

Технико-экономическое обоснование применения автоматических и регенерируемых фильтров.

В условиях модернизации производства и повышения его конкурентоспособности в промышленности все чаще применяется дорогое высокопроизводительное оборудование. Для продления его службы и повышения ресурса очень важным становится решение проблемы фильтрации различных сред.

И здесь перед проектными и эксплуатационными организациями встает проблема правильного выбора фильтровального оборудования. За последнее время получили распространение новые фильтровальные материалы и технологии фильтрации, разработанные на их основе. Для примера, появление щелевых незасоряемых решеток с клиновидным профилем привело к созданию автоматических фильтров; синтетических (полимерных) фильтровальных материалов с низкой себестоимостью – к созданию картриджных фильтров с одноразовыми фильтроэлементами; пружинных нержавеющей фильтроэлементов – к созданию регенерируемых и высокотемпературных фильтров.

Все типы фильтров имеют свои преимущества и недостатки, поэтому зачастую потребитель, сэкономив на капитальных затратах, очень сильно проигрывает в эксплуатационных, об этом свидетельствуют данные табл. 1.

Преимущества и недостатки различных марок фильтров

Таблица 1.

Марка	Преимущества	Недостатки
ФСЖД	Низкая цена закупки	Трудоемкость регенерации
ФЩА	Автоматический режим работы. Незасоряемый клиновидный профиль решетки. Низкие эксплуатационные затраты независимо от степени загрязненности среды (до 500 мг/л)	Высокая закупочная стоимость
ЭмФР	Возможность регенерации без разборки фильтра. Низкая трудоемкость обслуживания	Средняя закупочная цена
ФК	Низкая закупочная цена. Удобство регенерации	Высокая стоимость обслуживания. Необходимость утилизации фильтропатронов

ФСЖД – фильтр сетчатый дренажный жидкостный;

ФЩА – фильтр автоматический щелевой;

ЭмФР – фильтр регенерируемый «Энергетические машины»;

ФК – фильтр картриджный.

В данной статье рассматриваются четыре различных типа фильтров и условия их применения с учетом загрязненности фильтруемой среды, скорости фильтрации, грязеемкости фильтропатронов и самого фильтра. Приняты во внимание также условия эксплуатации и экономическая составляющая.

Рассмотрим четыре технологические схемы, в которых альтернативно стоят фильтры производительностью 200 м³/час, тонкость фильтрации 100 мкм; давление 10 кг/см². Средняя плотность загрязнений $\rho = 1,5$ г/см³. Гранулометрия фильтруемой среды: частицы ≤ 50 мкм – 10 %; частицы ≥ 50 мкм – 90 %.

При эксплуатации фильтровального оборудования важную роль играет такой показатель, как грязеемкость – масса загрязняющих веществ, которую способен задержать фильтр. При определении грязеемкости следует иметь в виду, что в фильтре, предлагаемом нами, из 100 % фильтруемых загрязнений примерно:

- 30 % оседают на дно фильтра (в дальнейшем смываются в дренаж);
- 60 % задерживаются на фильтрующих поверхностях;
- остальные 10 % частиц имеют размер меньше 50 мкм и, следовательно, не задерживаются фильтрующей поверхностью.

Исходя из рекомендованной скорости фильтрации жидкости 0,2–0,4 м/сек, рассчитываем площадь фильтрации и подбираем типоразмер фильтра под наши условия с учетом одинаковой грязеемкости. Средняя площадь фильтрации составит при

$$S_{\text{эф}} = 30 \%, S_{\text{общ}} = 1,5 \text{ м.}$$

При расчете грязеемкости стандартно принимаем максимальную толщину слоя загрязнений $t = 0,5$ см. Таким образом, упрощенно считаем грязеемкость по формуле:

$$G = S_{\text{общ}} * t * \rho = 1,5 \text{ м}^2 * 0,005 \text{ м} * 1500 \text{ кг м}^3 = 11,25 \text{ кг.}$$

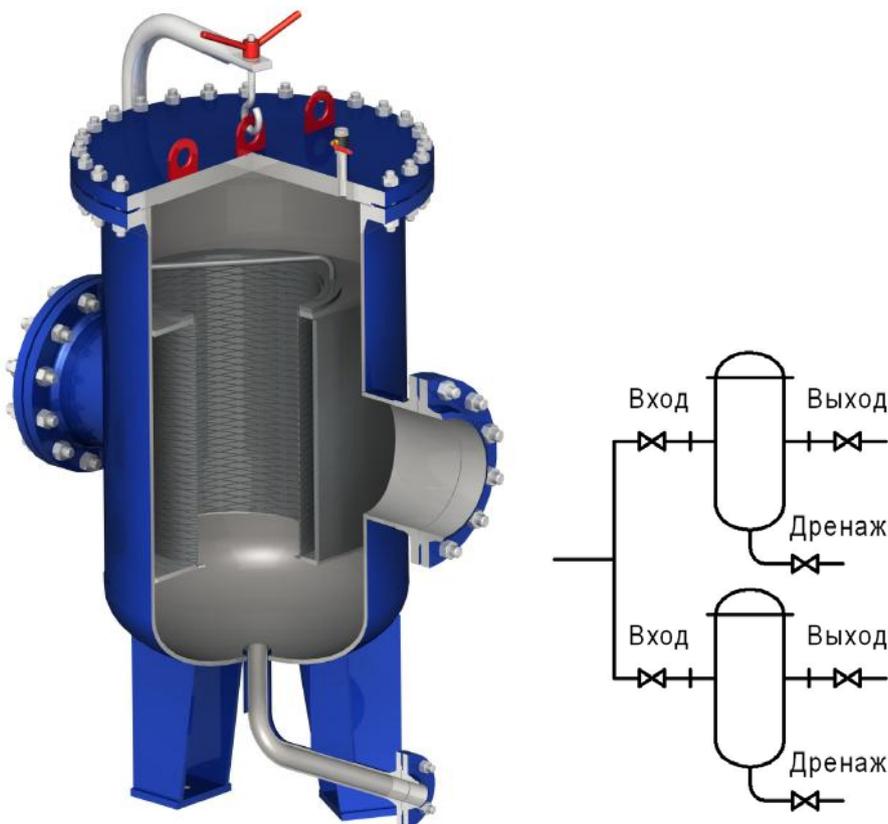
Грязеемкость одного фильтра при максимальной $\Delta P = 1,5$ кг/см² – $\sum G = 18$ кг. 30 % – 6 кг – донный осадок + 60% $G_{\text{п}} = 12$ кг фильтрованные отложения на фильтруемой поверхности.

При расчете грязеемкости принимаем, что одноразовые фильтропатроны, как правило, в силу конструктивных особенностей имеют в 1,5 раза большую грязеемкость.

Схемы фильтрации в зависимости от типа фильтра

Исходя из условий непрерывности фильтрации, рассмотрим разные варианты схем фильтрации в зависимости от типа и количества фильтров.

Два фильтра сетчатых дренажных жидкостных



Фильтр сетчатый дренажный жидкостной (ФСДЖ) представляет собой вертикальный аппарат, устанавливаемый на трех опорных стойках. Штуцеры входа и выхода среды располагаются на одной линии и позволяют встроить фильтр в существующий трубопровод. Фильтрующий элемент представляет собой опорный каркас с натянутой на него фильтрующей сеткой. Загрязненная среда поступает через патрубок входного штуцера во внутреннюю полость фильтрующего элемента. При прохождении через фильтроэлемент твердые частицы задерживаются на поверхности фильтрующей сетки. Часть примесей и загрязнений попадает в нижнюю зону корпуса, при этом их концентрация с течением времени возрастает. Очищенная фильтрующим элементом жидкость отводится из корпуса фильтра через выходной штуцер. Регенерация фильтрующей сетки осуществляется механическим способом посредством демонтажа фильтроэлемента и очистки его поверхности.

ФСДЖ 200-50-10: цена закупки – 200 тыс. руб.

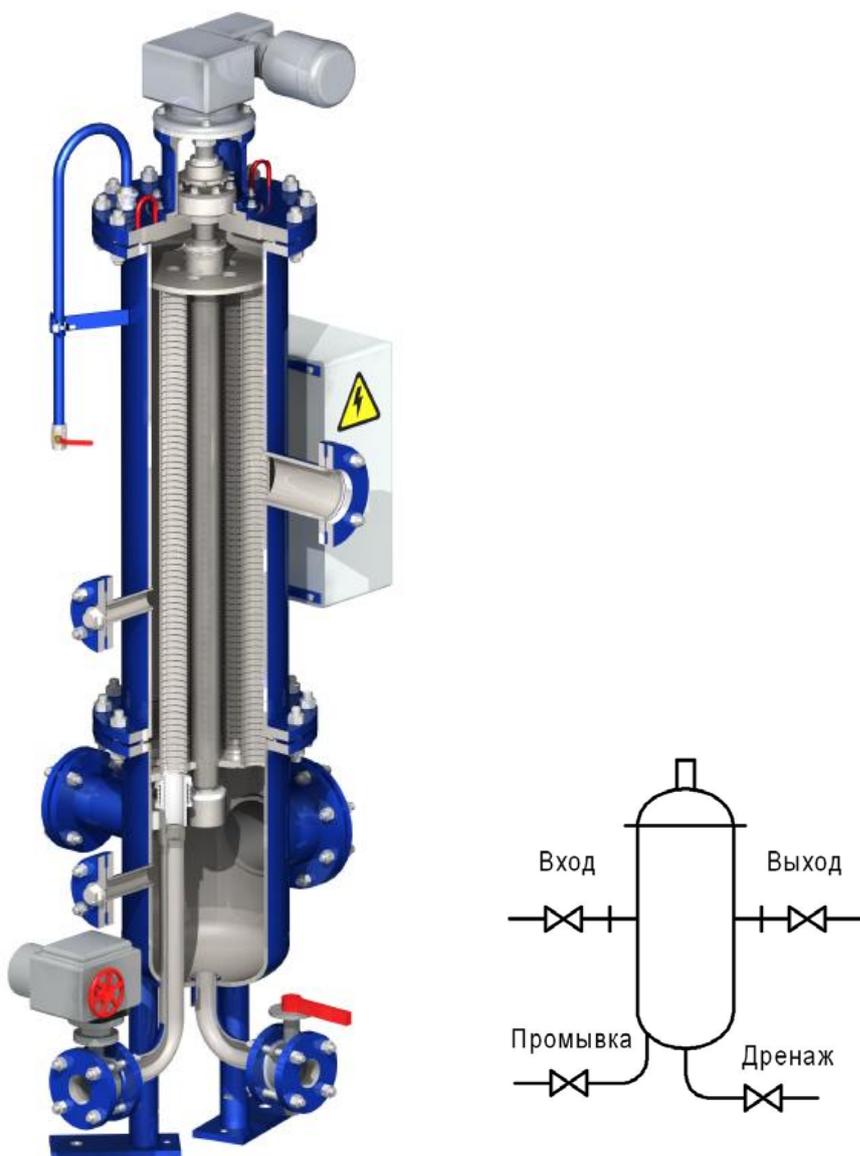
$D_{\text{корпуса}} - D_y = 600 \text{ мм}$

Площадь фильтрации – $1,5 \text{ м}^2$

Грязеемкость одного фильтра при максимальной $\Delta P = 1,5 \text{ кг/см}^2$

$G = 18 \text{ кг.}$

Один фильтр автоматический щелевой дренажный



Фильтр щелевой автоматический с обратной промывкой (ФЩА) представляет собой вертикальный аппарат, в корпусе которого между верхней и нижней трубными досками по концентрическим окружностям установлены фильтрующие элементы цилиндрические щелевые решетки с внутренней рабочей поверхностью.

Загрязненная среда поступает через входной штуцер во внутреннюю полость фильтроэлементов. При прохождении рабочей среды через щелевые решетки механические примеси задерживаются на внутренней поверхности фильтроэлементов. Очищенная рабочая среда из корпуса фильтра через выходной штуцер поступает в

трубопровод. После запуска процесса регенерации мотор-редуктор начинает вращать барабан с фильтроэлементами. При совмещении промывочного патрубка с фильтроэлементом открывается дисковый затвор обратной промывки, механические примеси из внутренней полости фильтроэлементов удаляются через промывочный штуцер обратным потоком очищенной жидкости. Периодически осуществляемый процесс обратной промывки восстанавливает работоспособность щелевых решеток и приводит к уменьшению перепада давлений в аппарате на входе и выходе. Способность к саморегулированию при простоте обслуживания и низких эксплуатационных затратах позволяет фильтру работать длительное время.

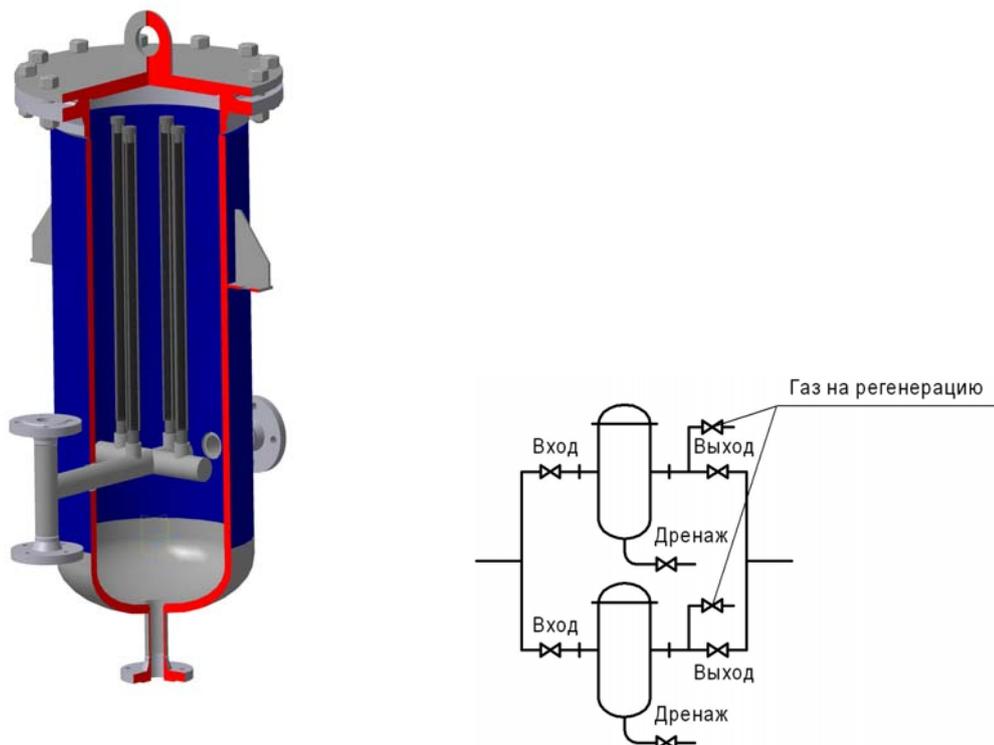
ФША 200-50-10: цена закупки – 600 тыс. руб.

$D_{\text{корпуса}} - D_y = 400 \text{ мм}$

Площадь фильтрации $S_{\text{эф}} - 8 \%$; $S_{\text{общ}} = 2,4 \text{ м}^2$

Грязеемкость одного фильтра при максимальной $\Delta P = 1,5 \text{ кг/см}^2$ составляет $G = 18 \text{ кг}$.

Два фильтра регенерируемых



Фильтр регенерируемый ЭмФР предназначен для очистки жидкостей от механических примесей с размером частиц от 20 до 100 мкм. Главным преимуществом является возможность быстрой регенерации через газовый штуцер для обратной продувки пружинного фильтроэлемента ФЭК паром, воздухом или инертным газом. Регенерация происходит без разборки фильтра и занимает минимум времени.

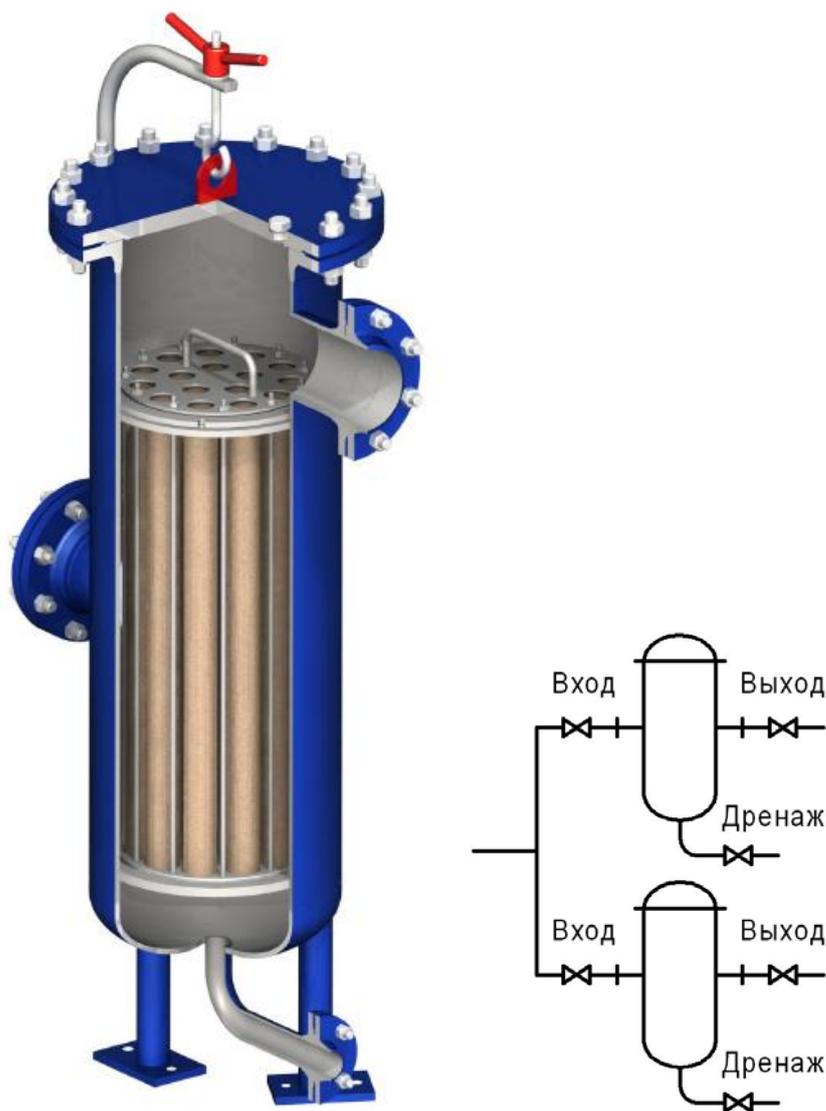
ЭмФР 200-50-10: цена закупки – 350 тыс. руб.

$D_{\text{корпуса}} - D_y = 800 \text{ мм}$

Площадь фильтрации при $S_{\text{эф}} - 14 \%$ $S_{\text{общ}} = 2,4 \text{ м}^2$.

Грязеемкость одного фильтра при максимальном $P = 1,5 \text{ кг/см}^2$ $G = 18 \text{ кг}$.

Два фильтра картриджных



Фильтр картриджный (ФК) представляет собой вертикальный аппарат, устанавливаемый на трех опорных стойках. Фильтроэлементы представляют собой тканые картриджи, объединенные в единую кассету, устанавливаются между опорными кольцами, разделяя тем самым внутренний объем корпуса на две полости – для загрязненной и очищенной среды. Загрязненная среда поступает через патрубок входного штуцера, попадает на наружную поверхность фильтрующих элементов. Механические примеси удерживаются картриджами, а очищенная жидкость отводится из корпуса фильтра через выходной штуцер. Фильтрующие картриджи не являются регенерируемыми и подлежат замене при загрязнении.

ФК 200-100-10; цена закупки – 200 тыс. руб.

В фильтре стоят 20 одноразовых глубинных фильтропатронов $D = 63$ мм; $L = 1000$ мм по цене 800 руб. за ед.

Грязеемкость одного глубинного фильтропатрона при $\Delta P = 1,5$ кг/см² составляет $G_{п1} = 1,8$ кг.

Грязеемкость одного фильтра при максимальной $\Delta P = 1,5$ кг/см² - $\sum G - 42$ кг = 6 кг - осадок + $G_{п} = 36$ кг - фильтрованные отложения на глубинных фильтропатронах.

$D_{корпуса} - D_y = 600$ мм

Площадь фильтрации -4,2 м².

Исходя из имеющегося комплекта оборудования, рассчитаем фильтроцикл (время работы фильтра в часах до регенерации) фильтра при разной загрязненности фильтруемой жидкости. **Крег** – количество технических обслуживаний в год.

$W = G_{п}/Q/K_{пр}/K_{ф}/J$, где:

$G_{п}$ – грязеемкость фильтруемой поверхности, мг;

Q – расход л/час;

$K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий процент частиц, проскочивших сквозь фильтр ($K_{пр} = 0,9$);

$K_{ф}$ – коэффициент, учитывающий количество частиц, задержанных фильтрующей поверхностью ($K_{ф} = 0,6$);

J – количество мехпримесей, мг/л.

$K_{рег} = 365*24/W$

Данные сведены в таблицу 2.

Марка площадь фильтрации $S, \text{ м}^2$	Количество мехпримесей $J, \text{ мг/л}$	Кол-во фильтров в установке Грязеемкость фильтра $G / G_{п}$ - грязеемкость фильтр поверх., кг	Фильтроцикл $W, \text{ час.}$ (рабоч. пробег между тех. обл.)	Количество реген. в год $K_{рег}$
ФСЖ $S=1,4$	0,5	2 – ФСЖД	220	40
	2,5	18/12 кг	44	200
	5		22	398

ФЩА S=2,4	0,5	1 – ФЩА 18/12 кг	220	4 тех. обл. в год
	2,5		44	
	5		22	
ЭмФР S=2,4	0,5	2 – ЭмФР 18/12 кг	220	40
	2,5		44	200
	5		22	398
ФК S=4,2	0,5	2 – ФК 42/36 кг	660	13
	2,5		132	66
	5		60	146

Годовые эксплуатационные затраты – показатель, характеризующий степень технико-экономической эффективности техники и оборудования, учитывающий прямые расходы в единицу времени на амортизацию, оплату труда, ГСМ, ТО и ремонт, хранение, проценты за кредит, налоги, страховые платежи, накладные расходы и прочие расходы, связанные с ее эксплуатацией.

Экономические свойства любого объекта, равно как и его физические свойства (вес, габариты, срок службы и т. д.), должны зависеть только от технических и конструктивных параметров самого объекта и быть постоянными или относительно постоянными в течение всего срока службы данного объекта. Таким свойством обладает критерий годовых эксплуатационных затрат (ГЭЗ). Для любой машины этот критерий определяют по формуле:

$A_{гэз} = Cз/Н + Aф$, где:

$A_{гэз}$ – годовые эксплуатационные затраты, руб./год;

$Aф = (Cн/час * Tф * + Cрасх) * Kрег$ – годовые затраты на регенерацию фильтра;

$Cз$ – закупочная цена, руб.;

$Н = 10$ – средний срок службы, лет;

$Cн/час$ – стоимость нормочаса;

$Tф$ – трудоемкость обслуживания фильтра;

$Kрег$ – количество регенераций в год;

$Cрасх$ – стоимость расходных материалов.

При этом важнейшим фактором, который влияет на эксплуатационные затраты, является $Tф$ – трудоемкость обслуживания фильтра. $Tф$ показывает, сколько часов

необходимо затратить на обслуживание фильтра для восстановления его фильтрационной способности.

$$T_{фсж} = 2 \text{ чел.} * 1,5 \text{ час.} = 3 \text{ час.}$$

$$T_{фша} = 4 \text{ обслуживания в год} * 2 \text{ чел. по } 8 \text{ час.} = 64 \text{ часа в год.}$$

$$T_{Эмфр} = 2 \text{ чел.} * 0,5 \text{ час.} = 1 \text{ час.}$$

$$T_{фк} = 2 \text{ чел.} * 1 \text{ час.} = 2 \text{ часа.}$$

Таким образом, годовые затраты на техническое обслуживание фильтра для восстановления его фильтрующей способности составят:

$$A_{рег} = (C_{н/час} * T_{ф} + C_{расх}) * K_{рег}$$

$$A_{фсж} = (320 * 3 + 500) * K_{рег} = 1460 * K_{рег} \text{ руб.}$$

где $C_{расх}$ – стоимость прокладок.

$$A_{фша} = (320 * 16 + 1000) * 4 = 20\,880 \text{ руб./год обл.}$$

где $C_{расх}$ – стоимость прокладок.

$$A_{Эмфр} = (320 * 1) * K_{рег} = 320 * K_{рег} \text{ руб.}$$

$$A_{фк} = (320 * 2 + C_{скатр} * N) * K_{рег} = (320 * 2 + 20 * 800) * K_{рег} =$$

$$16\,640 * K_{рег} \text{ руб.}$$

где $C_{скатр} = 800 \text{ руб.}$ – стоимость одноразового фильтроэлемента

$N = 20$ – количество фильтроэлементов.

Частота обслуживания фильтров напрямую зависит от загрязненности технологической жидкости. Так, например, при фильтрации оборотной воды на металлургическом комбинате автоматический фильтр становился на промывку при перепаде давления $P = 1 \text{ кг/см}^2$ не реже одного раза в час. Таким образом, в сутки выходило не менее 24 регенераций.

Экономические свойства любого объекта должны зависеть от технических и конструктивных параметров самого объекта и быть относительно постоянными в течение всего срока службы.

Экономическая эффективность применения разных типов фильтров зависит от загрязненности фильтруемой среды, грязеемкости фильтра и, соответственно, частоты и трудоемкости обслуживания. Приведенные ниже график и таблица показывают зависимость эффективности фильтра от этих параметров.

Марка фильтра	Амортизация Сз/Н, руб.	Годовые затраты на регенерацию фильтра Арег, руб.	Кол мех. Прим. J мг/л	Количество тех обл. в год для регенерации Крег	Годовые эксплуатационные затраты, Агэз, руб.
ФСЖД	2*200 000/10= 40 000	1 460*Крег	0,5	40	72 000
			2,5	200	104 000
			5	400	362 000
ФЩА	1*600 000/10= 60 000	20 880 #	0,5	4 план тех обл в год	80 880
			2,5		80 880
			5		80 880
ФР	2*300 000/10= 60 000	320*Крег	0,5	40	67 680
			2,5	200	74 080
			5	400	130 400
ФК	2*200 000/10= 40 000	16 640*Крег	0,5	13	256 320
			2,5	66	1 098 240
			5	146	2 429 440

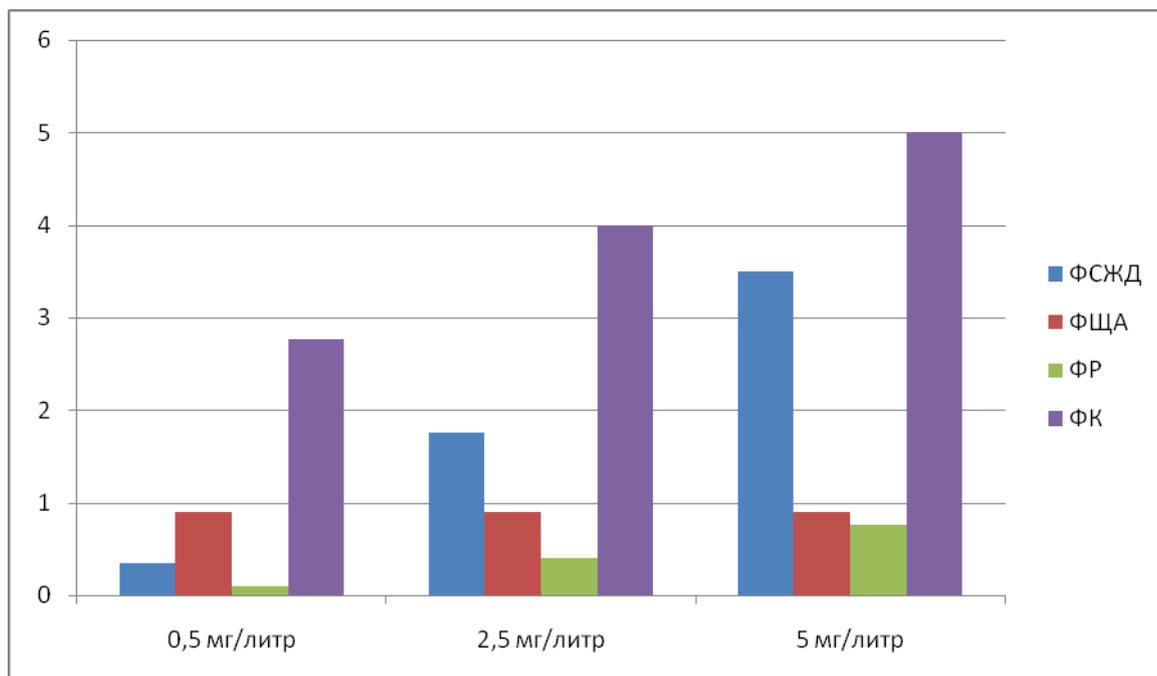


График сравнительной экономической эффективности разных типов фильтров в зависимости от загрязненности фильтруемой жидкости.