

# **ОЧИСТКА ВОЗДУХА В КОМПРЕССОРНЫХ И ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ**

В газотурбинных и компрессорных установках воздух используется как технологическая среда. В компрессорных установках воздух проходит цикл сжатия и затем направляется на какие-либо технологические нужды. В газотурбинной установке воздух используется для процесса сгорания газа.

В обоих случаях воздух, как правило, засасывается из атмосферы, проходит через элементы компрессорных и газотурбинных установок.

Атмосферный воздух всегда содержит какое-то количество пылевых частиц естественного происхождения, связанного с эрозией почв, генерацией различных пылей, растениями (пух, тополей, одуванчиков, пыльца и т.п.). Дополнительное загрязнение воздуха вызывается техногенными факторами, связанными с жизнедеятельностью человека (выхлопы от автотранспорта, вентиляционные выбросы промышленных предприятий и т.д.). Это приводит к тому, что воздух, содержащий пылевые частицы, попадает к движущимся или вращающимся элементам газотурбинных и компрессорных установок. Наличие в перемещаемом воздухе пылевых частиц приводит к абразивному износу и загрязнению элементов газовых турбин и компрессорных установок. Особенно характерен абразивный износ для лопаток газовых турбин, который влечет снижение к.п.д. всей газотурбинной установки.

Загрязнение элементов газотурбинных установок приводит к дополнительным затратам, связанным с разборкой и очисткой этих элементов.

По указанным выше причинам возникает необходимость очистки циклового воздуха

## **Очистка воздуха в газотурбинных установках**

Как отмечалось ранее, от чистоты воздуха, засасываемого в газотурбинные установки, зависит ресурс этой установки, а также затраты на ее обслуживание.

Для решения этой задачи применяются специальные воздухоочистные устройства (ВОУ) (рис. 1).



**Рис.1 Газотурбинные установки с ВОУ**

ВОУ представляет собой, как правило, отдельно стоящее сооружение, соединенное коротким воздушным трактом с газотурбинной установкой. Воздухозабор в ВОУ осуществляется на высоте, как правило, не менее 8-10 метров. В верхней части ВОУ размещаются фильтры, которые защищаются от воздействия прямых атмосферных осадков (дождя и снега) с помощью специальных козырьков, жалюзийных каплеуловителей и т.п.

Выбор системы фильтрации ВОУ зависит от исходных данных: уровня чистоты воздуха, поступающего в турбину после очистки и уровня запыленности атмосферного воздуха, поступающего на систему фильтрации.

В СССР требования очистки воздуха в ВОУ газотурбинных установок регламентировались ГОСТ 29328-92, в соответствии с которым воздух должен быть очищен до концентрации  $0,3 \text{ мг/м}^3$  и от частиц крупнее  $20 \text{ мкм}$ .

Указанное требование по очистке циклового воздуха является очень грубым, что в дальнейшем повлекло его ужесточение.

Другим требованием, определяющим выбор системы очистки циклового воздуха в газовой турбине, является запыленность воздуха в месте ее расположения.

В рассматриваемом нами случае газотурбинные установки выступают или как энергетические установки (для производства электроэнергии и тепла), или как установки, расположенные на компрессорных станциях, осуществляющих перекачку природного газа по газопроводам.

Газотурбинные агрегаты, как элементы компрессорных станций, могут располагаться в отдаленных районах Сибири, а также степных районах России, Украины, Белоруссии и Европы, а также странах Средней Азии. Энергетические газотурбинные установки чаще всего располагаются на территории ТЭЦ, ГРЭС, крупных котельных или промышленных предприятий, когда энергетическая установка компенсирует нехватку электрических мощностей этого предприятия.

Запыленность, дисперсный состав и свойства пылей в этих случаях различны, что должно диктовать различные схемы очистки циклового воздуха для газотурбинных агрегатов.

Так, например, запыленность в сельской местности, как правило, невелика, и может колебаться от  $0,05$  до  $0,2 \text{ мг/м}^3$ , что в этом случае диктует устройство системы очистки накопительного типа. В ряде случаев эта система может потребовать защиты от крупной «пыли», например, тополиный пух, семена одуванчиков, пыльца других растений, мошкара и т.п.

Для степных районов, расположенных вне городской черты, среднегодовые запыленности также невелики. Однако, при возникновении пыльных бурь, запыленность может увеличиваться многократно и за несколько часов приводить к полному выходу системы фильтрации из строя.

В этом случае более целесообразна установка самоочищающихся фильтров с импульсной регенерацией, которая способна справляться с пиковыми всплесками запыленности очищаемого воздуха.

Третьим общим случаем может являться размещение газотурбинной установки на территории промышленного предприятия, где запыленность воздуха может колебаться от  $2$ -х до  $5 \text{ мг/м}^3$ . В этом случае выбор системы фильтрации должен производиться с учетом дисперсности и свойств пылей, содержащихся в воздухе этой территории.

Например, при отсутствии аэрозолей сажи и большого количества мелкодисперсных аэрозолей менее  $1 \text{ мкм}$  может быть использована система фильтрации с самоочищающимися фильтрами. При наличии в воздухе большого количества мелкодисперсных аэрозолей и сажи более предпочтительной может считаться накопительная система фильтрации.

Выбор системы фильтрации является важным моментом и должен проводиться специализированными организациями, т.к. недоучет всех исходных факторов может приводить к необоснованным затратам.

## Системы фильтрации воздуха в ВОУ

В целом, система фильтрации воздуха в ВОУ газотурбинных агрегатов может быть разделена на две группы: накопительного типа и системы с самоочищающимися патронными (картриджными) фильтрами, регенерация которых производится импульсной продувкой сжатым воздухом.

Необходимо отметить, что накопительная система включает, как правило, несколько ступеней фильтрации, некоторые из которых также могут подвергаться регенерации в ручном режиме после извлечения их из мест установки.

Отдельно могут быть выделены воздухоочистные устройства инерционного типа, к которым относятся циклонные или жалюзийные пылеосадители. Они способны улавливать только грубодисперсные пыли и могут выступать в роли защитных устройств основной системы фильтрации от всплесков запыленностей, вызванных какими-либо причинами (например, пыльные бури).

Как указывалось выше, системы фильтрации накопительного типа, как правило, являются многоступенчатыми.

В этой многоступенчатой системе каждая последующая ступень решает задачу защиты предыдущей и, как правило, более дорогостоящей, от крупных фракций пыли.

### Накопительная система очистки воздуха в ВОУ

ООО «НПП «Фолтер» разработал накопительную систему очистки воздуха в ВОУ газотурбинных агрегатов, которая может быть реализована с помощью секций воздушных фильтров типа ССФ-Т.

Секции воздушных фильтров ССФ-Т могут быть использованы в газовых турбинах различной мощности с производительностью по воздуху от 3500 до 102 000 нм<sup>3</sup>/час в единичном модуле. При необходимости очистки больших объемов воздуха могут быть разработаны фильтровальные камеры большей пропускной способности, а также скомпонованы в составе (ВОУ, КВОУ) из нескольких стандартных секций ССФ-Т. В этом случае ССФ-Т может выступать как модульный фильтрующий блок (часть ВОУ, КВОУ) и обеспечивать требуемый уровень чистоты циклового воздуха (вплоть до использования для финишной фильтрации HEPA фильтров класса H11-H12). Секция воздушных фильтров может предусматривать размещение фильтров тонкой очистки классов F6÷F9, фильтров грубой очистки G3-G4, а также влагоуловителей и пухоуловителей.

Таким образом ССФ-Т по техническому заданию Заказчика может быть оснащена различными схемами фильтрации циклового воздуха.

Аналогичные решения могут быть также реализованы для компрессорных установок и обеспечивать необходимый уровень чистоты воздуха, подаваемого к компрессору с учетом начальной запыленности в месте его размещения.

На рис.1 и 2 представлены секции воздушных фильтров ССФ-Т с трехступенчатой схемой фильтрации воздуха (как одной из возможных схем), преимуществом которой является использование карманного предфильтра типа ФяК глубиной 600 мм, что в 2,5÷3 раза увеличивает его ресурс работы в сравнение с наиболее часто применяемыми в составе ВОУ карманными фильтрами глубинное 300 или 360 мм.

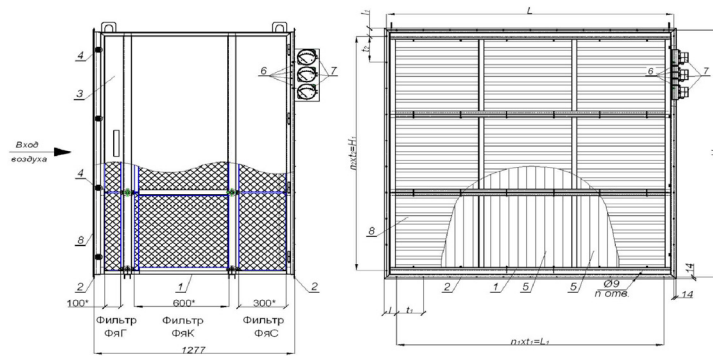


Рис. 1 Схема секции воздушных фильтров ССФ-Т3

1 - корпус; 2 - входной и выходной фланцы; 3 - дверь; 4 - прижим; 5 - фильтр;  
6 - штуцер; 7 - дифференциальный манометр типа DPG-600 или датчик давления PS-600; 8 - решетка  
вентиляционная наружная.

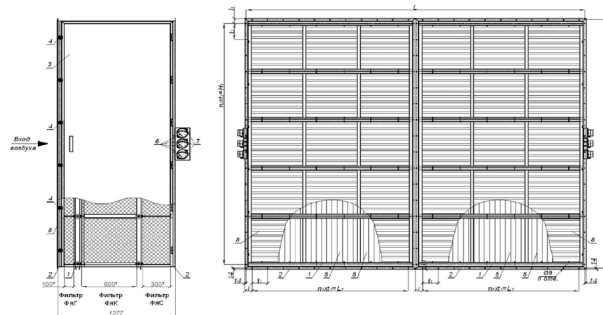


Рис. 2 Схема секции воздушных фильтров ССФ-Т3-2-2/6x5

1 - корпус; 2 - входной и выходной фланцы; 3 - дверь; 4 - прижим; 5 - фильтр;  
6 - штуцер; 7 - дифференциальный манометр типа DPG-600 или датчик давления PS-600; 8 - решетка  
вентиляционная наружная.

		Величина Код ССФ-Т3-2-2/													
		1x1	1x2	1x3	1x4	1x5	2x1	2x2	2x3	3x1	3x2	3x3	3x4	3x5	6x5
Номинальная производительность для ФяС-Ф для ФяС-К	нм³/ч	3500	7000	10500	14000	17500	7000	14000	21000	10500	21000	31500	42000	52000	102000
Для ФяС (НЕРА)		1900	3800	5700	7600	9500	3800	7600	11400	5700	11400	17100	22800	28500	57000
Количество фильтров ФяС; ФяС-Ф и ФяС-С, ФяС-Ф-МП, ФяС-МП	шт	1	2	3	4	5	2	4	6	3	6	9	12	15	30
Рекомендуемое конечное сопротивление для классов для G3-G4 для F6-F9 для H10H11	Па	50 450-600 60													

Начальное аэродинамическое сопротивление ССФ-Т равно сумме сопротивлений установленных фильтров, которые можно уточнить в каталоге ООО НПП «ФОЛТЕР» [www.folter.ru](http://www.folter.ru).

#### ГАБАРИТНЫЕ И ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ СЕКЦИИ ССФ-Т, мм

Код ССФ	L	H	L <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	/	/ <sub>1</sub>	n	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	Масса без фильтров, кг.
2/1x1	643	694	510	600	170	200	80	61	32	3	3	102
2/1x2	643	1294	510	1200	170	200	80	61	44	3	6	143
2/1x3	643	1894	510	1800	170	200	80	61	56	3	9	194
2/1x4	643	2494	510	2400	170	200	80	61	68	3	12	228
2/1x5	643	3094	510	3000	170	200	80	61	80	3	15	269
2/2x1	1235	694	1190	600	170	200	37	61	48	7	3	140
2/2x2	1235	1294	1190	1200	170	200	37	61	60	7	6	201
2/2x3	1235	1894	1190	1800	170	200	37	61	72	7	9	257
2/3x1	1827	694	1700	600	170	200	78	61	60	10	3	180
2/3x2	1827	1294	1700	1200	170	200	78	61	72	10	6	250
2/3x3	1827	1894	1700	1800	170	200	78	61	84	10	9	318
2/3x4	1827	2494	1700	2400	170	200	78	61	96	10	12	366
2/3x5	1827	3094	1700	3000	170	200	78	61	108	10	15	405
2/6x5	3682	3094	1700	3000	170	200	78	61	216	10	16	830

Для комплектации ВОУ газовых турбин ООО НПП «ФОЛТЕР» выпускает следующие типы кассетных (ячейковых) воздушных фильтров накопительного типа.

#### Пухоуловитель ФяР-С

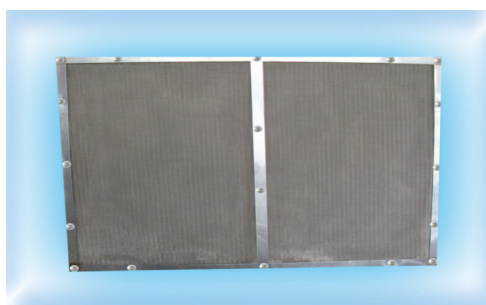


Рис.3 Пухоуловитель ФяР-С

Указанными кассетами (ячейками) могут снаряжаться специальные конструкции, размещаемые на воздухозаборе ВОУ. Конструкция предусматривает замену кассет в процессе эксплуатации ВОУ для их последующей промывки под напором воды. Подобная система пухоуловителей была установлена и успешно эксплуатируется на ВОУ Моострангаза.

В российской практике в качестве 1 ступени применяются, так называемые влагоотделители, которые решают задачу улавливания атмосферных осадков (дождя и снега). Эти фильтры относятся к G2 классу очистки ГОСТ Р EN779-2007 (Евростандарт EN779) и способны также улавливать пылевые частицы крупнее 10-15 мкм.

К этим фильтрам могут быть отнесены стекловолоконистые маты одноразового применения толщиной от 50 до 100 мм. (рис.4), пенополиуретановые фильтры ППУ с открытыми порами или сетчатые фильтры, типа ФяР-ВО (рис.5).



Рис.4 Стекловолоконный мат.  
сетчатый



Рис.5 Влагодделитель  
типа ФяР-ВО.

Сетчатые фильтры ФяР-ВО снаряжается специальными гофрированными сетками способные эффективно улавливать капли дождя и снег и иметь возможность регенерации путём их промывки.

Необходимо отметить, что фильтры с ППУ имеют более высокое сопротивление и труднее поддаются регенерации в сравнении с сетчатыми фильтрами.

### **Предварительная очистка воздуха.**

В качестве последующей ступени используются фильтры грубой (предварительной) очистки класса G4, способные достаточно эффективно улавливать частицы от 5 до 10 мкм. К таким фильтрам относятся гофрированные фильтры типа ФяГ (рис. 6) или карманные фильтры ФяК (рис.7) класса G

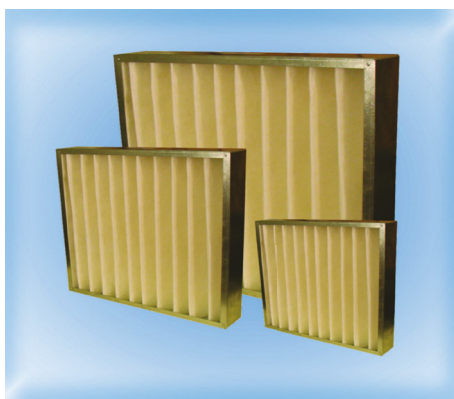


Рис.6 Гофрированный фильтр  
типа ФяГ.

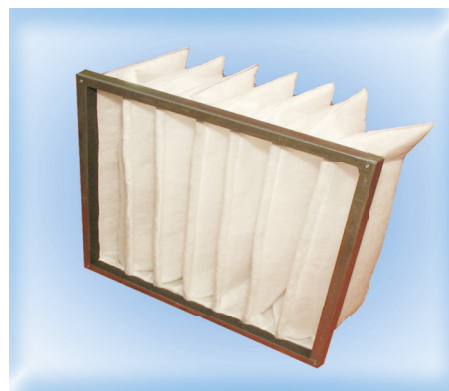


Рис.7 Карманный фильтр типа  
ФяК класс G4.

Для обеспечения требований чистоты циклового воздуха в дополнение к фильтрам G4 класса устанавливаются карманные фильтры класса F7 (рис.8).

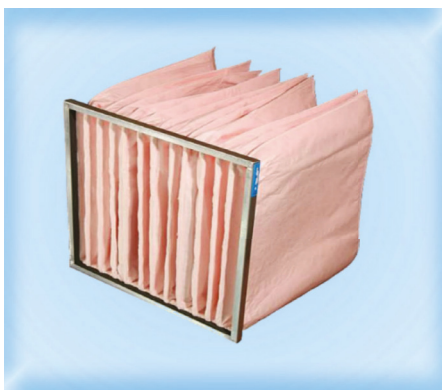


Рис.8 Карманный фильтр класса F7

В качестве фильтров тонкой очистки в последние годы чаще устанавливаются компактные фильтры ФяС-КТ или складчатые фильтры ФяС-Ф классов F7-F9.

Фильтры ФяС-КТ изготавливают в корпусах из алюминия или пластика, а фильтры ФяС-Ф в оцинкованном корпусе.

Фильтры ФяС-КТ изготавливаются 2-х типоразмеров по глубине: 292(296)мм или 400 мм с увеличенной (1,5 раза) фильтрующей поверхностью. Применение фильтров ФяС-КТ с глубиной 400 мм позволяет снижать начальное сопротивление системы фильтрации ВОУ и увеличивать срок службы фильтров.

При предъявлении более высоких требований к чистоте циклового воздуха фильтры ФяС-КТ и ФяС-Ф могут изготавливаться H10-H12 классов.

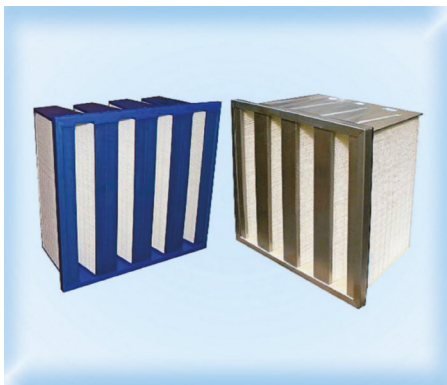


Рис.9 Фильтр ФяС-КТ с глубиной 292 мм

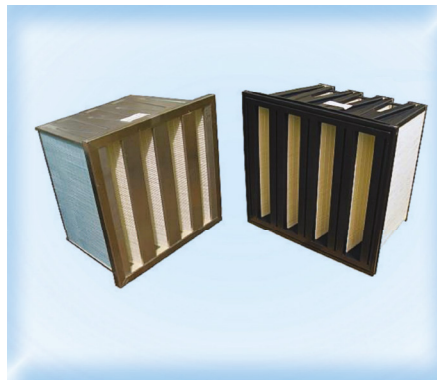


Рис.10 Фильтр ФяС-КТ с глубиной 400 мм

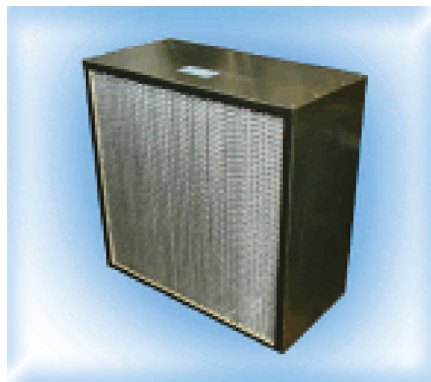


Рис.11 Фильтр ФяС-Ф

Выпускаются также высокопроизводительные фильтры ФяС-Ф-МП классов F6-F9 и ФяС-МП классов H10-H12, которые также могут быть использованы в составе секции воздушных фильтров ССФ-Т и конструкции ВОУ

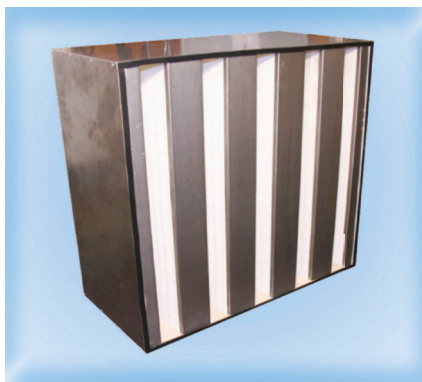


Рис.12 ФяС-МП

## Патронные (картриджные) фильтры.

В качестве системы фильтрации накопительного типа используются также и патронные (картриджные) фильтры (рис.13). Эффективность этих фильтров, как правило, соответствует классу F7 – F9

Система фильтрации, оснащенная самоочищающимися фильтрами, представляет собой цилиндрические или конические картриджные фильтры, изготовленные с использованием специальных материалов и работающими в режиме накопления уловленной пыли (рис.14).

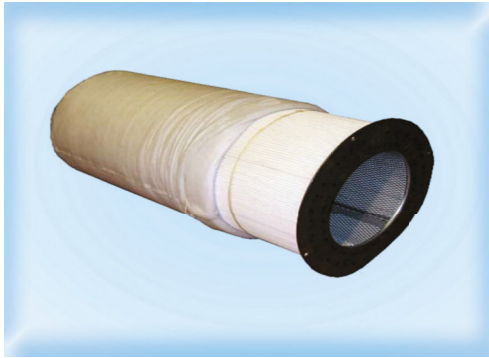


Рис.13 Патронный (картриджный) фильтр типа ФЭП накопительного типа с пред-фильтром в виде «чулка»



Рис.14 Фильтр патронный картриджный типа ФЭП самоочищающийся

Эти патронные фильтрующие элементы оснащены импульсными клапанами, которые при достижении заданного сопротивления и получения сигнала от автоматической системы управления, осуществляют впрыск сжатого воздуха во внутреннюю полость патронного элемента. За счет сильного ударно-встряивающего эффекта происходит регенерация патронного фильтра от ранее накопленной пыли.

Важным элементом этих фильтров является фильтрующий материал, имеющий специальный слой на входе воздуха. Этот слой имеет высокую эффективность, не позволяющую пылевым частицам проникать в глубину фильтрующего материала, т.е. обеспечивающий, так называемую поверхностную фильтрацию, что позволяет работать патронным фильтрующим элементам сравнительно длительные промежутки времени.

## Блоки предфильтров.

Как указывалось выше, все выпускаемые фильтры (кассеты) могут устанавливаться в необходимом количестве (в зависимости от количества очищаемого воздуха) в секциях типа ССФ-Т.

Кроме этого существует и другие схемы компоновки многоступенчатой схемы фильтрации.

Нами производятся блоки предфильтров типа МР, которые размещаются непосредственно на компактных фильтрах типа ФяС-КТ.

Принципиальная схема такой компоновки с блоком предфильтров типа МР-42 показана на рис. 15.

Эта схема включает 3 ступени очистки: 1-ая влагоотделитель; 2-ая карманный предварительный фильтр ФяК класса G4 и 3-я-компактный фильтр ФяС-КТ класса F7-F9.



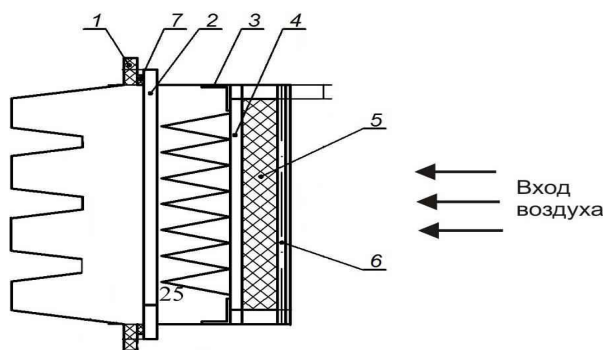


Рис.14 Схема системы фильтрации в ВОУ с блоком предфильтров МР 42

1-опорная стена фильтрующей камеры ВОУ; 2-фильтр ФяС-КТ; 3-корпус блока предфильтра; 4-карманный фильтр ФяК; 5-предфильтр-влагоотделитель; 6-фиксирующие планки; 7-уплотнительная прокладка

1-ая и 2-ая ступень очистки размещается в корпусе блока предфильтров, который имеет габаритные размеры на входе 596x596 мм, для того чтобы корпус блока предфильтров мог «одеваться» на установочную раму фильтра ФяС-КТ, размеры которой 592x592 мм.

Установка фильтра ФяС-КТ, и корпуса блока предфильтров осуществляется в следующей последовательности. Сначала в проем фильтрующей камеры ВОУ устанавливается фильтр ФяС-КТ (рис. 15). Затем на установочную раму фильтра ФяС-КТ поз. 5 надвигается корпус блока предфильтров поз. 1. После этого корпус предфильтров МР поз. 1 и фильтр ФяС-КТ поджимаются шайбой поз. 2 и гайкой поз. 3 к проему фильтрующей камеры ВОУ. Уплотнение фильтров ФяС-КТ в фильтрующей камере ВОУ и фильтра ФяС-КТ с корпусом блока предфильтров осуществляется за счет резиновых уплотнений поз. 7, расположенных на корпусе фильтра ФяК и блока предфильтров.

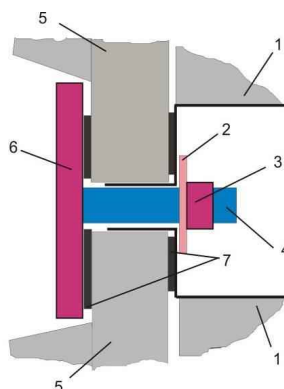


Рис. 15 Корпус блока предфильтров МР-42

1- корпус блока предфильтров; 2-прижимная шайба; 3-гайка; 4-шпилька; 5-корпус фильтра ФяС-КТ; 6-опорная стена фильтрующей камеры ВОУ; 7-уплотнительные прокладки.

После этого в корпус блока предфильтров устанавливаются фильтры ФяК 4 (рис. 14) и фильтр-влагоотделитель 5, который фиксируется в корпусе блока предфильтров с помощью специальных планок 6.

Такая схема расположения фильтров позволяет проводить замену загрязнившихся фильтров 1-ой и 2-ой ступени в процессе эксплуатации при необходимости. Общий вид блока предфильтров показан на рис.16.

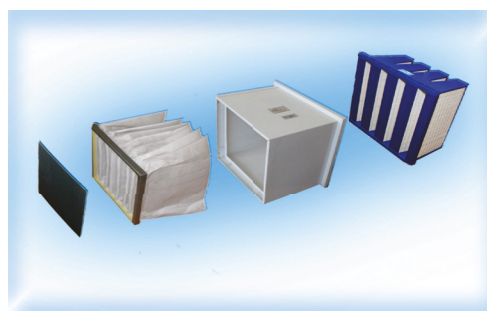
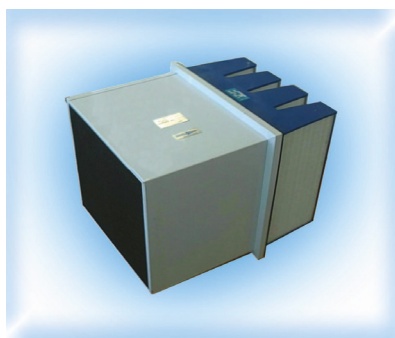


Рис.16 Общий вид блока предфильтров МР-42 с фильтром

Приведенная выше схема установки модулей МР 42 была разработана по техническому заданию одного из производителей ВОУ для замены зарубежного аналога.

Нами разработана другая система модулей блока предфильтров МР-В 42, которая показана на рис.17

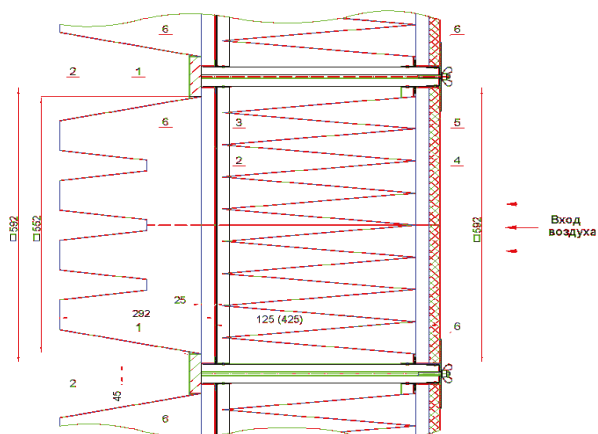


Рис.17 Схема фильтрации в ВОУ с блоком предфильтров МР-В 42

1-опорная стена фильтрующей камеры ВОУ; 2-фильтр ФяС-КТ; 3-корпус блока предфильтра; 4-карманный фильтр ФяК; 5-предфильтр-влагоотделитель; 6-уплотнительная прокладка.

Фильтры первой и второй ступени очистки размещаются в корпусе блока предфильтров МР-В, который фиксируется снаружи на установочной раме фильтра ФяС-КТ с размерами 592x592 мм.

Монтаж фильтра ФяС-КТ и корпуса блока предфильтров МР-В осуществляется в следующей последовательности. В проем опорной стенки ВОУ поз.6 устанавливается фильтр ФяС-КТ поз.9 поджимаются прижимом поз.2 и гайкой-барашком поз.3 к опорной стенке фильтрующей камеры ВОУ поз.6. Внутри корпуса предфильтров вставляются карманный фильтр типа ФяК поз.8 и фильтр предварительной очистки поз.7. Фильтры фиксируются прижимом поз.2 и гайкой-барашком поз.3. Уплотнение фильтров ФяС-КТ в фильтрующей камере ВОУ и фильтра ФяК с корпусом блока предфильтров МР-В осуществляется за счет уплотнительных прокладок поз.5, расположенных на корпусе фильтра ФяК и блока предфильтров МР-В.

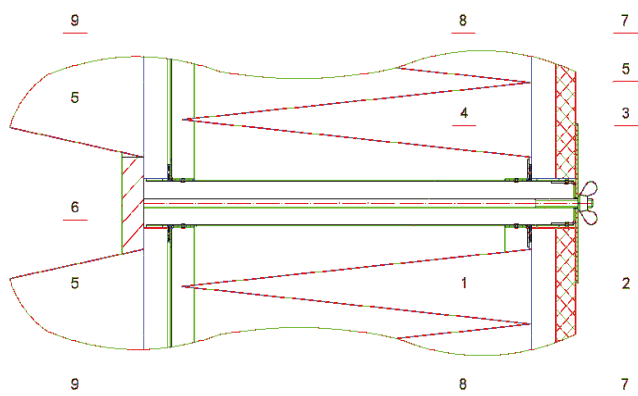


Рис.18 Схема установки и крепления блока предфильтров МР-В и фильтров тонкой очистки ФяС-КТ в фильтрующей камере ВОУ

1-Корпус блока предфильтров МР-В; 2-Прижим; 3-Гайка-барашек; 4-Шпилька; 5-Уплотнительная прокладка; 6-Опорная стенка фильтрующей камеры ВОУ; 7-Фильтр предварительной очистки; 8-Карманный фильтр ФяК; 9-фильтр ФяС-КТ.

Модули блока предфильтров типа МР-В 42 позволяют размещать предфильтры с габаритными размерами 592x592 мм, что позволяет снижать начальное сопротивление системы фильтрации и увеличивать ресурс работы на 20-30% в сравнении с модулем МР-42.

Помимо предложенных выше схем и систем фильтрации воздуха в ВОУ по техническому заданию ООО «НПП «Фолтер» может разработать индивидуальные системы очистки циклового воздуха с учетом особенностей местонахождения ГТА и требований чистоты воздуха.