

Анализ на замърсяването на хидравличните работни течности и влиянието му върху работата на системите за задвижване

Илчо Ангелов, Никола Станчев

Analysis of the hydraulic oil contamination and its influence of the operation of the hydraulic systems. Oil is the central component of any hydraulic system. If a system fails, contamination is one of the major reasons. This article explains the basics of contamination control and serves as a reference and information tool.

Key words: Hydraulic oil, Contamination, Hydraulic System, Filter;

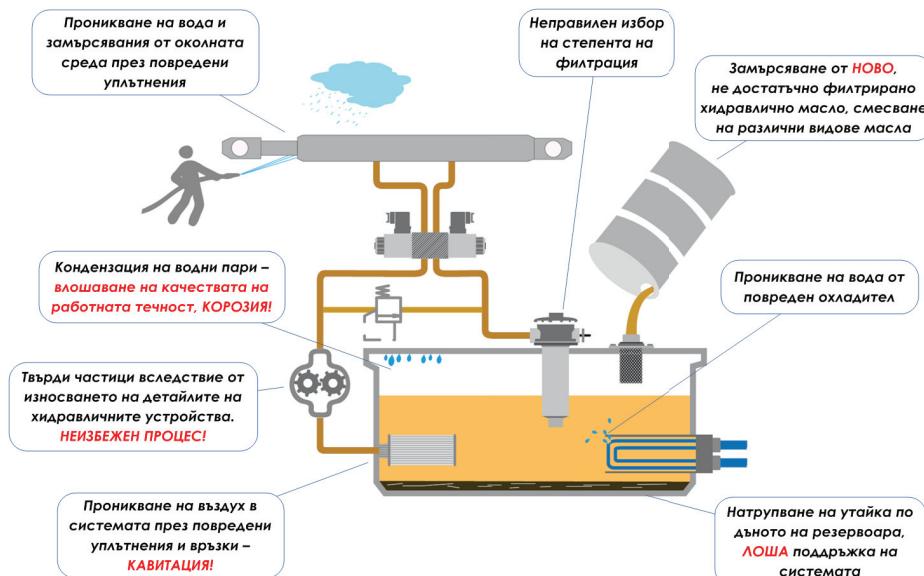
ВЪВЕДЕНИЕ

В хидравличните системи енергията се предава към изпълнителните органи чрез работната течност, която се използва при изключително тежки условия – пренасяне на енергия с висока концентрация, високи налягания, големи знакопроменливи скорости и ускорения с вибрации, широк диапазон на температурите, дроселирания при големи падове, при което дори настъпва разкъсване на молекулите и т.н.

От качествата на работната течност зависят дълготрайността и надежността на хидравличните системи, техните статични и динамични характеристики.

1. Източници на замърсяване в хидравличните системи.

От Фиг. 1 могат да се видят илюстративно основните източници на замърсяване в една хидравлична система за задвижване работеща в отворен циркулационен кръг.



Фиг. 1. Основни източници на замърсяване в хидравличните системи

1.1. Твърди частици

Твърдите частици - основният причинител на замърсяването, попадат в работната течност по следния начин:

- от износване на детайлите на хидравличните елементи, помпи, хидромотори, клапани.
- от непочистени преди монтажа хидравлични устройства и системи, от въздуха, който прониква в резервоарите с работната течност по време на функционирането на хидравличната система.
- при ремонтни дейности, запълване и добавяне на масло в резервоарите от обслужващия персонал.

Трябва да се има предвид също, че новото масло от производителя не отговаря на изискванията за чистота на повечето хидравлични системи. При пускане на системата в действие, маслото трябва да бъде пречистено през филтри със степен на филтрация поне 10 μm . При изследване на новопроизведеното масло е било установено наличието на повече от 128.000 твърди частици, по-големи от 10 μm във всеки 100 ml обем масло. Това замърсяване е твърде високо, даже и за системи със средни изисквания по отношение на чистотата на работната течност.

1.2. Вода

Водата в работната течност, дори когато е в малки количества, превишаващи нивото на адсорбция на маслото може да ускори стареенето му породено от оксидацията, както и да доведе до засилване на корозията и повишаване износването на елементите. Водата също може да причини промяна в състоянието на определени добавки в маслото, да предизвика отлагането на утайка от твърди или тинести субстанции, които могат да предизвикат задръстване порите на филтриращите елементи или запушване на малки хлабини и капилярни канали в хидравличните елементи.

Водата навлиза в работната течност по два начина:

- кондензация на водните пари, съдържащи се във въздуха. При спиране на хидравличните системи маслото в резервоарите се охлажда, намалява работения си обем и освободеното пространство се запълва с въздух. При кондензацията на водните пари във въздуха водата попада в работната течност.

- смесване на работната течност с вода от охладителната система. При нарушаване на херметичността между двете течности те се смесват.

Максималното допустимо количество вода в маслото е около 0.5%.



Фиг. 2. Сравнение на минерални масла с различно съдържание на вода

1.3. Температура

Много важен фактор при експлоатацията на хидравличните системи работещи с течности на минерална основа е температурата. На основата на редица стандарти и препоръки могат да се определят следните температурни режими за работоспособността на хидравличните системи:

-40°C, минимална температура на околната среда, при която могат да издържат уплътнителните възли на хидравличните елементи;

-20°C, минимална температура на околната среда, при която след включване на помпите за подгряване на работната течност да се използват хидравличните изпълнителни механизми;

0°C, температура на околната среда, при която хидравличните системи на кормилните устройства трябва да отговарят на техническите спецификации;

+20°C, хидравличната система напълно отговаря на техническите спецификации;

+50°C, Оптимална температура на хидравличната система при продължителна работа;

+80°C, максимална температура на работната течност, при която се обезпечават основните технически параметри на хидравличната система;

+90°C, максимална температура при кратковременна работа на хидравличната система - не повече от 10% от времето на работа.

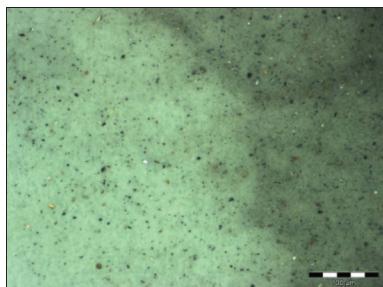
Температурата оказва силно влияние върху стареенето на работната течност, повишаването и с 10°C над оптималната работна температура удвоява скоростта на стереене на работната течност.

2. Класификация и анализ на замърсяването в хидравличните работни течности

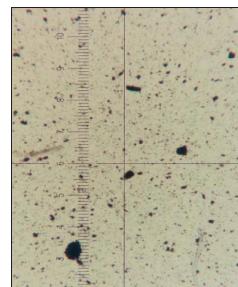
Класификационните системи (стандартизирани класове на чистота) служат за количествена оценка на твърдите частици, присъстващи във флуидите. Най-използваните в днешно време стандарти са **NAS 1638-01/1964** (Национален аерокосмически стандарт) и **ISO DIN 4406-1999**. Измерванията се извършват основно с лазерни автоматични броячи на частици, които могат да правят анализ в реално време, свързани директно към хидравличната система, или ако това не е възможно, те могат да анализират от бутилки с проба от работната течност.

2.1. Класификация по стандарт ISO 4406-1999

В последните години основно този стандарт намира приложение. Класът на замърсяване съгласно този стандарт се характеризира с индикацията на три числа, описващи размера на частиците с големина съответно 4, 6 и 14 μm в 100ml обем. Класифицирането е илюстрирано в табл. 1.



Фиг. 3



Фиг. 4

Пример за измерване и анализ по ISO 4406 е представен на фиг. 4, където е показана снимка под микроскоп от проба на хидравлично масло.

Резултатите от измерването са показвали следните стойности - ISO 4406-1999: 27/21/13, където съответните числа означават:

- 27 – броят на частиците с размер 4 μm в 100 ml обем > 97.000.000;
- 21 – броят на частиците с размер 6 μm в 100 ml обем > 1.500.000;
- 13 – броят на частиците с размер 14 μm в 100 ml обем > 6000;

Таблица 1

| КОД-ISO 4406-1999 | КОЛИЧЕСТВО НА ТВЪРДИТЕ ЧАСТИЦИ ЗА - 100 ml ОБЕМ | |
|-------------------|---|---------------|
| | По големи от: | Не повече от: |
| 28 | 130.000.000 | 250.000.000 |
| 27 | 64.000.000 | 130.000.000 |
| 26 | 32.000.000 | 64.000.000 |
| 25 | 16.000.000 | 32.000.000 |
| 24 | 8.000.000 | 16.000.000 |
| 23 | 4.000.000 | 8.000.000 |
| 22 | 2.000.000 | 4.000.000 |
| 21 | 1.000.000 | 2.000.000 |
| 20 | 500.000 | 1.000.000 |
| 19 | 250.000 | 500.000 |
| 18 | 130.000 | 250.000 |
| 17 | 64.000 | 130.000 |
| 16 | 32.000 | 64.000 |
| 15 | 16.000 | 32.000 |
| 14 | 8.000 | 16.000 |
| 13 | 4.000 | 8.000 |
| 12 | 2.000 | 4.000 |
| 11 | 1.000 | 2.000 |
| 10 | 500 | 1.000 |
| 9 | 250 | 500 |
| 8 | 130 | 250 |
| 7 | 64 | 130 |
| 6 | 32 | 64 |

От резултатите и снимката се вижда, че маслото е силно замърсено и то трява да бъде задължително пречистено или заменено с ново. За сравнение на Фиг. 4 е показана снимка на проба с минерално масло с максимално- допустимия клас на замърсеност допустим за хидравлични системи (за системи с относително ниско работно налягане) - ISO 4406-1999: 23/21/18.

Снимките са направени под микроскоп с увеличение x 100, на 1 деление от скалата отговарят 10 μm .

3. Последици от замърсяването на хидравличните течности

На Фиг. 5 са показвани различни хидравлични компоненти, които са били повредени поради прекомерно замърсяване на работната течност.



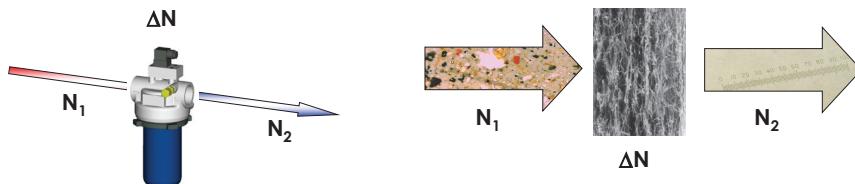
Фиг. 5. Повреди на хидравлични елементи вследствие от замърсена хидравлична работна течност

На Фиг. 5-а и 5-б за показани за сравнение, съответно нов и повреден хидростатичен лагер на буталото на аксиално-бутална помпа. От Фиг. 5-б ясно се вижда надирането на лагерът, причинено от наличието на твърди частици в хидравличната работна течност. На Фиг. 5-в е представена снимка на част от разпределителната плоча на аксиално-бутална помпа, на която може да се види износването на контактната повърхност вследствие на липса на мазилни качества на работната течност.

Резултатът от тези повреди води до ремонтни или замяната на хидравличните компоненти с нови и съответно до сериозни излишни финансови разходи.

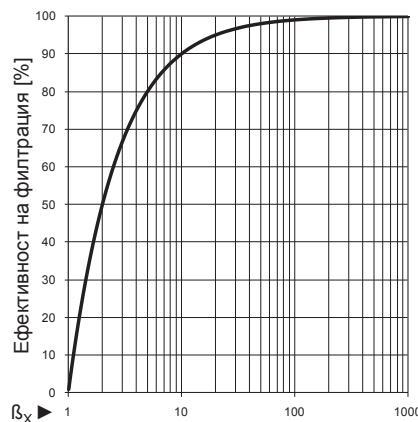
4. Ефективност и степен на филтрация

Степента на филтрация представлява ефективността на филтъра – способността му да задържа определено количество твърди частици с определена големина, зависеща от геометричния размер на порите на филтриращия елемент и се означава с коефициента β_x . Тя се дефинира за броя на замърсяващите частици n_1 , по-големи от специфичния размер X на порите на филтриращия елемент, намиращи се в даден обем течност преди филтъра, отнесени към броя на частиците n_2 със същия размер X , в същия обем течност, преминали през филтъра (фиг. 6).



Фиг. 6. Филтрация на хидравлична работна течност

| β_x | Ефективност на филтрация |
|-----------|--------------------------|
| 1,01 | 1,00 % |
| 1,11 | 10,00 % |
| 1,5 | 33,30 % |
| 2 | 50,00 % |
| 5 | 80,00 % |
| 10 | 90,00 % |
| 20 | 95,00 % |
| 75 | 98,70 % |
| 100 | 99,00 % |
| 200 | 99,50 % |
| 1000 | 99,90 % |



Фиг. 5 Сравнение на коефициента β_x и ефективността на филтрация

Тази зависимост се представя по следния начин:

$$\beta_x = \frac{n_1 \geq X\mu m}{n_2 \geq X\mu m} \quad (1)$$

Пример:

$$\beta_{10} = \frac{100000}{1000} = 100 \quad (2)$$

където: с числото 10 е означен размерът на частиците в μm ;

Примерът е за 100 ml обем от работна течност със съдържание на твърди частици преди филтъра - 100 000. След преминаването на съответния обем през филтъра, в течността е измерено съдържанието на частици с размер по-голям от 10 μm - 1000. Това означава, че при $\beta_x = 100$, ефективността на филтъра е 99 %.

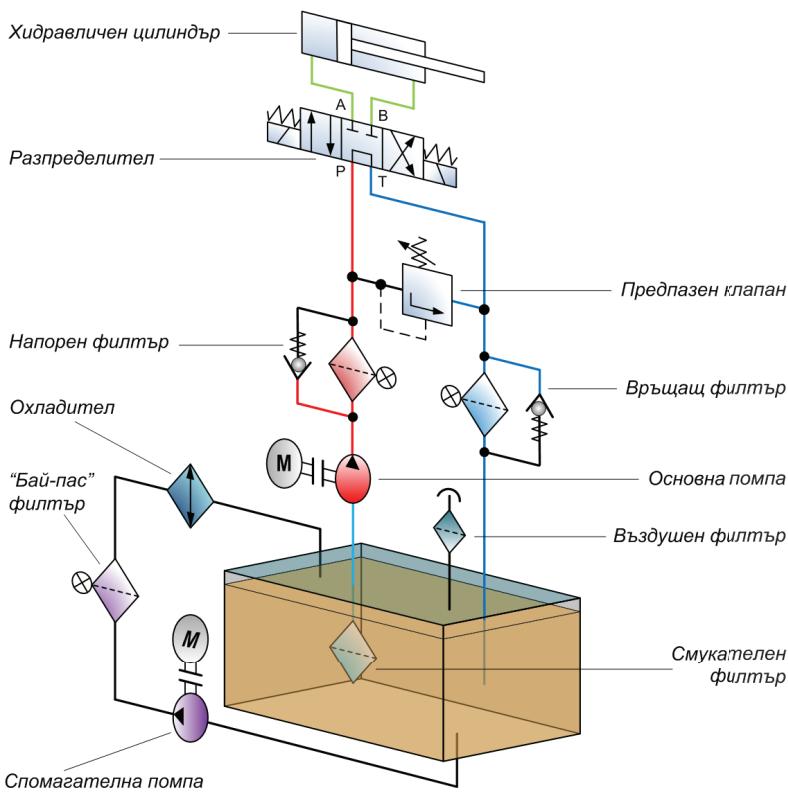
Различават се два вида филтрация - номинална и абсолютна.

Номинална ($\beta_x = 75$) - при тази филтрация известно количество от частиците по-големи от X не могат да бъдат задържани от филтъра и те преминават след него.

Абсолютна ($\beta_x = 100$) - почти пълно задържане от филтъра на частиците с размер по-голям от X.

Ефективността на един филтър не може да се оцени само по геометричния размер на неговите пори, тя зависи от вида на филтриращата материя, от колко слоя и по какъв начин е изграден филтриращият елемент.

5. Мерки за преодотврятяване на замърсяването в хидравличните системи



Фиг. 6

На фиг. 6 е показана схема на хидравлична система за задвижване, с група от всички възможни видове филтри и други спомагателни компоненти, предпазващи оптимално хидравличните елементи от замърсяване.

Надежността, безотказната работа на хидравличните системи за задвижване, както и осигуряването на голямата им дълготрайност може да се осъществи само при спазване на редица специфични изисквания при изпълнението на монтажа, пускането в действие и експлоатацията на тези системи.

По време на експлоатацията на хидравличните системи трябва да се изпълняват и спазват следните предписания [2]:

- Поддържане на чистотата на системата с оглед своевременно констатиране на изменения в състоянието и, както и появяване на външни пропуски.

- Периодичен контрол на температурата и нивото на работната течност, налягането, скоростите на движението, съдържанието в течността на вода или въздух.

- Контрол на състоянието на филтрите, който в началото трябва да се провежда ежемесечно, а впоследствие в зависимост от степента на замърсяване се уточнява график за контрол на филтрите и тяхното сменяне или почистване.

- Проверка на физико-химичните свойства на проби от работната течност в лаборатория след всеки 1000 h или най-малко един път в годината.

- Основен фактор за влошаване на качеството и стареенето на маслата е многократното им дроселиране в предпазни и други клапани и дросели.

- В резултат на това маслата се нагряват и в тях се извършват молекулно-структурни изменения. При контакта на нагрятото масло с въздуха в условията на интезивно смесване в резервоара, то се окислява. От него се отделят смоли, които попаднали в малките хлабини на хидравличните устройства, могат да предизвикат заклинване на механизмите.

- Замяна на работната течност след влошаване на нейните качества под допустимите стойности. Опитът от експлоатацията на минерални масла показва, че те трябва да бъдат заменяни средно след 5000 – 8000 работни часа при стационарни системи и 1000 – 3000 работни часа при подвижни системи. Първата замяна на маслото се препоръчва да се извърши след 1000 работни часа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чистотата на работната течност е от особено значение за правилното функциониране на хидравличните системи и съоръжения, това е огромен резерв за тяхното ефективно използване, тъй като 80% от отказите и аварийте в хидравличните системи се дължат на замърсяването на работната течност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. С. П. Белишки – „КАПРОНИ” – КАЗАНЛЪК, Записки по хидравлични елементи и системи, „АСИ” – София, 2003.
- [2]. Комитовски, М. Д., Елементи на хидро- и пневмозадвижването, „ТЕХНИКА” – София, 1985.
- [3]. Fluid Management Technical Handbook, Argo Hytos, 2009.
- [4]. Failure Analysis and Parts Evaluation, 11007159 Rev BA, © Danfoss A/S, 2014.
- [5]. Rexroth Oil Cleanliness Booklet, RE 08016/2011, Bosch Rexroth AG 2011.

За контакти:

Проф. д-р инж. Илчо Ангелов, Технически Университет – София, Катедра Хидроаеродинамика и Хидравлични машини, 0887 857820, ilangel@tu-sofia.bg

Маг. инж. Никола Иванов Станчев, Технически Университет – София, Катедра Хидроаеродинамика и Хидравлични машини, 0898 977315, agentsteel@abv.bg

Докладът е рецензиран.