

ИССЛЕДОВАНИЯ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА ТИПА «ЗИГЗАГ» ДЛЯ ОЧИСТКИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГОРНЫХ МАШИН

Скляр Н.А., канд. техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет;
Панчева Ю.С., канд. техн. наук, ЗАО «Фирма Союз-01»,
Москва; Скляр В.Н., инженер, ООО «Садко».

Предложена конструкция фильтра для очистки водомасляной эмульсии от загрязняющих примесей с использованием в качестве фильтроэлементов открытоячеистого пенополиуретана типа «Зигзаг» и установлены его параметры.

The design of the filter for clearing water-oil emulsion from polluting impurity with use of the "Zigzag" type foamed open-cell structure polyurethane as filtering element is offered and its parameters are established.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Долговечность гидрооборудования угледобывающих комплексов в значительной степени зависит от наличия в рабочей жидкости загрязняющих примесей, включающих кварцевые и пиритные частицы с микротвердостью до $8,5-10 \text{ кН/мм}^2$ при микротвердости поверхностей трения деталей примерно $2,8 \text{ кН/мм}^2$. Так, например, на одну гидростойку механизированной крепи их количество составляет соответственно 26,91 и 4,9 тыс.шт. Глубина основной массы рисок находится в пределах 0,02-0,14 мм, ширина их 0,03-0,2 мм длиной 100-500мм [1].

Таким образом, причинами износа рабочих поверхностей гидростоек являются повреждаемость и износ зеркала цилиндра кварцевыми и пиритными частицами. Поэтому разработка средств и способов снижения загрязнения рабочей жидкости является актуальной научной задачей.

Анализ исследований и публикаций. Одним из основных путей увеличения долговечности деталей гидроузлов является повышение качества очистки рабочей жидкости от загрязняющих примесей. Для этих целей широко используются фильтры, которые в свою очередь делятся на фильтры грубой очистки (щелевые 70...100 мкм, проволочные 40...200 мкм, из стекловолокна 30...120 мкм, сетчатые

15...50 мкм) и фильтры тонкой очистки (металлокерамические - до 1 мкм, бумажные - 3 мкм, тканые 10 мкм, фетровые 10 мкм, из спекшейся металлической сетки 3 мкм) [2].

В общем случае закономерности процесса фильтрации в гидравлических фильтрах определяются механическим удержанием частиц и адсорбционным эффектом.

Общими недостатками фильтров тонкой очистки является низкая пропускная способность и малая грязеемкость рабочего пространства. Грязеемкость объемных фильтров из объемно-фильтрующих материалов выше, так как она определяется их объемом [2].

Для очистки промышленных газов от загрязняющих примесей применяют объемные фильтры, а в качестве материала фильтроэлементов используют открытоячеистые пенополиуретаны. Пенополиуретановые фильтры обладают высокой эффективностью. Материал фильтра имеет ряд преимуществ, а именно: низкая стоимость материала, полностью открытоячеистая структура материала обеспечивает низкое значение перепада давления на фильтре при больших расходах и высокую грязеемкость. В связи с перечисленными достоинствами указанные фильтры могут быть весьма перспективными для применения в гидросистемах горных машин.

Постановка задачи. В настоящей работе решаются следующие задачи:

- анализ видов эксплуатационной повреждаемости поверхностей деталей гидроузлов;
- исследование состава, твердости и источника загрязняющих примесей рабочей жидкости гидросистем;
- разработка конструкции фильтра;
- разработка установки для исследования параметров фильтров;
- разработка методики исследований

Изложение материала и результаты. Для улучшения очистки рабочей жидкости угледобывающих комплексов был разработан фильтр новой конструкции (авторское свидетельство № 1153949) [3], в котором жидкость, протекающая через фильтр, движется через зигзагообразный лабиринт (рис. 1).

В указанном фильтре в пазах 1 корпуса 2 устанавливаются жесткие перегородки 3, между которыми размещены фильтроэлементы 4, имеющие размеры a , b , H в деформированном состоянии.

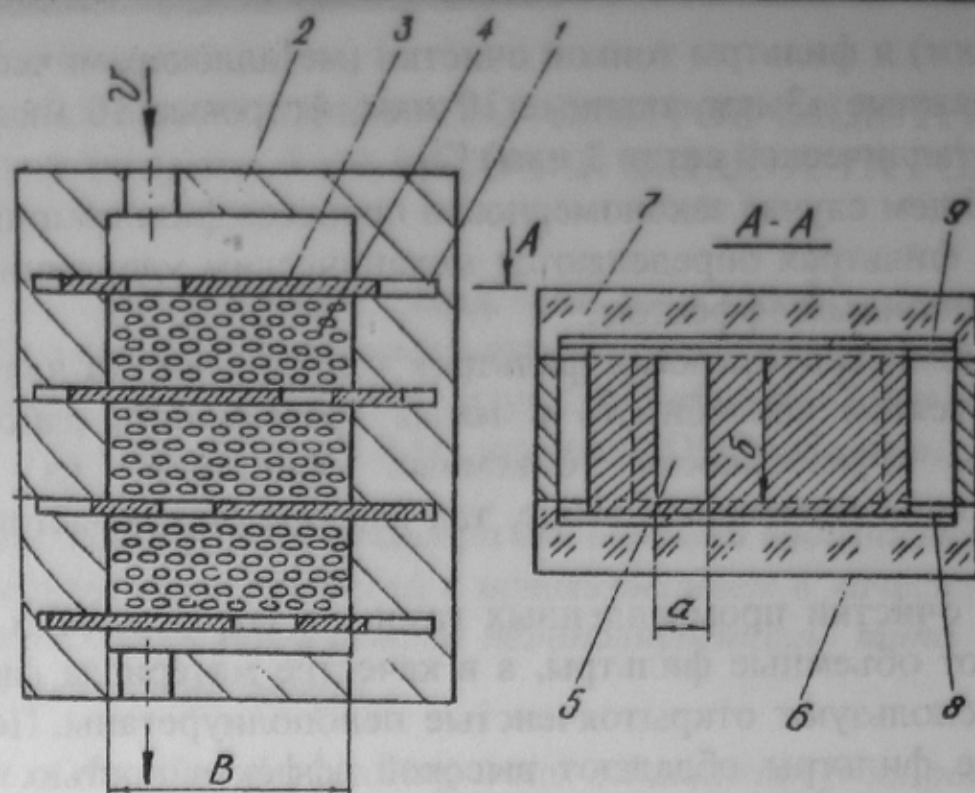


Рисунок 1 - Схема фильтра типа «Зигзаг»

Перегородки 3, выполненные с прямоугольными сквозными окнами, имеющими размеры « a , b », устанавливались в пазах 1 корпуса 2 с возможностью установочных перемещений так, что параметры фильтра – ширина щелей « a », образуемые окнами 5 перегородок 3, с корпусом 2, расположение окон 5 и щелей друг относительно друга можно было регулировать в широких пределах. К корпусу 2 с обеих сторон прикреплялись крышки 6, 7, выполненные из прозрачного материала (оргстекло) для наблюдения процессов, происходящих в фильтроэлементах 4 фильтра, при этом в крышках 6, 7 имелись пазы 8, 9, расположение которых совпадало с расположением пазов 1 корпуса 2 и в которые заходили жесткие перегородки 3. В пазах 1, 8, 9 имелись уплотняющие элементы, которые исключили перетоки жидкости через зазоры между перегородками 3 и указанными выше пазами.

В качестве фильтроэлементов фильтра использовались образцы призматической формы с размерами « $\delta_0 \times b_0 \times H_0$ » в недеформированном состоянии, изображенные на рис.2.

В качестве материала фильтроэлементов использован эластичный открытоячеистый пенополиуретан марки ППУ-ЭО-130 ТУ-6-05-221-710-83.

Фильтроэлемент может быть сдеформирован в трех направлениих, имея при этом следующие коэффициенты относительной деформации:

$$K_1 = (b_0 - b)/b_0; \quad K_2 = (\delta_0 - \delta)/\delta_0; \quad K_3 = (H_0 - H)/H_0,$$

где b , δ , H и b_0 , δ_0 , H_0 - соответственно размеры фильтроэлемента в деформированном и свободном состояниях.

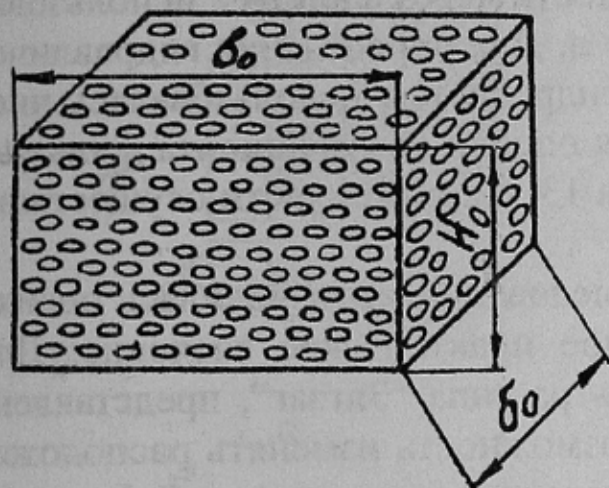


Рисунок 2 – Фильтроэлемент из пенополиуретана в недеформированном состоянии

В процессе исследования коэффициенты $K_2 = K_3 = 0,25 = \text{const}$ - не изменялись. Изменению подвергался коэффициент K_1 в пределах $0,20 \dots 0,60$.

Для исследования параметров фильтра типа “Зигзаг” разработана лабораторная установка (рис.3), в основе которой использовались современные требования, рекомендации и конструктивные особенности устройств такого же класса.

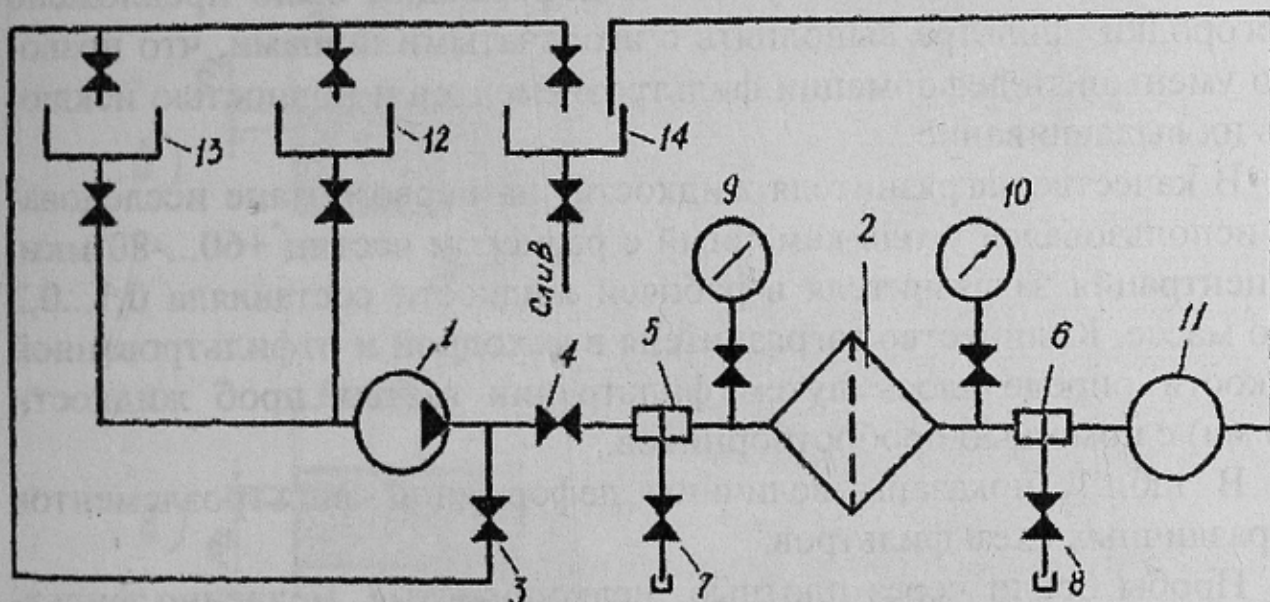


Рисунок 3 – Схема установки для исследования параметров фильтров

Для подачи рабочей жидкости бил использован шестеренчатый насос 1 типа БГ 11-12. Регулирование расхода жидкости через фильтр 2 осуществлялось вентилями 3, 4. Для отбора проб жидкости вверх и

вниз по потоку от фильтра 2 использовались специальные пробоотборники 5, 6, с вентилями 7, 8. Манометры 9, 10 служили для определения давления на входе и выходе фильтра 2. Перепад давления рассчитывали по формуле:

$$\Delta P = P_1 - P_2,$$

где P_1 ; P_2 - соответственно показания манометров 9 и 10, МПа.

Для определения расхода жидкости через фильтр 2 использовали расходомер 11 с ценой деления 1 л. Для определения гидравлической характеристики и промывки гидросистем использовалась чистая жидкость (вода) из бака 12, а для оценки коэффициента фильтрации – загрязненная жидкость из бака 13. Слив жидкости осуществляли в бак 14.

На этапе предварительных исследований производилась оценка схем фильтров, имеющих возможное практическое значение. Для этого были разработаны схемы фильтра типа "Зигзаг", представленные на рис. 4, в которых имелась возможность изменять расположение размера "а" входного и выходного щелевых отверстий фильтра. Было установлено, что в отдельных случаях имело место значительная деформация фильтроэлементов у входного и выходного щелевых отверстий и даже выдавливание фильтроэлемента.

Для исключения недопустимой деформации было предложено перегородки фильтра выполнять с игольчатыми шипами, что позволило уменьшить деформации фильтроэлементов и полностью исключить их выдавливание.

В качестве загрязнителя жидкости на первом этапе исследований использовался уголь каменный с размером частиц +60...-80 мкм. Концентрация загрязнителя в рабочей жидкости составляла 0,1...0,2 % по массе. Количество загрязнителя в исходной и отфильтрованной жидкости определялось путем фильтрации взятых проб жидкости (500 мл) с помощью пробоотборников.

В табл.1. показаны величины деформаций фильтроэлементов для различных схем фильтров.

Пробы брали через плотные, мелкопористые, медленно фильтрующие для тонких осадков бумажные беззольные фильтроэлементы № 390, диаметром 11 см ТУ –6-09-1678-77, которые предварительно и после фильтрования высушивали и взвешивали на аналитических весах типа АДВ-200 с точностью до 0,0001 г.

Коэффициент полноты фильтрации жидкости определяли по формуле:

Таблиця 1 – Деформація фільтроелементів різних схем фільтрів при расходе $Q = 30$ л/мин.

Обозначение схемы фильтра	№ рис. фильтра	Параметры фильтра			Крити- ческий расход, л/мин.	№ рис. пере- город- ки	Деформация, мм		
		K ₁	b = 100 мм δ = 75 мм				H, мм	m ₁	m ₂
			a ₁ =a ₂ = =a ₃ =a ₄ мм	a ₁₁ =a ₂₂ = =a ₃₃ =a ₄₄ мм					
Ф ₁	5,а	0,3	28		50	4,ж 4,к	20	12	
Ф ₂							20	12	
Ф ₃			18		50	4,ж 4,к	20 15	10 10	
Ф ₃₃			12		50	4,ж 4,к	15 12	10 10	
Ф ₄	5,б	0,3	28		50	30 4,ж 4,к	25	12	
Ф ₅							20	12	
Ф ₆			18		50	4,ж 4,к	- 20	- 10	
			12		50	4,ж 4,к	- 15	- -	
Ф ₇	5,в	0,3	12	20	50	4,к	5	8	
Ф ₈	5,г		12	20	50	4,к	5	5	
Ф ₉	5,д		12	20	50	4,к	5	5	
Ф ₁₀	5,е		12	20	50	4,к	5	5	

Анализ результатов в ходе предварительных исследований схем фильтров показал, что уменьшение ширины щели с 28 до 12 мм увеличивает коэффициент полноты фильтрации ϕ $\Phi_6 \rightarrow \Phi_7 \rightarrow \Phi_{33} \rightarrow \Phi_8 \rightarrow \Phi_3$, где следует считать наилучшей схему Φ_6 для однослойных фильтров. Это можно объяснить тем, что в схеме Φ_6 жидкость проходит через сильно деформированные ячейки фильтроэлемента у щелевых отверстий, при этом имеет место дополнительное дросселирование потока и увеличение его скорости в узких каналах пространства пор. В дальнейшем поток резко расширялся в средней части фильтроэлемента и скорость потока резко изменялась по направлению и величине, что может являться причиной появления инерционных сил, действующих на твердые частицы, которые заносятся в зоны фильтроэлемента, где имеют место невысокие значения скорости потока и происходит кальматация частиц (оседание в порах).

На рис. 5 приведена фотография поверхностей фильтроэлементов, где видны зоны осаждения твердых частиц угля и их концентра-

ция при $Q = 30$ л/мин. При этом использовались образцы фильтро-элементов с параметрами $Но = 25$ мм .

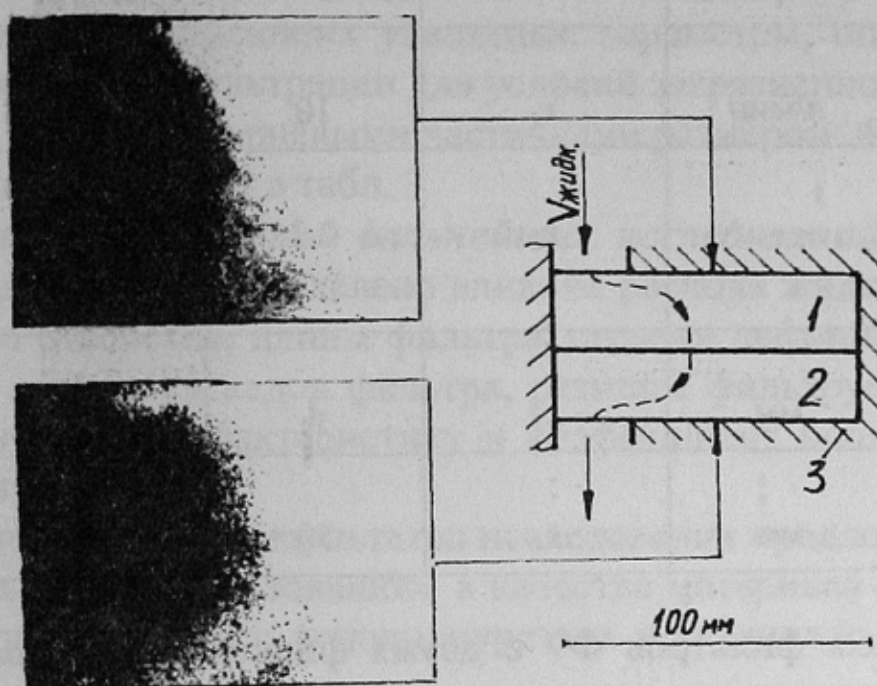


Рисунок 5 – Насыщение фильтроэлементов твердыми частицами угля
(схема фильтра Φ_1)

Захват и удержание частиц происходит не только за счет инерционного эффекта, а и за счет эффекта касания твердых частиц перемычек пор, которые в микроструктуре имеют ворсистую наружную поверхность, способную удерживать частицы.

Так как предварительные результаты показали, что с увеличением числа каскадов для схем фильтров Φ_9 и Φ_{10} коэффициент полноты фильтрации возрастает, решено было продолжить исследования этого вопроса с применением метода планирования эксперимента. Для этого были уточнены уровни варьирования факторов с учетом предварительных исследований и проведен полный факторный эксперимент 2^4 .

Варьировались следующие факторы: расход жидкости через фильтр - Q , коэффициент деформации фильтроэлемента - K_1 , ширина щели - «а», длина фильтра - B , значение которых приведены в табл. 2. В качестве загрязнителя использовался кварц с размером частичек $+1000...-2000$ мкм. Концентрация загрязнителя составляла 0,1 %.

Таблиця 2 - Фактори и уровни варьирования планирования эксперимента 2^4

Факторы	Единица измерения	Обозначение	Уровни варьирования		
			$X = -1$	$X = 0$	$X = +1$
Расход жидкости	л/мин	x_1	10	20	30
Степень Продольной деформации	-	x_2	0,2	0,4	0,6
Ширина щели	мм	x_3	4	7	10
Длина фильтра	мм	x_4	50	75	100

Для схем фильтров $\Phi 9$ с двумя фильтроэлементами и $\Phi 10$ с тремя фильтроэлементами получены уравнения регрессии:

$$\varphi = 0,404 - 0,192 x_1 + 0,106 x_2 - 0,046 x_3 + 0,064 x_4 - 0,046 x_1 x_2$$

$$\varphi = 0,554 - 0,182 x_1 + 0,101 x_2 - 0,038 x_3 + 0,044 x_4 + 0,048 x_1 x_2 x_3$$

Из анализа полученных уравнений следует, что наибольшее влияние на коэффициент полноты фильтрации оказывает фактор расхода жидкости, с уменьшением которого коэффициент полноты фильтрации растет. Существенное значение имеет коэффициент продольной деформации, увеличение которого увеличивает коэффициент полноты фильтрации (знак «+» в уравнении). Уменьшение ширины щели «а» и увеличение длины фильтра «В» в меньшей степени оказывают влияние на увеличение коэффициента полноты фильтрации.

Таблиця 3 – Характеристики фильтров

№ пп	№ рис., (схема фильтра)	К-во фильтро-элементов, шт.	Ширина щели а, мм	Перепад давления на фильтре, ΔP , МПа	Коэффициент полноты фильтрации, φ	
					Диаметры твердых частиц, мкм	
					+40...-100	+100...-200
1.	5.5,е (Φ_{10})	3	4	0,016	0,78	0,97
2.	5.5,е (Φ_{10})	3	8	0,012	0,71	0,89
3.	5.5,д (Φ_9)	2	4	0,009	0,7	0,86
4.	5.5,д (Φ_9)	2	8	0,007	0,61	0,82

Наилучшие результаты по коэффициенту полноты фильтрации Φ схем фильтров Φ_9 и Φ_{10} получены для условий $a = 4$ и 8 мм, $K_1 = 0,6$, $Q = 10$ л/мин, $B = 100$ мм.

Для фильтров, имеющих указанные параметры, определен коэффициент полноты фильтрации для условий загрязненности рабочей жидкости $0,1 \dots 0,2$ % кварцевыми частичками размером $40 \dots 100$ мкм.

Результаты сведены в табл. 3.

Выводы и направления дальнейших исследований. Проведенными исследованиями определено влияние расхода жидкости, ширины щелевого отверстия, длины фильтра, степени деформации фильтроэлемента, числа каскадов фильтра, размеры фильтруемых частиц на гидравлическую характеристику и коэффициент полноты фильтрации фильтра.

На основе анализа результатов исследования предложена конструкция фильтра с использованием в качестве материала фильтроэлементов открытоячеистого пенополиуретана и установлены его параметры:

- материал фильтроэлементов – пенополиуретан ППУ-ЭО-130
- (ТУ-6-05-221-710-83);
- число каскадов для грубой очистки – 1, для тонкой очистки – не менее 3;
- степень деформации фильтроэлементов $0,25 \dots 0,6$;
- рациональные размеры фильтра для расхода 10 л/мин. (длина – не менее 60 мм, ширина – $60 \dots 100$ мм, высота одного каскада $50 \dots 70$ мм).

В дальнейшем необходимо определить грязеемкость и выбрать оптимальные параметры фильтров для конкретных типов горных машин.

Список источников

1. Семик П.Е., Скляр Н.А., Панчева Ю.С. Пути увеличения долговечности стоек крепи 1 М88. – Уголь Украины, 1984, № 7, с. 24 – 25.
2. Скобеев И.К. Фильтрующие материалы. – М.: Недра, 1978. – 200 с.
3. Панчева Ю.С., Скляр Н.А., Шахмейстер Ю.Л. и др. Фильтр: № 1153949. / Открытия, изобретения, пром. образцы, тов. знаки, 1985, № 17.