгивания золотника при различных условиях проводилось на рабочей жидкости, взятой из гидросистемы реального эксплуатирующегося вертолета, а концентрация загрязнителя в ней регулировалась путем отстаивания в пределах концентрации загрязнений, обнаруженных в реальной жидкости.

В качестве объекта исследования был выбран сервозолотниковый распределитель комбинированного управления гидроусилителя системы управления вертолета.

Установлено, что усилие страгивания значительно зависит от наработки золотниковой пары. Из показанной на рис.6 зависимости видно, что усилие страгивания при изменении концентрации реального загрязнителя в исследованных пределах от 0,002 до 0,012 % увеличивается линейно и на 20 % выше при наработке золотниковой пары 2215 ч.

Для уточнения причин увеличения усилий страгивания золотника от наработки были сняты профилограммы отсечных кромок золотников, три из которых приведены на рис. 7. Из рисунка видно, что с увеличением наработки увеличивается завал отсечных кромок золотников.

В результате обработки 300 профилограмм отсечных кромок золотников была получена зависимость износа отсечных кромок золотников от наработки (рис. 8), из которой видно, что износ кромок практически пропорционален наработке, хотя наблюдается тенденция к уменьшению скорости износа с увеличением наработки. Кроме

того, легко заметить, что сливные отсечные кромки золотников изнашиваются меньше, чем напорные, так как к напорным кромкам рабочая жидкость поступает с торца пояса, а к сливным — со стороны цилиндрической части. Влияние завала отсечных кромок золотника на усилия страгивания, очевидно, можно объяснить лучшими условиями попадания частиц загрязнения в зазор при увеличенном износе.



Рис. 6. Зависимость усилия страгивания золотника от концентрации естественного загрязнителя при различной наработке:

- 1 — новый золотник;
- 2 — золотник, отработавший 750 ч.;
- 3 — золотник, отработавший 2215 ч.

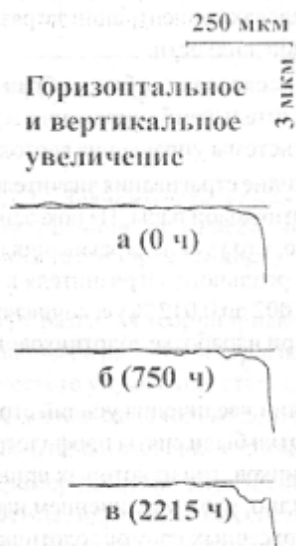


Рис. 7. Профилограммы отсечных кромок золотника: а — новый золотник; б — золотник, отработавший 750 ч.; в — золотник, отработавший 2215 ч.

Исследование влияния размера частиц загрязнителя на усилие страгивания показало, что самыми опасными являются частицы, соизмеримые с диаметральным зазором в золотниковой паре. При повышенном завале кромок между золотником и гильзой попадают и частицы загрязнителя, размер которых превышает диаметральные зазор. Вследствие этого расширяется предел опасных размеров частиц.

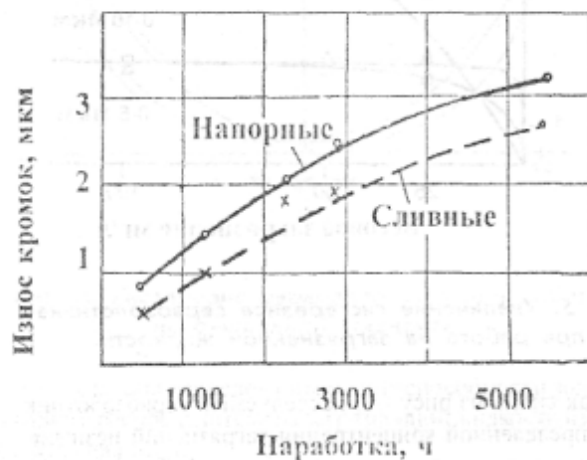


Рис. 8. Зависимость износа отсечных кромок золотников от наработки.

Кроме перечисленных факторов, на усилие страгивания золотника также влияют физико-химические свойства загрязнителя, в частности, его твердость и пластические свойства. Для проведения этих исследований были выбраны искусственные загрязнители, приведенные в таблице 1. Фракционный состав загрязнителя подбирался методом отстаивания его из рабочей жидкости, и средний размер всех загрязнителей во всех случаях был близок к 10 мкм.

Таблица 1

Загрязнитель	Плотность $кг/м^3 \cdot 10^3$	Микротвердость $Н/м^2 \cdot 10^5$
Окись магния	3,2	1000–1200
Вольфрам	19,3	400
Хром	7,1	200
Свинец	11,4	5

Все приведенные загрязнители значительно отличаются друг от друга по физико-химическим свойствам. Окись магния по твердости и другим свойствам близка к основному компоненту загрязнений гидросистемы — к окиси кремния, в то время как твердость свинца значительно ниже, но он обладает более высокими пластическими свойствами. Приведенные свойства загрязнителей

объясняют характер кривых, показанных на рис.9. Как видно из рисунка, три первых загрязнителя по характеру своего действия аналогичны друг другу, а характер действия свинцового загрязнителя значительно отличается от действия других. Усилие страгивания золотника при малых концентрациях свинца выше, чем у твердых, но хрупких загрязнителей. Это можно объяснить малой твердостью и высокой пластичностью свинца, вследствие чего частицы, даже большие, чем диаметральный зазор в золотниковой паре, вдавливаются в зазор и увеличивают усилие страгивания золотника. Необходимо также отметить, что при проведении исследований на мягком загрязнителе было замечено резкое уменьшение скорости движения золотника после его страгивания с места.

Сопоставляя зависимости усилий страгивания золотников от концентрации при естественном (рис. 6) и искусственном (рис. 9) загрязнителях, можно сделать вывод, что искусственный загрязнитель, состоящий из частиц хрома, удовлетворительно имитирует естественный загрязнитель, взятый из гидросистемы эксплуатирующегося вертолета.

Исследование влияния расположения золотниковой пары на усилия страгивания золотника показало, что усилие страгивания при горизонтальном расположении оси золотниковой пары на 20–30 % выше, чем при вертикальном. Это явление наблюдалось при любых условиях эксперимента. Влияние расположения оси золотниковой пары можно объяснить односторонним прижимом золотника к гильзе под действием его массы 0,053 кг при горизонтальном положении и лучшим его центрированием в гильзе при вертикальном.

Вибрация любой авиационной конструкции является нежелательным явлением и может привести к нарушениям прочности конструкции, чистоты поверхности сопряженных деталей и другим вредным последствиям. Одновременно вибрация может оказывать положительное влияние и уменьшать усилия страгивания в распределительных устройствах.

Преобладающей частотой вибраций на вертолетах является частота 10–16 гц с амплитудой от 0,14 до 1 мм. В лаборатории исследовалось влияние вибрации на усилия страгивания сервозолотника при частоте вибрации 16 гц в диапазоне амплитуд от 0,2 до 1 мм при различном расположении оси золотниковой пары относительно направления колебаний. Кроме того, были проведены исследования влияния на усилия страгивания золотника более высоких частот.

Висновки

Исследования показали, что при вибрации конструкции с частотой 16 гц и с амплитудой 0,1 мм стабилизируются утечки через золотниковую пару на первоначальном уровне, вибрация с частотой 16 гц и амплитудой 0,6 мм уменьшает усилие страгивания золотника на 20–30

% и вибрация с частотой выше 60 гц и с амплитудой более 0,1 мм практически уменьшает усилие страгивания золотника до нуля, и дальнейшее увеличение частоты не изменяет усилий страгивания.

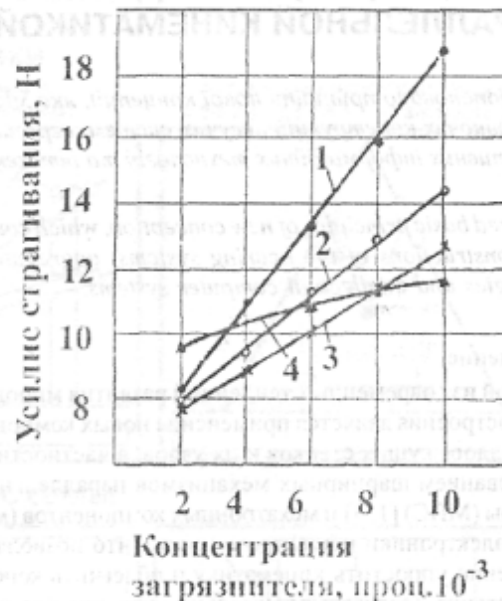


Рис. 9. Зависимость усилия страгивания золотника от концентрации загрязнителя с различными физико-химическими свойствами:
1 — окись магния;
2 — вольфрам;
3 — хром;
4 — свинец.

Литература

1. Логвинов, Л.М. Анализ и синтез преобразователей концентрации дисперсной фазы для систем управления и контроля технического состояния изделий авиационной техники. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — Самара: СГАУ, 1995.
2. Головки, Ю.С. Исследование загрязненности рабочей жидкости гидросистем вертолетов // Межвуз. темат. сб. «Вопросы надежности гидравлических систем летательных аппаратов», вып. 1. — 1974. — С. 45–49.
3. Hocutt, M.G. Establishing Hydraulic System Operational Contamination Limits. SAE. Aerospace Fluid Power Systems and Equipment Conference. — Los-Angeles (California). — 1965. — P. 233–237.
4. Tessman, R., Hong, T. Contamination Control of Aircraft Hydraulic Systems // FES/BarDyne Technology Transfer Publication #10. — 1998. — P. 1–18.

Надійшла 05.07.2010 р.