

УДК 621.928.3

Р.П. Капустин

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Капустин Родион Петрович родился в 1937 г., окончил в 1964 г. Всесоюзный заочный политехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 40 печатных трудов в области гидроприводов машин.
Тел.: 8(4832) 74-03-98



К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТОНКОСТИ ОЧИСТКИ КОМБИНИРОВАННЫМ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ОЧИСТИТЕЛЕМ

Предложена методика расчета тонкости очистки рабочей жидкости комбинированным очистителем; приведены результаты очистки масла марки Р при стендовых испытаниях.

Ключевые слова: очиститель, гидроциклон, центрифуга, тонкость очистки, функция тока.

Поддержание гидроприводов машин в исправном состоянии осуществляется различными методами. Главным является очистка рабочих жидкостей от механических примесей. Для этого в магистралях гидроприводов устанавливают различного типа фильтрующие устройства (очистители).

Гидроциклон – простейший центробежный разделитель – широко применяется в различных отраслях промышленности. В практике используются гидроциклоны с двумя сходами: нижним – через вершину циклона, верхним – через сливной насадок.

Гидроциклон можно использовать в качестве разделителя в комбинированном очистителе жидкости от механических примесей, чаще всего в комплекте с центрифугой, которая по способности задержания примесей должна быть эффективной.

Верхний и нижний сходы гидроциклона – это свободные сливы. Для получения необходимого напора при работе центрифуги требуется соответствующее повышение напора на входе в гидроциклон, что не всегда желательно. При отборе потока через кольцевое отверстие в стенке гидроциклона появляется возможность использовать давление около стенки для привода

центрифуги. Принцип работы комбинированного очистителя поясняется схемой, представленной на рис. 1. Конструкция очистителя, разработанная на основе такой схемы, показана на рис. 2.

За тонкость разделения в гидроциклоне принимается размер равновесной частицы, которая определяет собой границу разделения частиц на уносимые через верхний насадок в слив и на осаждаемые в бункер или направляемые для осаждения в центрифугу. К равновесным относятся частицы, находящиеся в равновесном состоянии в зоне окружности, совпадающей с входной кромкой верхнего насадка.

Тонкость разделения в гидроциклоне определяют по формуле [5]

$$\delta = \frac{3}{V} \sqrt{\frac{\nu}{\left(\frac{\rho}{\rho_0} - 1\right)}} rU, \quad (1)$$

где V – окружная скорость жидкости;
 ν – кинематическая вязкость жидкости;

ρ, ρ_0 – плотность частицы и жидкости;

r – мгновенный радиус вращения частицы;

U – радиальная скорость жидкости.

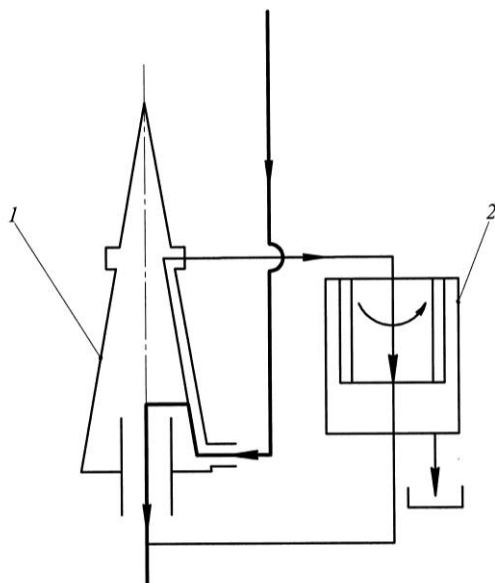


Рис. 1. Гидравлическая схема комбинированного центробежного очистителя: 1 – гидроциклон; 2 – центрифуга

Предполагается, что скорость частицы равна скорости жидкости.

Радиальная скорость жидкости является производной от функции тока:

$$U = -\frac{\partial \psi}{r \partial z}, \quad (2)$$

где r, z – цилиндрические координаты; ψ – функция тока жидкости.

Функция тока для гидрциклона с отбором потока через кольцевое отверстие имеет следующий вид [2]:

$$\psi = A_k (r^2 - r_0^2) \left(1 - \cos \beta \frac{\sqrt{r^2 + z^2}}{z} \right) - \frac{Q_c \left[(z - z_c)(r - r_c)^{-1} \right]}{\pi \sqrt{(r - r_c)^2 + (z - z_c)^2}}, \quad (3)$$

где A_k – коэффициент расхода гидроциклона;

r_0 – радиус воздушного столба в гидроциклоне;

β – угол полураствора конуса гидроциклона;

Q_c – расход через кольцевой сток;

r_c, z_c – координаты кольцевого стока.

Для определения коэффициента расхода A_k используем формулу

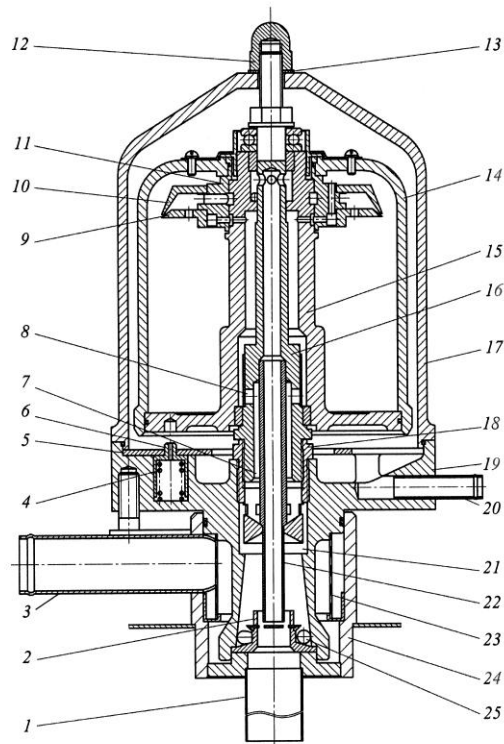


Рис. 2. Комбинированный центробежный очиститель: 1 – сливной патрубков; 2 – сливной насадок; 3 – входной патрубков; 4 – пружина сухарика; 5 – пластина; 6 – сухарик; 7 – приемный канал; 8 – направляющий аппарат; 9 – нижний диск; 10 – верхний диск; 11 – втулка; 12 – гайка; 13 – шайба; 14 – стакан ротора; 15 – колонка ротора; 16 – ось ротора; 17 – колпак; 18 – вставка; 19 – гидроциклон; 20 – дренажная трубка; 21 – кольцевое отверстие; 22 – сливная трубка; 23 – фильтр-сетка; 24 – корпус; 25 – входное отверстие

$$Q_{\text{вн}} = 2\pi(\psi - \psi_0) = A_k (r_{\text{вн}}^2 - r_0^2) \times \left(1 - \cos \beta \frac{\sqrt{r_{\text{вн}}^2 + z_{\text{вн}}^2}}{z_{\text{вн}}} \right) - \frac{Q_c \left[(z_{\text{вн}} - z_c)(r_{\text{вн}} - r_c)^{-1} \right]}{\pi \sqrt{(r_{\text{вн}} - r_c)^2 + (z_{\text{вн}} - z_c)^2}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{вн}}$ – расход жидкости через верхний сливной насадок;

ψ – функция тока на входе в верхний сливной насадок;

$\psi_0 = 0$ (на оси гидроциклона);

$r_{\text{вн}}, z_{\text{вн}}$ – координаты входной кромки верхнего насадка.

Определим расход жидкости через верхний сливной насадок

$$Q_{\text{вн}} = Q_{\text{ц}} - Q_{\text{с}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{ц}}$ – расход жидкости через гидроциклон.

Тогда

$$A_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{ц}} - Q_{\text{с}} \left\{ 1 - 2 \left[\frac{r_{\text{вн}}(z_{\text{вн}} - z_{\text{с}})(r_{\text{вн}} - r_{\text{с}})^{-1} + \pi}{\sqrt{(r_{\text{вн}} - r_{\text{с}})^2 + (z_{\text{вн}} - z_{\text{с}})^2}} + \pi \right] \right\}}{2\pi(r_{\text{вн}}^2 - r_0^2) \left(1 - \cos\beta \frac{\sqrt{r_{\text{вн}}^2 + z_{\text{вн}}^2}}{z_{\text{вн}}} \right)}. \quad (6)$$

Радиальная скорость жидкости по формуле (2)

$$U = -A_{\text{к}} \cos\beta \frac{(r - r_0)}{z^2 \sqrt{r^2 + z^2}} + \frac{Q_{\text{с}}}{\pi} \frac{(r - r_{\text{с}})}{\sqrt{(r - r_{\text{с}})^2 + (z - z_{\text{с}})^2}}; \quad (7)$$

ее окружная скорость [3]

$$V = \frac{V_0 r_{\text{ц}}}{r} \left(\frac{1 - e^{-\frac{b}{2v} r^2}}{1 - e^{-\frac{b}{2v} r_{\text{ц}}^2}} \right), \quad (8)$$

где V_0 – окружная скорость жидкости на входе в гидроциклон;

$r_{\text{ц}}$ – радиус гидрциклона на уровне входного отверстия в гидроциклон.

Для определения b воспользуемся условием, что производная от скорости в точке максимального ее значения равна нулю. Тогда, обозначив

$$\frac{b}{2v} r^2 = x, \quad (9)$$

получим уравнение

$$2xe^{-x} + e^{-x} - 1 = 0, \quad (10)$$

решение которого возможно графически или на ЭВМ. Результат расчета – $x = 1,256$. Тогда

$$b = \frac{1,256 v}{r_{\text{в}}^2} \quad (11)$$

где $r_{\text{в}}$ – радиус, соответствующий максимальной окружной скорости жидкости и зависящий от ее вязкости и др. параметров.

Тонкость очистки в центрифуге определяется по формуле [6]

$$\delta_{\text{цф}} = \sqrt{\frac{18\mu V_{\text{п}} S}{\Delta\rho(2\pi n V_{\text{п}}^2 + \omega^2 R)}}, \quad (12)$$

где μ – динамическая вязкость жидкости, П;

$V_{\text{п}}$ – скорость потока в щели между дисками, см/с;

S – ширина щели между дисками, см;

$\Delta\rho$ – разность плотностей частицы и жидкости, г/см³;

n – количество поворотов потока;

ω – угловая скорость вращения ротора, с⁻¹;

R – радиус ротора, см.

Скорость потока в щели между дисками

$$V_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{с}}}{\pi(R_{\text{в}}^2 - R_{\text{н}}^2)}, \quad (13)$$

где $R_{\text{в}}$, $R_{\text{н}}$ – радиус верхнего и нижнего диска центрифуги.

Пример расчета тонкости очистки масла марки Р (ТУ 38 101179–71) в очистителе:

параметры гидроциклона:

$Q_{\text{ц}} = 70$ л/мин; $Q_{\text{с}} = 19$ л/мин;

$\beta = 7^\circ$; $v = 0,14$ Ст;

$V_0 = 8,2$ м/с; $r_{\text{ц}} = 1,9$ см;

$r_{\text{с}} = 1,2$ см; $r_{\text{вн}} = 0,8$ см;

$z_{\text{вн}} = 12,5$ см; $z_{\text{с}} = 9,8$ см;

$\rho = 2,8$ г/см³; $\rho_0 = 0,87$ г/см³;

$r_{\text{в}} = 0,8 r_{\text{вн}}$;

параметры центрифуги:

$R = 5,8$ см; $R_{\text{в}} = 5,4$ см;

$R_{\text{н}} = 5,2$ см; $S = 0,1$ см;

$n = 4500$ об/мин.

После подстановки этих данных в формулы для расчета тонкости очистки получим: в гидроциклоне $\delta = 37$ мкм, в центрифуге $\delta_{\text{цф}} = 24$ мкм.

Результаты стендовых испытаний такого очистителя применительно к гидросистеме рулевого управления грузового автомобиля [4] приведены в таблице.

Состояние рабочей жидкости по результатам испытаний очистителя

Продолжительность работы очистителя, ч	Загрязненность масла, % по массе		Количество частиц загрязнений, шт./100 см ³ масла, при размере частиц, мкм						Класс чистоты*	Потери напора в очистителе, МПа
	начальная	конечная	5...10	10...25	25...50	50...100	100...200	> 200		
0,5	0,06802	0,00494	295 963	149 698	20 691	5 911	-	-	16	0,35...0,40
1,5	-	-	141 619	63 346	6 826	910	-	-	14	0,30...0,35
2,5	-	-	84 098	32 980	3 298	353	-	-	12	0,30...0,35
5,5	-	-	46 220	7 842	500	20	-	-	11	0,30...0,35

* По ГОСТ 17216 – 2001.

Проведенные расчеты и испытания комбинированного очистителя позволяют сделать следующие выводы.

1. Комбинированный очиститель (гидроциклон + центрифуга) может обеспечивать 10-й класс (и выше)

чистоты рабочей жидкости (ГОСТ 17216–2001) в гидроприводах машин. Снижение количества частиц размером 50...100 мкм в пробах масла подтверждает приемлемость формул для расчета тонкости очистки данного очистителя.

2. Процесс очистки рабочей жидкости от механических примесей в циркуляционной системе имеет вероятностный характер, поэтому действительная тонкость очистки может быть установлена только по результатам эксплуатационных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарубежные центрифуги для смазочного масла в двигателях внутреннего сгорания: Обзор. М.: ЦНИИТЭтракторосельхозмаш, 1972. С. 49–50.

2. Капустин Р.П. Тонкость разделения в коническом гидроциклоне с отбором потока через кольцевое отверстие в его стенке // Новые материалы и технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. Вып. 4. Брянск: БГИТА, 2005. С. 71–74.

3. Капустин Р.П. Окружная скорость в гидроциклоне // Новые материалы и технологии в машиностроении: Сб. науч. тр. Вып. 8. Брянск: БГИТА, 2008. С. 32–35.

4. Капустин Р.П. Комбинированный центробежный очиститель для гидросистемы рулевого управления автомобиля // Вестник БГИТА. Брянск: БГИТА, 2010. № 1. С. 27–30.

5. Поваров А.И. Гидроциклоны. М.: Госгортехиздат, 1961. 264 с.

6. Седлуха Г.А., Шарифов А.Р., Будагов Ф.К. Силовые центробежные очистители рабочей жидкости гидросистем строительных машин // Передовой производственный и научно-технический опыт эксплуатации и ремонта автомобильного транспорта. Ленинград: ЛДНТП, 1971. 24 с.

R.P. Kapustin

Bryansk State Academy of Engineering and Technology

To Determination of Filtration Degree by Combined Centrifugal Purifier

The calculation technique of the cleaning degree is offered for working fluid by the combined purifier. The results of R-grade oil filtration under bench tests are provided.

Keywords: cleaner, hydrocyclone, centrifuge, filtration degree, flow function.