

## Определение констант процесса фильтрации масла

**Цель работы:** определение констант процесса фильтрации масла.

### Введение

В процессе работы двигателей находящееся в их системе масло неизбежно загрязняется вследствие попадания в него воды, топлива, нагара, кокса и других примесей. Под влиянием высоких температур масло окисляется. Для продления срока службы циркуляционное масло должно очищаться. В условиях автотранспортного предприятия масло может очищаться следующими способами: отстаем, фильтрованием и сепарированием.

Очистка масла по первому способу заключается в отстаивании масла, при котором вода и механические примеси осаждаются на дно ёмкости и, затем, удаляются через спускной кран. Для улучшения условий отделения примесей масло подогревают до температуры 70...80 °С. Отстой должен осуществляться при спокойном состоянии масла в течение 6...10 ч. [1].

Затем отстаившееся масло фильтруют. В циркуляционных системах двигателей устанавливают специальные фильтры, работающие под давлением. Наиболее распространены металлические фильтры (шелловые или сетчатые), которые хорошо задерживают крупные примеси, сгустки смолы и частицы кокса.

Если применена сетка с числом отверстий до 200 на 1 см<sup>2</sup>, то фильтр называется фильтром грубой очистки. Фильтры тонкой очистки задерживают не только механические примеси с размером частиц 0,01...0,001 мм, но также асфальтены, смолы и кокс, находящиеся в масле во взвешенном состоянии.

Для тонкой фильтрации более приемлемы различного рода фильтрующие патроны, состоящие из картона, хлопчатобумажной или специальной массы. Фильтрующие патроны после определённого срока службы заменяют новыми.

Сепарирование смазочного масла в центробежном сепараторе должно производиться при температуре 40...70 °С, чтобы вязкость его не превышала 4,6°ВУ (120,185 сСт). Если сепарирование производится с добавлением воды, например, с целью понижения его кислотности, то масло следует подогревать до температуры 80...90 °С.

Для инженерных расчётов фильтровальной аппаратуры необходимо знать так называемые константы фильтрации, характеризующие гидравлическое сопротивление осадка и фильтрующей перегородки [2].

Скорость фильтрации суспензий (взвесей) существенным образом зависит от физических свойств и величины твёрдых частиц.

По степени крупности твёрдых частиц суспензии делятся на:

грубые (размер частиц более 1000 мкм);

тонкие (размер частиц от 100 до 0,5 мкм);

мути (жидкости с размерами частиц до 0,5 мкм);

коллоидные растворы (размер твёрдых частиц от 100 мкм и меньше).

На практике встречаются все типы суспензий, большей частью с разными размерами частиц, то есть полидисперсные системы.

При фильтрации суспензия поступает на пористую фильтрующую перегородку, через которую жидкая фаза проходит, а взвешенные частицы остаются в виде остатка.

## 2. Краткая теория

Рассматривая параметры, влияющие на процесс фильтрации, можно написать в самом общем виде закон фильтрации:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\Delta P}{R} \quad (1)$$

где  $dV$  – производительность по фильтрату за время  $d\tau$ ;

$dV/d\tau$  – скорость фильтрования,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

$\Delta P$  – движущая сила процесса фильтрования (перепад давлений),  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$R$  – сопротивление фильтрования,  $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^3$ .

Движущей силой процесса фильтрования служит разность давлений по обе стороны фильтрующей перегородки. Разность давлений может быть создана:

- а) слоем самой суспензии, налитой на фильтр;
- б) подачей суспензии на фильтр под давлением;
- в) созданием вакуума под фильтрующей перегородкой.

Сопротивление фильтрования складывается из сопротивления осадка  $R_{oc}$  и сопротивления фильтрующей перегородки  $R_{nep}$ .

$$R = R_{oc} + R_{nep} \quad (2)$$

Так как сопротивление осадка пропорционально количеству отложившегося осадка, а следовательно, пропорционально количеству прошедшего фильтрата, то:

$$R_{oc} = K' V \quad (3)$$

Сопротивление перегородки (ткани) можно заменить сопротивлением слоя осадка, оказывающего такое же сопротивление процессу фильтрования, какое оказывает фильтрующий слой, и выразить соответствующим количеством фильтрата  $C$ :

$$R_{nep} = K' C \quad (4)$$

где  $K'$  – коэффициент пропорциональности.

Тогда:

$$R = K' (V + C) \quad (5)$$

Подставив полученное значение  $R$  в уравнение (1), разделив переменные и проинтегрировав, после небольших преобразований получим уравнение фильтрования:

$$V^2 + 2V \cdot C = K \cdot \tau; \quad K = \frac{2 \Delta P}{\mu r_o x_o} \quad (6)$$

где  $\mu$  – вязкость фильтрата;

$r_o$  – удельное сопротивление осадка;

$x_o$  – концентрация суспензии.

Размерность  $V$  можно выразить в  $\text{м}^3/\text{м}^2$  или  $\text{л}/\text{м}^2$ ,  $C$  в  $\text{м}^3/\text{м}^2$  или  $\text{л}/\text{м}^2$ ,  $K$  в  $\text{м}^6/(\text{м}^4 \cdot \text{мин})$  или  $\text{л}^2/(\text{м}^4 \cdot \text{мин})$  и  $\tau$  в мин.

Если известны константы  $K$  и  $C$  уравнения (6), то можно определить необходимую поверхность фильтрования при заданной производительности фильтра, что особенно важно при проектировании фильтровальной аппаратуры. Эти константы определяются опытным путём.

После дифференцирования уравнения (6) по  $V$ , замены первой производной отношением конечных разностей и некоторого преобразования, получим следующее уравнение:

$$\frac{d\tau}{dV} = \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K}; \quad \frac{\Delta \tau}{\Delta V} V + \frac{2C}{K} = AV + B \quad (7)$$

В уравнении (7)  $\Delta \tau$  и  $\Delta V$  представляют собой приращение времени фильтрования и объёма полученного фильтрата. В координатах  $V$ ,  $(\Delta \tau / \Delta V)$  это уравнение изображается

(см. рис. 1) прямой линией  $D - M$ , наклонённой к оси абсцисс под углом, тангенс которого  $\operatorname{tg} a = (2/K)$ . Эта линия отсекает на оси ординат (при  $V = 0$ ) отрезок  $B$ , равный  $(2C/K)$ .

Для определения постоянных процесса фильтрования  $K$  и  $C$  проводят опыт по разделению исследуемой суспензии на фильтре при постоянной разности давлений.

В течение опыта отмечают несколько значений объёма полученного фильтрата  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$  и продолжительности фильтрования  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_n$ . Определяют приращение объёма  $\Delta V_1 = V_1$ ;  $\Delta V_2 = V_2 - V_1$ ;  $\Delta V_3 = V_3 - V_2$  и приращение продолжительности фильтрования  $\Delta \tau_1 = \tau_1$ ;  $\Delta \tau_2 = \tau_2 - \tau_1$ ;  $\Delta \tau_3 = \tau_3 - \tau_2$ , после чего вычисляют отношение  $(\Delta \tau / \Delta V)$  для всех случаев.

### Рис. 1. К определению констант процесса фильтрования

Для построения прямой в координатах  $VO(\Delta \tau / \Delta V)$  на оси абсцисс откладывают величины  $V_1, V_2, V_3, \dots$  и из полученных точек восстанавливают перпендикуляры.

На каждом перпендикуляре откладывают соответствующие отношения приращений  $\Delta \tau / \Delta V$ . Из полученных таким образом точек проводят горизонтальные отрезки до пересечения с левым соседним перпендикуляром. Прямую проводят через середины отрезков  $a_1-b_1$ ;  $a_2-b_2$  и т.д., что соответствует примерно средней производительности по фильтрату в диапазонах измерений  $V$  от  $0$  до  $V_1$ , от  $V_1$  до  $V_2$ , от  $V_2$  до  $V_3$  и т.д. для соответствующих приращений или уменьшений скорости фильтрования, т.к.  $\Delta \tau / \Delta V$  – величина, обратная уменьшению скорости фильтрования. Построив эту прямую по экспериментальным данным, можно определить константы фильтрования  $K$  и  $C$ .

Объёмная скорость фильтрования – величина переменная, непрерывно уменьшающаяся, которую для заданного момента времени от начала фильтрования определяют по уравнению (7) как:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{K}{2(V + C)} \quad (8)$$

## 3. Описание установки

Установка для проведения лабораторных опытов по фильтрованию (см. рис. 2) состоит из погружного фильтровального элемента 1, бачка для суспензии 2 с мешалкой 3, вакуум-насоса 9, приёмника для фильтрата 7 и измерительных приборов: термометра 4, вакуумметра 6, секундомера.

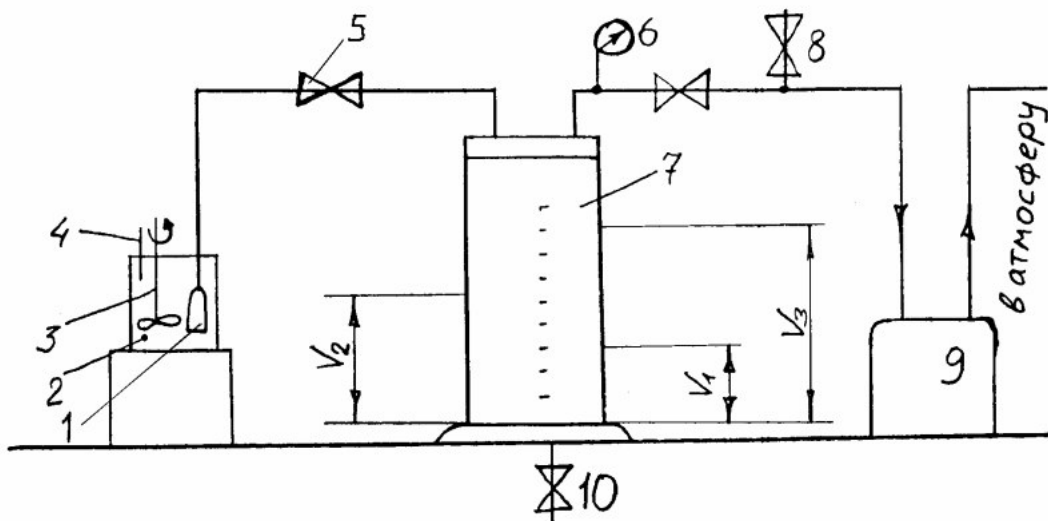


Рис. 2. Схема лаб. установки по изучению фильтрования под вакуумом:

- 1 - вакуум-фильтр;
- 2 - бачок для суспензии;
- 3 - мешалка;
- 4 - термометр;
- 5 - кран для зажима;
- 6 - вакуумметр;
- 7 - приёмник фильтрата;
- 8 - воздушный кран;
- 9 - вакуум-насос;
- 10 - кран

Кроме погружного элемента, можно применять для испытаний фильтры любых типов и конструкций.

#### 4. Методика проведения работы

Приготовленную суспензию заливают в бак 2. Суспензию готовят в соотношениях Т:Ж (по указанию преподавателя). Во избежание осаждения осадка включают мешалку 3. Собирают вакуум-фильтр 1 и устанавливают его в баке 2, погружая в суспензию на несколько см. Зажим 5 закрывают. Кран 8 вначале закрывают. Включают вакуум-насос 9 и, открывая кран 8, устанавливают заданный руководителем вакуум по вакуумметру 6. После установления назначенного режима открывают кран 5 и одновременно включают секундомер. Первый замер времени делают при появлении первых капель фильтрата в приёмнике. Через некоторое время, когда в приёмнике наберётся некоторое количество фильтрата, производят (не выключая секундомера) одновременный замер времени и собранного фильтрата. Такие замеры производятся несколько раз.

После этого (не выключая вакуум-насоса) выключают секундомер, записав время и объём фильтрата. Затем освобождают фильтр 1 и поднимают его вверх так, чтобы резиновая труба нигде не создавала застой жидкости.

Фильтрующая поверхность должна быть повернута вверх. При этом сливается в приёмник фильтрат, находящийся в фильтре и трубке. Когда поверхность осадка потеряет влажный блеск и перестанет менять свой вид, продувку прекращают и выключают вакуум-насос с секундомером, записывая время и объём фильтрата. Добавившееся при продувке количество фильтрата приписывают к первому замеру времени (до появления первых капель) и прибавляют ко всем остальным записям (за исключением последней). Тогда

предпоследняя и последняя записи объёма будут одинаковы, т.к. при продувке нового фильтра не появилось.

Затем измеряют торцом металлической линейки толщину слоя осадка на фильтре и диаметр всего слоя. Фильтр разбирают, осадок снимают в специальный бачок, после этого фильтр промывают. Результаты замеров заносят в таблицу.

## 5. Обработка опытных данных

По полученным замерам объёмов  $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$  и времени  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  определяют разности  $DV$  и  $Dt$  и вычисляют отношения  $(Dt_1/DV_1); (Dt_2/DV_2)$  до  $(Dt_n/DV_n)$ . Обозначим  $y_1=(Dt_1/DV_1); y_2=(Dt_2/DV_2);$   
 где  $Dt_1 = t_1 - 0; Dt_2 = t_2 - t_1; DV_1 = DV_2 = DV = 50; x_1 = (DV/2) + 50 = 75; x_2 = x_1 + 50 = 125; x_3 = x_2 + 50 = 175;$   
 $x_n = x_{n-1} + 50;$

Получим таблицу экспериментальных данных:

$x_i$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	...	$x_n$
$y_i$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	...	...	$y_n$

Требуется найти уравнение прямой, соответствующее этим экспериментальным точкам:

(9)

1. Определим начальный момент [3] порядка один-один распределения  $(x, y):$

(10)

2. Определим центральный момент того же порядка рассматриваемого распределения:

(11)

где

Определим дисперсию:

(12)

Найдём угловой коэффициент

(13)

Найдём отрезок

(14)

Получим следующее уравнение:

(15)

где

Зная константы  $A$  и  $B$ , легко найти константы фильтрования  $K$  и  $C:$

(16)

Строим уравнение прямой в координатах и наносим экспериментальные точки, затем определяем  $\min$  и  $\max$  отклонения экспериментальных данных от значений, полученных по эмпирической формуле (15).

## 6. Составление отчета

В отчёт о выполнении работы должны быть включены:  
 схема установки и краткое изложение теории;  
 таблица экспериментальных данных;  
 график процесса фильтрования;  
 обработка экспериментальных данных, выводы.

## **7. Контрольные вопросы**

1. Напишите основные уравнения процесса фильтрования и объясните их физический смысл?
2. Из чего складывается сопротивление фильтрования?
3. Что такое скорость фильтрации?
4. Методика обработки полученных результатов и их оценки.
5. Способы очистки масла.

## **8. литература**

1. Королёв Н.И. Использование топлив и масел на морских судах. – М.: Транспорт, 1970. – 136 с.
2. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической чистки / под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. Изд. пер. и доп. – Л.: Химия, 1975. с. 98-112.
3. Щиголев Б.М. Математическая обработка наблюдений.– М.: Наука, 1969. – 344 с.