

Расширение возможностей сетчатых промышленных водяных фильтров

Виктор Кухарь¹, Виталий Кузьминский², Ольга Овчинникова³

¹ ГВУЗ Национальный горный университет
просп. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, Украина, 49005
vkuhar@narod.ru, orcid.org/0000-0002-1849-4489

^{2, 3} ООО Океанмашэнерго, ул. Комбрига Петрова, 5,
Днепропетровск, Украина, 49041, oceanmas@infotd.dp.ua
² orcid.org/0000-0003-2480-5615, ³ orcid.org/0000-0003-3805-1703

Аннотация. Показано, что наиболее распространённые сетчатые фильтры для технической воды в части площади сетки фильтроэлемента достигли своего предела. Представлено решение этой проблемы в фильтрах нового типа ООО «Океанмашэнерго». Разработан и освоен в производстве типоразмерный ряд фильтров, проведены исследования с разработкой методики расчета новых фильтров.

Ключевые слова: сетчатый фильтр, тонкая фильтрация, площадь сетчатого фильтроэлемента.

ВВЕДЕНИЕ

Очистка технической воды от механических загрязнений с помощью фильтров является основным способом первого (иногда единственного) этапа водоподготовки на промышленных системах водоснабжения. Цель очистки – предотвратить забивание и засорение аппаратов – конечных потребителей воды и поддержание штатных режимов их эксплуатации. Такими аппаратами – потребителями воды являются кожухотрубчатые и пластинчатые теплообменники, брызгала охлаждения, форсунки градирен и т.п. элементы.

Наиболее простыми по конструкции, надёжными, низкими по стоимости и в связи с этим наиболее часто применяемыми в промышленности являются сетчатые фильтры, фильтровальные элементы которых построены на основе плетёных проволоочных сеток (Рис. 1, а), перфорированных листов с отверстиями различной формы (Рис. 1, б, в).

Фильтры с такими фильтроэлементами (ФЭ) подобны по конструкции, принципам работы и эксплуатационным параметрам, имеют сходные характеристики, достоинства и недостатки.

Объёмы подлежащей фильтрации воды на большинстве предприятий тяжёлой, химической и энергетической промышленности исчисляются тысячами кубических метров в час при рабочих давлениях в пределах 0,1...1,6 МПа. Характерными механическими загрязнениями технической воды являются предметы органического (водоросли, листья, трава, моллюски) и неорганического (песок, ржавчина, частицы карбонатных отложений, окалина, фрагменты обшивки градирен, детали спецодежды, металлические фрагменты, дерево) происхождений, их размеры колеблются от 0,01 до 10 мм и более.

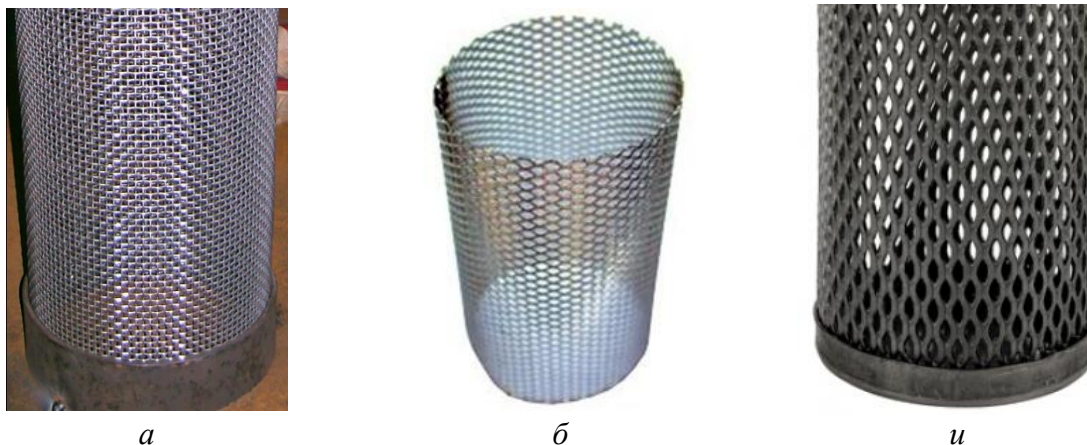


Рис. 1. Основные типы материалов для фильтроэлементов: *а* – плетеная из проволок сетка; *б* – просечной лист; *в* – просечно-вытяжной лист

Fig. 1. Basic types of materials for filter elements: *a* – woven wire mesh; *б* – grooved sheet; *в* – grooved expanded sheet

Широкое применение на отечественных предприятиях в технологических циклах водоснабжения высокоэффективного современного, зачастую импортного и дорогостоящего, оборудования требует всё большего количества воды с тонкой очисткой от механических загрязнений.

Сетчатые фильтры, наиболее простые с относительно невысокой стоимостью во многих случаях по грязеемкости сетчатого фильтроэлемента не справляются с возросшими требованиями.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей работы является научно-техническое обоснование необходимости создания нового типа сетчатых фильтров технической воды с увеличенной площадью сетчатого фильтроэлемента и разработка научно-обоснованной методики расчета его основных параметров.

О ЗАВИСИМОСТИ ПЛОЩАДИ СЕТЧАТОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ОТ НОМИНАЛЬНОЙ ТОНКОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ

Известно, что чем меньше номинальная тонкость фильтрации, тем больше площадь

сетчатого фильтрующего элемента требуется в фильтре, чтобы обеспечить его требуемую грязеемкость и обеспечить приемлемые интервалы промывки фильтра.

Рассмотрим две фильтрующие сетки равной площади $S_1 = S_2 = S$ с разными размерами квадратных ячеек: мелкой сетки a_1 и крупной сетки a_2 , причем для наглядности $a_2 = 2a_1$. Через каждую их сеток проходят потоки воды с одинаковым расходом $Q_1 = Q_2 = Q$ (и, как следствие, с одинаковыми скоростями протекания воды через сетки $v_1 = v_2 = v$, давлением $p_1 = p_2 = p$ и с одинаковым гранулометрическим составом и объемной концентрацией загрязнений C). Кумулятивная зависимость объемной концентрации загрязнений от размера частиц в диапазоне от $a_{\min}$ до $a_{\max}$ может быть описана в общем случае функцией вида

$$C = f(a),$$

где f – полиномиальная функция, устанавливаемая на основании экспериментальных исследований гранулометрического состава загрязнений. Кумулятивный график объемной концентрации загрязнений всегда будет возрастающей функцией (Рис. 2).

При пропускании через мелкую и крупную сетки фильтруемой воды каждая сетка в начальный момент гарантированно будет

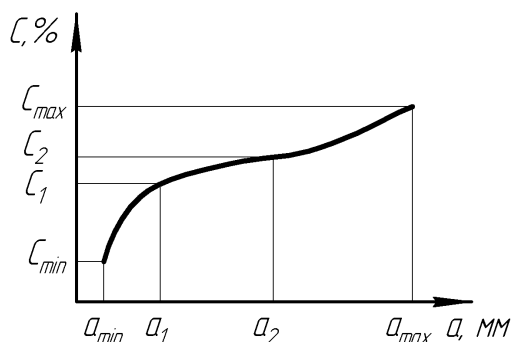


Рис. 2. Зависимость кумулятивной концентрации от размеров частиц загрязнений

Fig. 2. Dependence of the cumulative concentration of contaminant particles sizes

улавливать загрязнения с размерами, равными или большими размерам своей ячейки. Частицы с размерами, меньшими, чем размеры ячеек сеток, в начальный момент (чистая сетка), будут свободно проходить сквозь сетки. По мере задерживания частиц в ячейках сеток (для мелкой сетки с размерами $a_i \geq a_1$ и для крупной сетки с размерами $a_i \geq a_2$) наступит момент, когда все ячейки сеток окажутся забитыми загрязнениями, на сетке возникнет слой загрязнения. На слое загрязнения плоских сетках начнет реализовываться принцип объемной фильтрации, при котором по мере роста толщины слоя уловленных загрязнений уменьшается размер улавливаемых частиц. Однако по мере фильтрации накопленные загрязнения вызывают рост перепада давления на сетках, что обуславливает необходимость очистки (регенерации) фильтро-элементов, направленной на восстановление номинального перепада давления на сетке. Далее цикл работы фильтрующих сеток повторяется. Примем одинаковые значения максимальных перепадов давления на сетках $\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p$, при которых начинается их очистка. Продолжительность интервала времени от начала фильтрования до достижения максимального перепада давления на сетке для мелкой и крупной сеток обозначим соответственно t_1 и t_2 . Назовём этот интервал времени интервалом фильтрации.

Количество загрязнений, уловленных за один интервал фильтрации на мелкой и крупной сетках, определяется из выражений:

$$V_1 = v_1 S_1 t_1 \int_{a_1}^{a_{\max}} f(a) da, \quad (1)$$

$$V_2 = v_2 S_2 t_2 \int_{a_2}^{a_{\max}} f(a) da. \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2) и учитывая равенства скоростей протекания воды через сетки и их площади, можно записать

$$t_1 \int_{a_1}^{a_{\max}} f(a) da = t_2 \int_{a_2}^{a_{\max}} f(a) da. \quad (3)$$

Решая (3), получим

$$t_1 = t_2 \frac{F(a_{\max}) - F(a_2)}{F(a_{\max}) - F(a_1)} = t_2 \frac{F(a_{\max}) - F(2a_1)}{F(a_{\max}) - F(a_1)} \quad (4)$$

где F – первообразная от подынтегральной функции $f(a)$.

Обозначим $t_2 \frac{F(a_{\max}) - F(2a_1)}{F(a_{\max}) - F(a_1)} = k$, причем, как видно из (4), $k < 1$. Окончательно:

$$t_1 = k t_2. \quad (5)$$

Таким образом, независимо от абсолютных размеров ячеек фильтрующих сеток и грансостава частиц загрязнений, при прочих равных условиях сетка с мелкими ячейками быстрее накопит на себе предельно допустимое по максимальному перепаду давления количество загрязнений, чем сетка с крупными ячейками.

Приняв в (1) и (2) равенство времени между очистками обеих сеток (равенство интервалов фильтрации) $t_1 = t_2$, путем аналогичных рассуждений можно получить соотношение площадей мелкой и крупной сеток:

$$S_1 = \frac{1}{k} S_2, \quad (6)$$

а так как $k < 1$, то $S_1 > S_2$.



Рис. 3. Батарея фильтров Filtomat MCFM 306 XLP на картонно-бумажной фабрике
Fig. 3. Filters Battery Filtomat MCFM 306 XLP on cardboard and paper mill

Таким образом, для обеспечения требуемого интервала фильтрации (допустимого времени между очистками) фильтра и увеличения грязеемкости фильтра для тонкой сетки требуется большая площадь сетки, чем для грубой.

ИЗВЕСТНЫЕ ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ГРЯЗЕЁМКОСТИ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ФИЛЬТРАХ

В общепринятых конструкциях сетчатых фильтров (с очисткой фильтроэлементов обратным потоком воды сетка в фильтровальных блоках выполняется в виде цилиндра. С увеличением площади сетки ее размеры, а значит и размеры фильтра, растут пропорционально площади сетки. При необходимости тонкой фильтрации значительных расходов воды площадь сетки, размеры фильтра его стоимость, катастрофически растут. Для обеспечения заданной пропускной способности зачастую монтируют на одном водоводе батарею из нескольких фильтров (Рис. 3). Некоторые фирмы устанавливают несколько единичных фильтров в одном корпусе фильтра (Рис. 4) [1, 3].

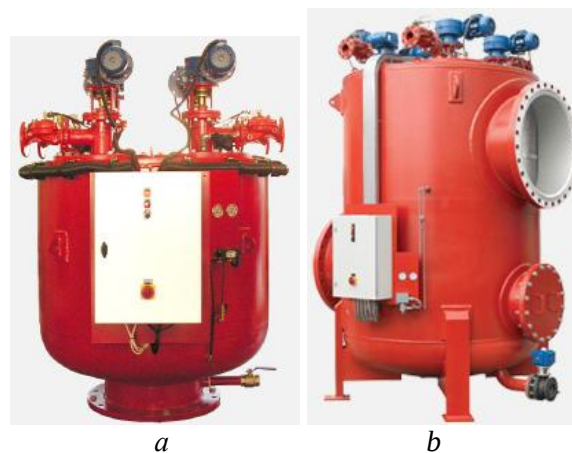


Рис. 4. Фильтры Amiad, составленные из нескольких малых фильтров в едином корпусе: *a* – Mega ABF 40000 Mega (2 фильтра); *б* – ABF 60000 (4 фильтра) [2]
Fig. 4. Filters Amiad, made up of several small filters in a single package: *a* – Mega ABF 40000 Mega (2 filters); *б* – ABF 60000 (4 filter) [2]

Цена таких батарейных фильтровальных установок, общие габариты, стоимость самих установок и их очень высокие.

Встретившись с такой трудностью, некоторые разработчики фильтров при необходимости тонкой фильтрации с целью увеличения грязеемкости используют более сложные и дорогостоящие фильтры с дисковыми [4], щелевыми (щелевые трубы, щелевые конические свечи) [6] и другими фильтроэлементами. Хотя сами фильтры меньше по размерам, но требуют специальных сложных технологий и специального оборудования для изготовления их фильтроэлементов. Это обуславливает высокую стоимость их освоения и высокую стоимость самих фильтров, которая существенно выше, чем стоимость сетчатых фильтров.

Учитывая изложенное выше, и несмотря на многочисленные исследования [6 – 9], направленные на разработку современных решений по сетчатым фильтрам, вопрос увеличения грязеемкости сетчатых фильтров остаётся актуальным.

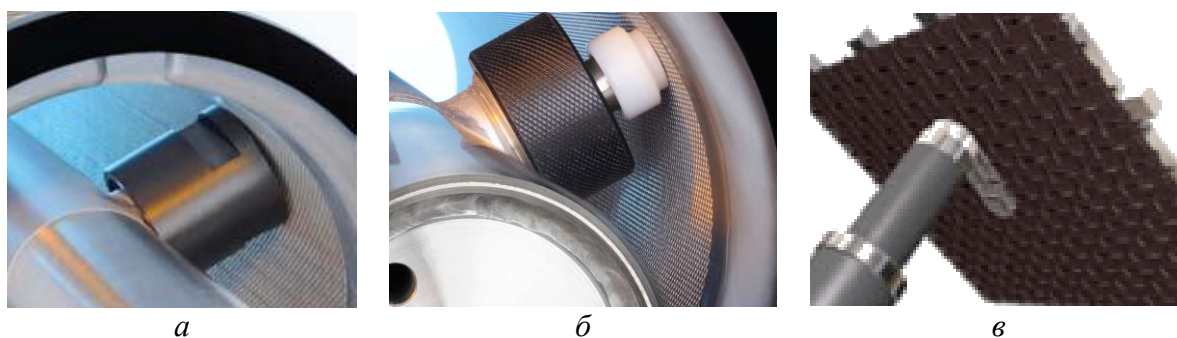


Рис. 5. Всасывающие очистители (сканеры): *а* – обычный; *б* – подпружиненный (Amiad, Израиль); *в* – с ворсистой окантовкой сопла (STF-Filtros, Испания)

Fig. 5. Suction cleaners (scanners): *a* – cleaners usual; *b* – spring-cleaner (Amiad, Israel); *c* – cleaner with a lint-free piping nozzle (STF-Filtros, Spain)

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОГО ТИПА СЕТЧАТОГО ФИЛЬТРА ОКЕАНМАШЭНЕРГО

Специалисты ООО «Океанмашэнерго» показали, что возможности более простых, надежных и дешевых сетчатых фильтров ещё далеко не исчерпаны. Найдены новые технические решения, которые обеспечивают укладку сетчатого фильтроэлемента с ячейками любых размеров и практически любой площади в относительно небольшой корпус. Новая конструкция фильтроэлемента позволяет обеспечивать в несколько раз большую грязеемкость, чем у фильтроэлементами, обеспечивая при этом эффективную очистку загрязненной сетки обратным потоком воды в автоматическом режиме.

Принципиальное отличие фильтров Океанмашэнерго от других фильтров позволило реализовать на их основе новые технические решения, обеспечивающие практически любые необходимые площади сетки в малых корпусах.

В фильтрах зарубежных компаний с противоточной регенерацией при очистке сетки очищающее сопло скользит по загрязненной её поверхности с минимальным зазором (Рис. 5, *а*). Увеличение зазора снижает эффективность очистки. Поэтому частицы загрязнений больше этого зазора, остаются на сетке и накапливаются в фильтре. Требуется предварительная очистка воды

перед фильтром либо периодическая ручная очистка фильтроэлемента от накопившихся крупных частиц. Установка подпружиненных всасывающих сопел или оснащение сопел по контуру жесткими полимерными ворсинами (Рис. 5, *б* и *в*) частично снижают паразитные перетоки воды и позволяют обходить крупные загрязнения, но принципиально не способны позволить удалять крупные загрязнения из фильтра. Кроме того, такая конструкция фильтра требует цилиндрической формы фильтроэлемента.

Фильтры Океанмашэнерго [7, 8] лишены такого недостатка. Сетка натянута на барабан в виде «беличьего колеса». Грязная вода поступает изнутри, грязь любой крупности накапливается на сетке в камерах «беличьего колеса» и не мешает вращению очистителя. Очиститель при очистке сетки скользит по «беличьему колесу», отбирая и уводя на слив загрязнения любой крупности с сетки и ячеек.

Эта уникальная особенность фильтра, наличие камер для сбора загрязнений, позволила перейти к новому типу фильтра – с зигзагообразной формой сетки, фильтр Виталия Кузьминского [10], получившем в Океанмашэнерго обозначение фильтр типа ФК.

Такая форма сетки позволяет существенным образом увеличить ее площадь. При этом фильтр, предназначенный для заданного расхода воды, может быть оборудован сеткой практически с любой ячейкой при

сохранении принятого через фильтр расхода. При этом сохраняется основной принцип фильтров Океанмашэнерго – наличие перед очистителем ячеек для сбора крупных включений, что, в отличие от фильтров других производителей, делает такие фильтры нечувствительными для крупных включений.

Камеры для сбора грязи в таком фильтре образуются зигзагами самой сетки.

Конструкция фильтра такова, что в относительно небольшом объёме фильтра для заданного расхода можно уложить сетку практически любой для этого расхода площади. Разработан типоразмерный ряд новых фильтров, охватывающий весь диапазон существующих в промышленности расходов воды в трубопроводах.

Фильтр ФК – это фильтр нового поколения, превосходящий по своим качествам все известные сетчатые фильтры такого класса. Особенно эффективно их применение для тонкой фильтрации с большими расходами воды.

Фильтр ФК прямоточный, это делает его удобным для монтажа в любых условиях расположения водоводов, имеет относительно небольшие габариты, особенно по высоте, прост в обслуживании, промывается в автоматическом режиме. В качестве индикатора загрязнённости фильтра используется дифманометр или реле времени.

КОНСТРУКЦИЯ ФИЛЬТРА ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Фильтр имеет цилиндрический корпус 1 (Рис. 6), входной патрубок 2, выходной патрубок 3 и сливной патрубок 4, а также фильтровальный блок 5, жестко закрепленный на центральной трубе 6, которая установлена в трубчатом корпусе на подшипниках 7 и 8 с возможностью вращения вместе с фильтровальным блоком.

Фильтровальный блок 5 имеет верхний диск 9 и нижний диск 10, которые жестко связаны между собой распорками в виде

стержней. Между верхним диском 9 и нижним диском 10 на внешние стержни 11 и внутренние стержни 12 натянут фильтровальный элемент 13 в виде вырезанной из сетки ленты, которая зигзагообразно облегает внешние и внутренние стержни (Рис. 6).

Натянутый таким образом фильтровальный элемент 13 вместе с верхним и нижним диском образуют в фильтровальном блоке 5 внешние 14 и внутренние 15 камеры. Таким образом, фильтровальный блок 5 соединен отверстиями с полостью 16 центральной трубы 6.

На цилиндрическом корпусе 1 изнутри закреплен неподвижный очиститель 18, который частично облегает фильтровальный блок 5. Очиститель имеет отверстие 19, соединенное со сливным патрубком 4. При вращении фильтровального элемента 5 его внешние камеры 14 через отверстие 19 в очистителе последовательно соединяются со сливным патрубком 4.

Центральная труба 6 связана с электроприводом 20.

На сливном патрубке 4 установлен сливной клапан 21 с электроприводом. Сливной клапан, будучи открытым, соединяет сливной патрубок 4 со сливом, где давление воды намного меньше давления в фильтре.

РАБОТА ФИЛЬТРА ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Фильтр имеет два режима работы – режим фильтрации и режим промывки.

В режиме промывки фильтра фильтрация воды не прекращается.

На Рис. 6 стрелками показан путь воды в режиме фильтрации и обратный путь воды через фильтрующий элемент в зоне внешней камеры 14, которая в данный момент промывается в режиме промывки.

Работа фильтра не отличается от работы других фильтров с промывкой обратным потоком.

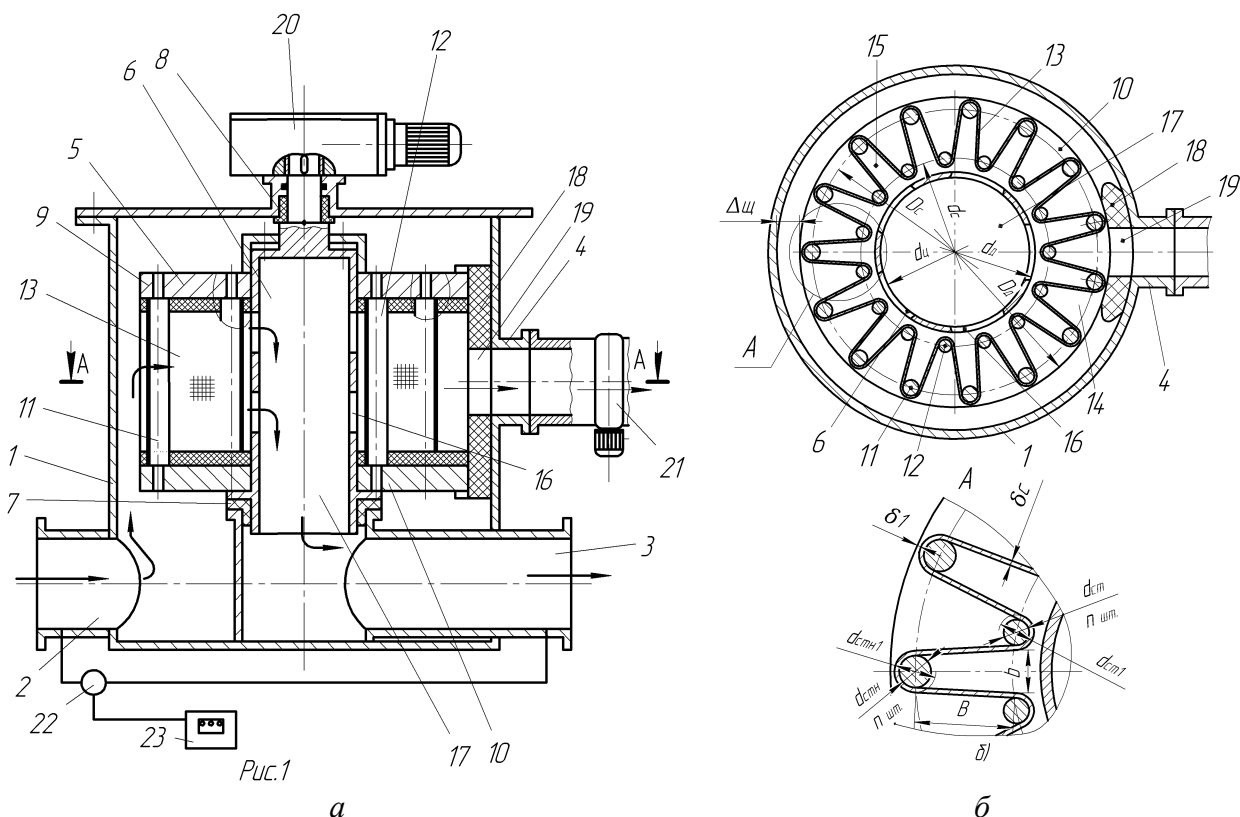


Рис. 6. Фильтр ФК с зигзагообразной сеткой: *а* – вертикальный разрез; *б* – поперечный разрез
Fig. 6. Filter FK with zigzag grid: *a* – vertical section; *b* – a cross section

В режиме фильтрации сливной клапан 21 закрыт, электропривод 20 выключен. Вода напорного водовода, в котором установленный фильтр, с загрязнениями течет через входной патрубок 2 (Рис. 6) в полость корпуса 1, проходит через все внешние камеры 14 фильтровального блока, проходит через фильтровальный элемент 13 во внутренние камеры 15 фильтровального блока и дальше, уже очищенной, через отверстия 16 течет в полость 17 центральной трубы 6, а из нее в исходный патрубок 3.

Со временем фильтровальный элемент 13 фильтровального блока 5 постепенно загрязняется, в результате чего растет перепад давления между входным патрубком 2 и исходным патрубком 3. Этот перепад давления отслеживает дифференциальный манометр 22 и подает сигнал о перепаде давления на блок управления 23. Когда перепад давления достигнет заранее заданной при наладке фильтра величины, которая является сигналом о загрязнении фильтро-

вального блока 5, блок управления переводит фильтр в режим промывки..

Для этого он включает электропривод клапана сливного 21, который открывает клапан, и включает электропривод 20, который начинает вращать центральную трубу 6, а вместе с ней и весь фильтровальный блок 5. В режиме промывки фильтровальный блок 5 вращается, а сливной клапан 21 открыт на слив.

При вращении фильтровального блока 5 каждая внешняя камера 14 последовательно совмещается с отверстием 19 неподвижного очистителя 18. Таким образом каждая внешняя камера 14 последовательно через это отверстие и открытый сливной клапан 21 на некоторое время соединяется со сливом.

Из-за того, что давление воды в фильтре выше атмосферного давления и, соответственно, выше давления на сливе, на время совмещения внешней камеры 14 с отверстием 19 возникает обратный поток воды через саму внешнюю камеру и дальше че-

рез отверстие 19 и открытый сливной клапан 21 на слив. Этот обратный поток воды смывает и выносит на слив загрязнения, которые осели на участках фильтровального элемента 13 в этой внешней камере. В связи с тем, что фильтровальный блок 5 вращается, таким образом последовательно промывается вся сетка и все внешние камеры. В режиме промывки фильтрация воды продолжается.

В результате промывки фильтровальный элемент 13 постепенно очищается от грязи, благодаря чему уменьшается перепад давления между входным патрубком 2 и исходным патрубком 3, который отслеживает дифференциальный манометр 22, связанный с блоком управления 23. Когда перепад давления достигнет исходной величины, блок управления закрывает сливной клапан 21. Теперь фильтр опять работает в режиме фильтрации.

Дальше цикл повторяется.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРА ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Разработана методика расчёта фильтра ФК, которая позволяет по исходным данным с использованием некоторых эмпирических значений определить все проектные параметры фильтра ФК, как геометрические, так и гидравлические.

В описании методики расчёта, представленном ниже, приняты следующие обозначения, кроме обозначений, раскрытых в тексте:

D_d, d_d – диаметры диска – наружный и внутренний; $d_{ст}, d_{стн}$ – диаметры стержней – внутреннего и наружного; $d_{ст1}, d_{стн1}$ – диаметры стержней – внутреннего и наружного – с учётом толщины обвивающей их сетки ($d_{ст1} = d_{ст} + 2\delta_c$, $d_{стн1} = d_{стн} + 2\delta_c$); δ_1 – расстояние от сетки на наружных стержнях до наружной поверхности диска D_d, H, B , – высота и шири-

на сетки в одной камере; d_c – диаметр сетки внутренний (по осям внутренних стержней); D_c – диаметр сетки наружный (по осям наружных стержней); S_{c1} – суммарная площадь сетки в промываемой (промываемых при $j > 1$) одновременно камерах ($S_c = njS_{c1}$); k – коэффициент ширины сетки ($k = \frac{B}{H}$); δ_c – толщина сетки; δ_k – толщина стенки корпуса фильтра; $V_{п}$ – скорость обратного потока воды на сетке при её промывке; q – кратковременный расход на промывку площади S_{c1} сетки фильтра; α – коэффициент расхода на промывку ($\alpha = \frac{q}{Q}$); D_k – наружный диаметр корпуса фильтра; A, p, q_1 – вспомогательные параметры, введённые при решении системы уравнений, не имеют физического смысла; j – количество фильтровальных блоков; y – понятно из соотношения $y = \frac{b_1}{b}$.

Одна из особенностей фильтра ФК (Рис. 6) заключается в том, что весь расход фильтрованной воды в нём проходит через центральную трубу с внутренним диаметром $d_{ц}$ с некоторой скоростью $V_{ц}$, а также через щель (зазор) $\Delta_{щ}$ между диском фильтровального блока и корпусом фильтра со скоростью $V_{щ}$, через щели b со скоростью V_b . От скоростей этих потоков зависит перепад давления на фильтре. Путём предварительной проработки конструкции фильтра и с использованием теории подобия для вязких несжимаемых жидкостей определены скорости потоков $V_{ц}, V_{щ}, V_b$ для каждого фильтра типоразмерного ряда, которые обеспечивают приемлемый перепад давления на фильтре.

Большое значение имеет выбранная скорость фильтрации $V_{ф}$, определяемая расходом Q через сетку площадью S_c

$$V_{\phi} = \frac{Q}{S_c}. \quad (7)$$

Правильно выбранная скорость фильтрации обеспечивает достаточный интервал времени между очистками фильтра и оптимальную величину площади сетки S_c в зависимости от расхода Q размера ячейки a сетки.

Исследованиями, проведенными ранее специалистами Океанмашэнерго, для сетчатых фильтров были получены эмпирические зависимости скорости фильтрации V_{ϕ} в зависимости от размера ячейки сетки, которые позволили обеспечить приемлемый интервал времени между самоочистками фильтра для усредненной по загрязнённости воды.

Установлено, что скорость фильтрации V_{ϕ} , которую следует принимать при проектировании и выборе фильтра, для сетки с крупными ячейками ($a = 0,5...5$ мм и более) имеет линейную зависимость от ячейки a , а для сетки с мелкими ячейками ($a = 0,02...0,05$ мм) в диапазоне реальных расходов воды Q через фильтр – более сложную зависимость вида:

$$V_{\phi} = f(a, Q). \quad (8)$$

Фильтр проектируется, как правило, для заданных параметров – расхода воды Q и минимальной крупности a отбираемых из потока частиц твёрдых включений. В Океанмашэнерго сразу проектировали типоразмерный ряд фильтров, для восьми фиксированных расходов воды, которые охватывают практически весь диапазон необходимых для промышленности расходов.

Для каждого типоразмера фильтра выбран диапазон размеров ячеек сеток от $a = 0,02$ мм до $a = 5$ мм. Минимальный размер ячейки 0,2 мм выбран путём предварительной проработки конструкции каждого типоразмера фильтра.

Таким образом, каждый фильтр типоразмерного ряда с расходом Q может отбирать

твёрдые включения минимальной крупности от 0,2 до 5 мм, для чего в каждом конкретном фильтре указанного диапазона монтируется соответствующая зигзагообразная сетка с соответствующей ячейкой и площадью. Следует отметить, что в фильтр при необходимости может быть поставлена сетка с ячейкой свыше 5 мм, но в дальнейшем мы будем называть 5 мм.

Для крупностей менее 0,2 мм выбирается фильтр из типоразмерного ряда по необходимой для этой крупности площади сетки и расходу. При этом в выбранный фильтр устанавливается зигзагообразная сетка с нужным размером ячейки. Необходимая площадь сетки для заданного расхода Q для $a < 0,2$ мм определяется из выражения, полученного из зависимостей (7) и (8).

Очевидно, что размеры и характеристики фильтровального блока для каждого типоразмера фильтров должны определяться площадью сетки для ячейки 0,2 мм, так как она будет наибольшей. Для других значений $a > 0,2$ мм, площади сетки которых будут меньше, технически не сложно в тот же фильтровальный блок вмонтировать любую сетку меньшей площади. При этом ни габаритные, ни привязочные размеры фильтра изменять не потребуется.

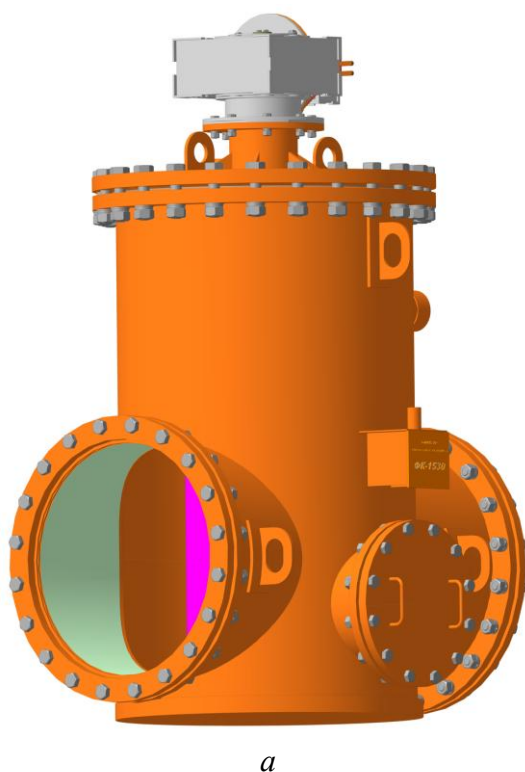
Назовём типоразмер фильтра для принятого расхода при размере ячейки $a = 0,2$ мм сетки базовым фильтром данного типоразмера.

Расчёт фильтра типа ФК – это, прежде всего, определение всех характеристик и размеров фильтровального блока базового фильтра.

Рациональным является следующий порядок расчёта каждого фильтра типоразмерного ряда:

1) выбираем для каждого базового фильтра параметры, полученные предварительно путём проектных проработок и предварительных расчётов;

2) рассчитываем все параметры фильтровального блока базового фильтра ($a = 0,2$ мм);


a

б

Рис. 8. Фильтр автоматизированный самопромывающийся ФК: *a* – 3D-модель; *b* – смонтированный на месте эксплуатации

Fig. 8. Filter automated self-washed FK: *a* – 3D-model; *b* – filter mounted on site

3) уточняем отдельные параметры сеток остальных фильтров типоразмерного ряда (для принятых $\alpha > 0,2$ мм);

4) рассчитываем остальные параметры фильтра.

Вся сложность расчёта заключается в том, что при расчёте фильтра неизменной для фильтровального блока базового фильтра остаётся выбранная площадь сетки. Остальные же геометрические параметры связаны между собой таким образом, что изменение одного параметра влечёт за собой необходимость изменения всех остальных параметров. В противном случае мы можем выйти за рациональные или допустимые принятые пределы, например, скоростей протекания воды и, соответственно, перепада давления на фильтре, удельного расхода воды на промывку и других.

Рассмотрев ряд геометрических и гидравлических зависимостей (их вывод здесь опускаем), для определения пяти подлежа-

щих определению параметров n, d_c, k, b, α получим систему из пяти уравнений, связывающую их:

$$\begin{cases} \pi d_c = (b + d_{ct1})n \\ d_c = d_d + d_{ct1} + yb \\ 2 j k H^2 V_\phi = Q \\ j b H V_b n = Q \\ \alpha = \frac{2 j k H^2 V_\phi}{Q} \end{cases} \quad (9)$$

Решив эту систему уравнений относительно неизвестных, получим главное соотношение – для определения количества n штырей в фильтроэлементе:

$$n = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q_1}, \quad (10)$$

где

$$p = \frac{A - \pi(d_d + d_{ст1})}{d_{ст1}}, \quad (11)$$

$$q_1 = -\frac{\pi A}{d_{ст1}}. \quad (12)$$

Дальше из уравнений (9) определяем другие неизвестные системы уравнений: d_c, k, b, α .

Рассчитанные таким образом параметры с учетом принятых при проектных проработках и предварительных расчётах величин, позволяют определить все другие гидравлические и геометрические параметры фильтра, в том числе наружные размеры фильтровального блока D_c, D_d , размер $\Delta_{ш}$ и диаметр корпуса D_k по формулам

$$D_c = d_c + 2B, \quad (13)$$

$$D_d = D_c + d_{ст1} + 2\delta_1, \quad (14)$$

$$\Delta_{ш} \cong \frac{Q}{\pi D_d V_{ш}}, \quad (15)$$

$$D_k = D_d + 2(\Delta_{ш} + \delta_k). \quad (16)$$

Заложенные при разработке и проектировании фильтров серии ФК решения реализованы в типоразмерном ряде, охватывающем весь диапазон водоводов.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ФИЛЬТРОВ ФК С ЗИГЗАООБРАЗНОЙ СЕТКОЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТА

Изготовленные 4 фильтра ФК-2700 (номинальный расход воды 2700 м³/час, рабочее давление 0,6 МПа, номинальная толщина фильтрации 0,5 мм) были в 2014 году смонтированы в фильтровальной на доменной печи № 8 ПАО "АрселорМиттал Кривой Рог". Фильтры установлены взамен не оправдавших себя ранее используемых автоматизированных фильтров зарубежного производства. Фильтры ФК-2700 находятся в эксплуатации длительное время, полностью подтвердили свои характеристики, прекрасно справляются с фильтрацией во-

ды для системы охлаждения доменной печи.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что общеизвестные наиболее распространённые типы сетчатых фильтров в части наиболее важного параметра – площади сетки, достигли своего потолка, что вызвало во многих случаях переход поставщиков к более сложным и дорогим фильтрам.

2. Найдены и исследованы новые технические решения на базе сетчатых фильтров Океанмашэнерго, которые позволили многократно увеличить площади сеток фильтров в пределах определённых размеров их корпусов. Это сняло практически любые ограничения по расходу воды при тонкой фильтрации единичным сетчатым фильтром и исключило необходимость перехода к другим сложным и дорогостоящим фильтрам.

3. Разработан и освоен выпуск Океанмашэнерго типоразмерного ряда новых фильтров типа ФК с использованием новых технических решений. Типоразмерный ряд фильтров охватывает практически весь диапазон номинальных расходов и номинальных толщин фильтрации, необходимых для промышленности. Проведены исследования с разработкой методика расчёта фильтров нового типа.

4. Фильтры используются в промышленности. В частности, на доменной печи №8 ПАО "Арселор Миттал Кривой Рог" смонтированы и более двух лет успешно эксплуатируются 4 крупные фильтры ФК-2700 Океанмашэнерго.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Amiad Water System.** Omega Series. Automatic self-cleaning filter with a multi-screen design. http://amiad.com/downloads/brochures/Omega_Product_Page_En_04.2014.zip.
2. **Amiad Water System.** ABF Series. Automatic self-cleaning filter <http://www.amiad.com/catalog.asp?type1=3&cat=10>.

3. **Hydac** AutoFilt® RF3. Automatic Back-Flushing Filter for Process Technology <http://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000007709030011.pdf>.
4. **Arkal**. Disk filtration technology http://amiad.com/ArkalCatalog/Industrial/Arkal_catalog.html.
5. **Arkal** automatic all-polymeric self-cleaning Spin Klin® disc filter. <http://www.amiad.com/arkal.asp>.
6. **Фильтрующие элементы HYDAC** <http://www.hydac.com.ru/filterelements.html>.
7. **Кузьминский В.П., Кухарь В.Ю., Кудрявцев Д.В., 2006.** Разработка и совершенствование автоматизированных фильтров технической воды для условий отечественных горно-металлургических предприятий. Доклад на Междунар. конф. Форум гірника-2006, НГУ, Днепропетровск.
8. **Кухарь В.Ю., Кузьминский В.П., Кудрявцев Д.В., 2008.** Проблемы фильтрации технической воды на отечественных предприятиях и пути их решения Энергосбережение, Вып.2, 7-11.
9. **Назарян М., Стельмахов Ю., 2015.** Научные основы очистки сточных вод промышленных предприятий методом электрокоагуляции. Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія, Вип.02, 72-78.
10. **Патент 109211 України, 2015.** Фільтр Віталія Кузьмінського. В.П.Кузьмінський, В.Ю.Кухар, Д.В.Кудрявцев, О.В.Овчинникова, 8. Опубл. 25.12.2014 в Бюл. 1424.
6. **Filterelements of HYDAC** <http://www.hydac.com.ru/filterelements.html>.
7. **Kuzminskiy V.P., Kuhar V.Yu., Kudryavtsev D. V., 2006** Razrabotka i sovershenstvovanie avtomatizirovannyih filtrov tekhnicheskoy vody dlya usloviy otechestvennyih gornometallurgicheskikh predpriyatiy. Doklad na Mezhdunarodnoy konferentsii Forum girnyka-2006, NGU, Dnepropetrovsk (in Russian).
8. **Kuhar V. Yu., Kuzminskiy V. P., Kudryavtsev D.V., 2008** Problemyi filtratsii tekhnicheskoy vody na otechestvennyih predpriyatiyah i puti ih resheniya Energoberezhenie. Vyp. 2, 7-11 (in Russian).
9. **Nazarjan M., Stel'mahov Ju., 2015.** Nauchnye osnovy ochistki stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij metodom jelektrokoagulyacii. Pidvodni tehnologii. Promislova ta civil'na inzheneriya, Vyp.02, 72-78 (in Russian).
10. **Patent 109211 Ukraine, 2015.** Fil'tr Vitalija Kuzminskogo. V.P. Kuzminskii, V.Ju. Kuhar, D.V. Kudryavcev, O.V. Ovchynnykova, 8. Opubl. 25.12.2014 v Bjul. 1424 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. **Amiad Water System.** Omega Series. Automatic self-cleaning filter with a multi-screen design. http://amiad.com/downloads/brochures/Omega_Product_Page_En_04.2014.zip.
2. **Amiad Water System.** ABF Series. Automatic self-cleaning filter <http://www.amiad.com/catalog.asp?type1=3&cat=10>.
3. **Hydac AutoFilt® RF3.** Automatic Back-Flushing Filter for Process Technology <http://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO000000000000000000007709030011.pdf>.
4. **Arkal.** Disk filtration technology http://amiad.com/ArkalCatalog/Industrial/Arkal_catalog.html.
5. **Arkal automatic all-polymeric self-cleaning Spin Klin®** disc filter <http://www.amiad.com/arkal.asp>.

Broaden options industrial grid water filters

Victor Kukhar¹, Vitalii Kuzminskiy²
Olga Ovchynnykova³

¹National Mining University of Ukraine
Karl Marx Avenue, 19, Dnepropetrovsk,
Ukraine, 49005, vkukhar@narod.ru
orcid.org/0000-0002-1849-4489

^{2,3} LLC Okeanmashenergo
Street Kombriga Petrova, 5, Dnepropetrovsk,
Ukraine, 49041, oceanmas@infotd.dp.ua

² orcid.org/0000-0003-2480-5615

³ 0000-0003-3805-1703

Summary. Shows that the most common mesh filters for industrial water in part of the area of the filter mesh have reached their limit. The solution of this problem in the filters of a new type of Okeanmashenergo. Developed and mastered in the production of standard series of filters, conducted research with the development of methods for calculating the new filters.

Key words: grid filter, fine filtration, area of the filter grid.