

УДК 621.9.079
DOI: 10.12737/20595

**Е.М. Булыжев, д.т.н.,
Л.В. Худобин, д.т.н.**
(Ульяновский государственный технический университет)
E-mail: ecovita05@mail.ru; kafedra_tm@ulstu.ru

Высокопроизводительные намывные фильтры

Сопоставлены технические характеристики объемных и намывных (тонкослойных) фильтров, предназначенных для очистки от механических примесей водных технологических жидкостей и воды. Выявлены направления совершенствования намывных фильтров и предложены схемотехнические решения намывных ламельных фильтров, обеспечивающих тонкую очистку больших объемов и расходов водных жидкостей. Приведена конструкция опытного безнапорного ламельного фильтра высокой производительности.

Ключевые слова: водная технологическая жидкость; фильтр; ламель; механические примеси; взвеси; намывной фильтровальный слой.

**E.M. Bulyzhev, D.Eng.,
L.V. Khudobin, D.Eng.**
(Ulyanovsk State Technical University)

Highly productive precoat filters

The performance attributes of depth filters and precoat (thin-layer) ones intended for the purification of water technological liquids and water from mechanical impurities are compared. The trends for precoat filter updating the circuit solutions of precoat lamellar filters ensuring fine cleaning of large volumes and consumptions of water liquids are revealed. The design of a prototype gravity lamellar filter of high efficiency is shown.

Keywords: water technological liquid; filter; lamella; mechanical impurities; dredges; precoat filtered layer.

В шестидесятые годы прошлого столетия при переводе металлообрабатывающего технологического оборудования на обеспечение оборотными водными технологическими жидкостями (ВТЖ), прежде всего смазочно-охлаждающими (СОЖ), перед промышленными машиностроительными и металлургическими предприятиями встали задачи, до конца не решенные до настоящего времени: потребовались новые технологии и реализующие их системы качественной очистки больших объемов и расходов ВТЖ (до сотен тысяч кубометров в сутки). Разработка таких технологий, ликвидирующих сбросы загрязненных жидкостей в стоки, невозможна без решения проблемы тонкой очистки больших объемов ВТЖ от механических примесей. Как правило, в системах оборота ВТЖ объединяют десятки и

сотни единиц однотипного технологического оборудования. Чем больше производительность единичного фильтровального оборудования, тем легче реализуются такие технологии.

Наиболее широко для этих целей используют напорные и безнапорные объемные фильтры (рис.1, а, б). Напорные объемные фильтры обеспечивают скорости фильтрации до 1 м/ч. Обработка ВТЖ и воды коагулянтами и флокулянтами позволяет повысить скорость фильтрации до 9...10 м/ч. Объемные фильтры, реализующие такой технологический прием, получили название скорых напорных фильтров. Удельная производительность фильтров на 1 м² площади сечения фильтровальной загрузки (часовая удельная гидравлическая нагрузка) составляет 9...10 (м³/ч)м².

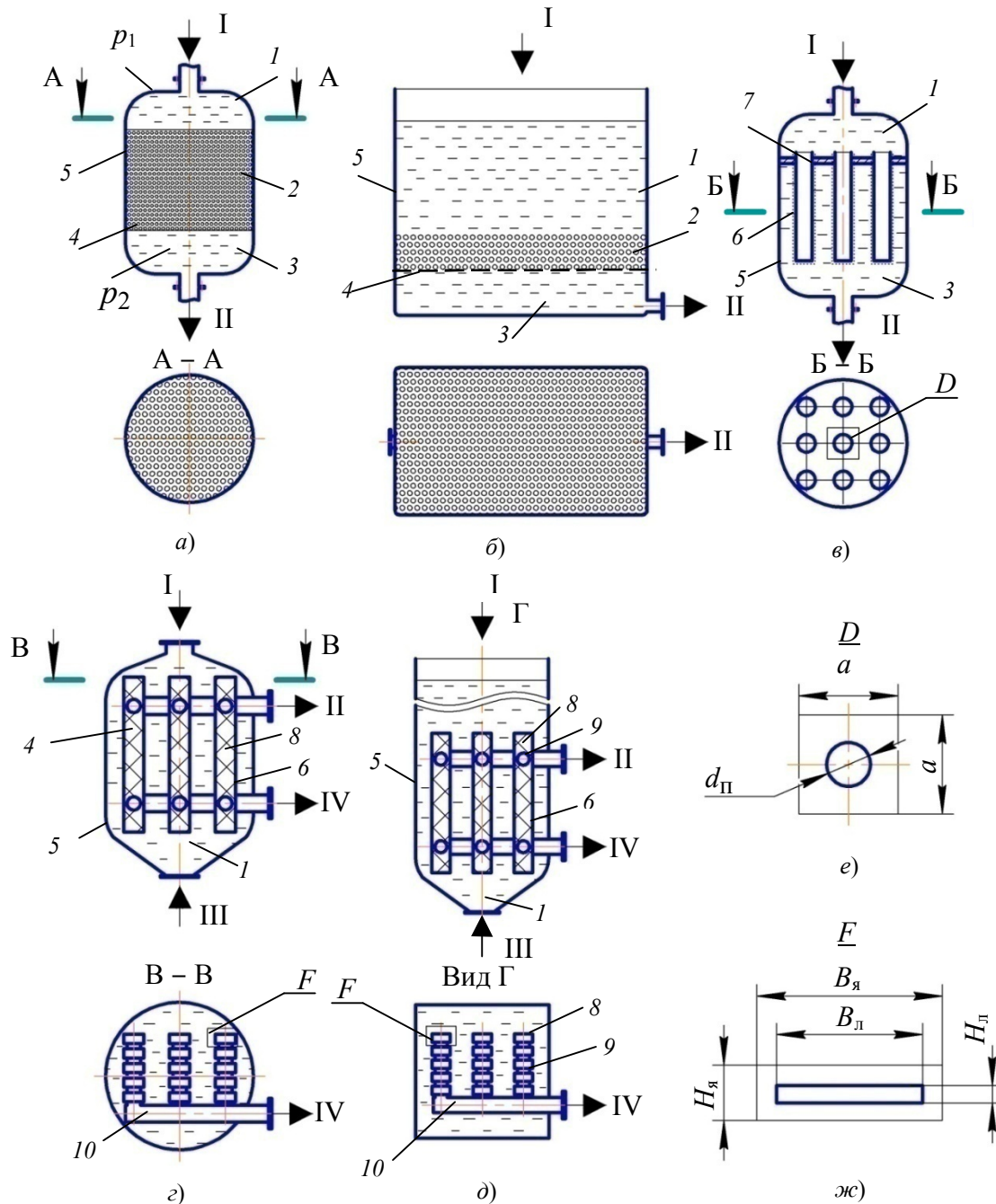


Рис 1. Схемы фильтров:

a и б – объемные напорный и безнапорный; *в* – патронный напорный; *з и д* – ламельные намывные напорный и безнапорный; *е, ж* – элементарная структурная ячейка в плане патронного напорного и ламельного фильтров; $d_{\text{п}}$ – диаметр патрона; a – размер ячейки патронного фильтра; $B_{\text{л}}, H_{\text{л}}$ – размеры ламели; $B_{\text{я}}, H_{\text{я}}$ – размеры ячейки ламельного фильтра; I, II – вход и выход ВТЖ; III, IV – отвод и подвод промывочной воды; 1 – полость с исходной водой; 2 – слой загрузки; 3 – полость с очищенной водой; 4 – поддерживающая сетка; 5 – корпус; 6 – намывной слой; 7 – патрон; 8 – ламель; 9 – секция ламелей; 10 – коллектор

Цилиндрический корпус объемного скорого напорного фильтра разделяют горизонтальной перфорированной перегородкой 1 на две полости (рис. 1, а): в верхней полости 1 размещен слой гранулированной загрузки 2, а в нижней полости 3 собирается фильтрат. Загрязненная вода или ВТЖ подается в верхнюю полость

под давлением p_1 , в нижней полости, где собирается фильтрат, давление p_2 значительно меньше. Таким образом создается перепад давления $\Delta p = p_1 - p_2$ (напор). Периодически загрузка промывается водой при ее движении из нижней полости в верхнюю. При этом слой загрузки псевдооживается (взвешивается),

что облегчает его промывку от осадка механических и иных примесей. Основное отличие безнапорного объемного фильтра (рис. 1, б) от напорного заключается в том, что перепад давления в нем определяется только толщиной слоя жидкости над загрузкой (до шести метров).

В объемных фильтрах частицы примесей осаждаются на поверхности зерен фильтровальной загрузки [1, 2]. Наряду с существенными достоинствами (достаточно высокое качество очистки, повышенная надежность, простота конструкции, долговечность и др.) им присущи серьезные недостатки, в особенности большие габаритные размеры сооружений, обусловленные низкой удельной часовой гидравлической нагрузкой (в расчете на один квадратный метр площади производственных помещений) комплексов скорых напорных фильтров (СНФ), не превышающей $2 \text{ (м}^3/\text{ч)/м}^2$. Это обусловлено низкой производительностью единичного фильтровального оборудования.

В настоящее время процесс совершенствования скорых напорных фильтров приостановился. Однако, как следует из выражения (1) (см. далее), возможен и другой прием – увеличение площади фильтрования S посредством увеличения удельной фильтровальной площади $S_{\text{фуд}}$. Расчеты авторов показывают, что реализация такого приема в тонкослойных фильтрах, например, в намывных, может обеспечивать разработку фильтров с $S_{\text{фуд}}$ до сотен $\text{м}^2/\text{м}^2$.

Напорный намывной патронный фильтр (НПФ) (рис. 1, в) имеет многократно большую площадь фильтрования, чем объемные фильтры [3, 4, 5]. Вода из пространства I между цилиндрическими патронами проходит через предварительно намытый на поверхности патронов фильтрующий слой 2 во внутренние полости патронов, затем поднимается в верхнюю зону фильтра 3 и выходит в трубопровод. Намывной слой состоит из тонкодисперсного материала – кварцевых или диатомитовых порошков.

Напорные намывные ламельные фильтры (рис. 1, г и д) отличаются от патронных фильтров тем, что их фильтровальные элементы, так называемые ламели (рис. 2), имеют, как правило, в сечении вытянутую по одной координате прямоугольную форму. Благодаря чему, во-первых, значительно увеличивается фильтровальная площадь каждого элемента, а во-вторых, обеспечивается возможность расположения в единице объема фильтра боль-

шого числа ламелей, что также ведет к значительному увеличению фильтровальной площади всего фильтра, а значит и к соответствующему повышению производительности [6, 7, 8].

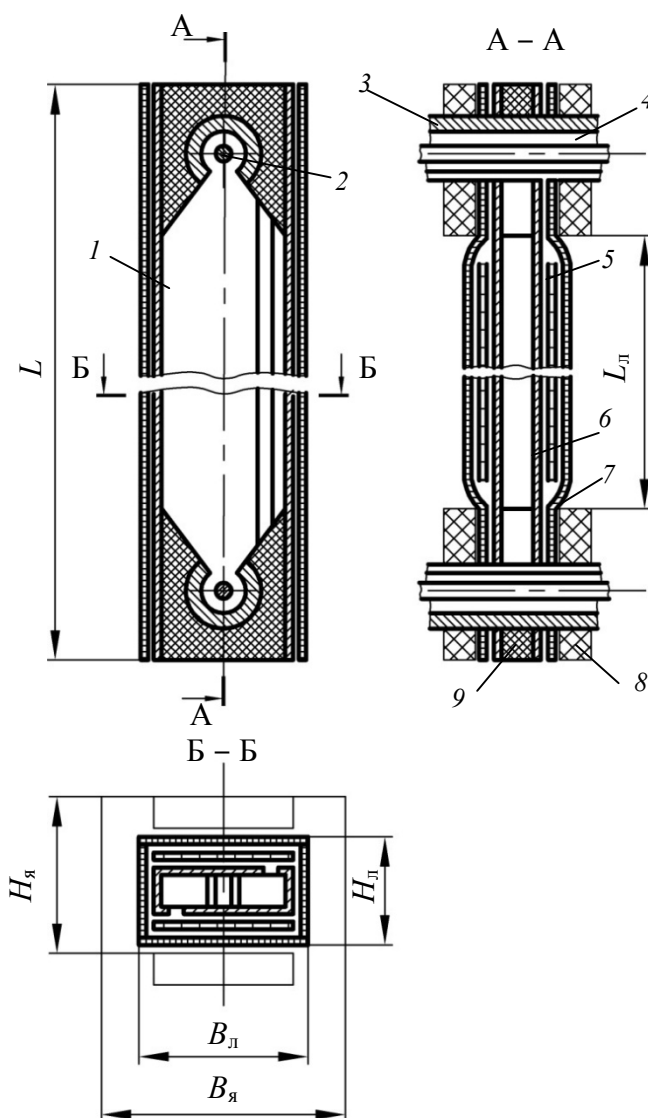


Рис 2. Схема фильтровальной ламели:

- 1 – полость ламели; 2 – шпилька; 3 – коллектор;
- 4 – полость коллектора; 5 – сетка поддерживающая;
- 6 – профиль гнутый; 7 – коллекторная сетка; 8 – сухарь;
- 9 – вкладыш

Корпус фильтровальной ламели данной конструкции, образован двумя гнутыми профилями 6 шириной 60 мм и длиной 2 м из листовой нержавеющей стали толщиной $0,5 \text{ мм}$. В отверстия корпуса ламели установлены два трубчатых коллектора 3 с продольным пазом. Между ламелями вставлены пластмассовые сухари 8 . Внутри ламелей с торцов установлены С-образные фигурные вкладыши 9 , соединяющие внутреннюю полость 1 ламели с полостью 4 коллектора.

По широким сторонам корпуса проложены полосы из коллекторной сетки 7 с ячейкой $1,5 \times 1,5$ мм. Снаружи ламели обтянуты поддерживающей сеткой 5 из синтетического материала с ячейкой 35×35 мкм. Ламели стягивают в секции с помощью шпильки 2. Перепад давления в безнапорном ламельном фильтре, как и в объемных безнапорных фильтрах, определяется толщиной слоя воды над ламелями. Преимуществом безнапорного фильтра является простота удаления с поверхностей ламелей отработанного намывного слоя δ (рис. 1, з и д) с осадком.

Напорные и безнапорные ламельные фильтры работают соответственно при давлении $1,5 \dots 2,5$ и $0,3 \dots 0,6$ бар. Ламельные напорные фильтры предпочтительно эксплуатировать в интервале перепада давления $0,6 \dots 1,5$ бар, а безнапорные – $0,4 \dots 0,5$ бар.

Производительность единичных фильтров Q ($\text{м}^3/\text{ч}$) зависит от скорости фильтрации v ($\text{м}/\text{ч}$) и площади фильтрующего элемента S (м^2):

$$Q = Sv = S_{\text{фуд}} S_{\text{г}} v, \quad (1)$$

где $S_{\text{г}}$ – площадь горизонтальной (поперечной) проекции рабочего объема фильтра, м^2 ; $S_{\text{фуд}}$ – удельная фильтровальная площадь, приходящаяся на единицу площади горизонтального сечения $S_{\text{г}}$, $\text{м}^2/\text{м}^2$.

В соответствии с уравнением Дарси [2] можно записать

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v dS}{dt} = \frac{\Delta p \cdot S(t)}{\eta [R_{\text{ф}} + R_{\text{ос}}(t)]}, \quad (2)$$

где $\frac{dv}{dt}$ – дифференциал приращения объема фильтрата, м^3 ; Δp – перепад давления с обеих сторон фильтровальной перегородки, Па; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с; $R_{\text{ф}}$ и $R_{\text{ос}}(t)$ – сопротивление фильтровальной перегородки и осадка на ее поверхности, $1/\text{м}$.

Уравнение (2) позволяет оценить значение перепада давления Δp для повышения производительности фильтрации.

Технические характеристики объемных и намывных фильтров

В процессе фильтрации на поверхности фильтровальной перегородки любого фильтра постепенно образуется слой осадка, в поры фильтра попадают частицы загрязнений фильтруемой жидкости, а площадь проходного сечения фильтра уменьшается. Вследствие

этого возрастает сопротивление фильтровальной перегородки, что на практике преодолевается повышением перепада давления Δp и соответствующим увеличением скорости фильтрации v , т. е. скорости движения жидкости через фильтровальную перегородку (см. (1) и (2)).

Однако вследствие сжимаемости осадка его сопротивление возрастает нелинейно. Также нелинейно, но с некоторым отставанием возрастает скорость v (рис. 3). При достижении определенного значения Δp приращение скорости фильтрации практически прекращается.

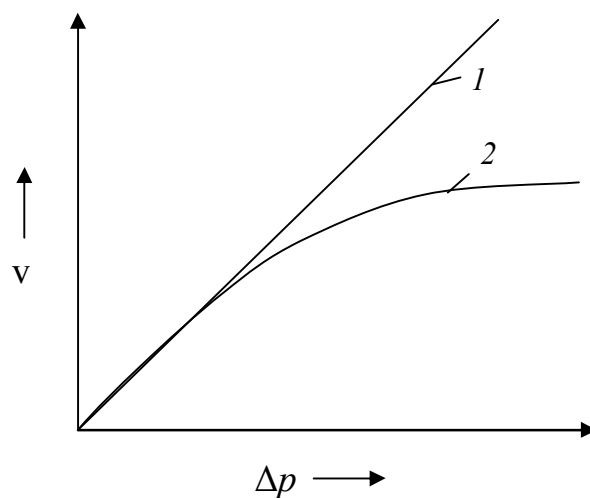


Рис 3. Зависимость скорости фильтрации v от перепада давлений Δp (принципиальный график): 1, 2 – идеальная и фактическая зависимости

Естественно, закономерное уменьшение скорости фильтрации v (до регенерации фильтровальных элементов путем промывки) приводит к соответствующему снижению производительности фильтра Q (рис. 4).

Чтобы обеспечить постоянство заданной производительности фильтра Q_3 в течение всего рабочего цикла $t_{\text{ц}}$ используют следующее решение: в течение первой части рабочего цикла длительностью $t_{\text{ц1}}$ фактическая производительность превышает заданную Q_3 ; избыток чистой жидкости (ВТЖ или воды) направляется в резервную емкость, установленную рядом с фильтром; в течение второй части рабочего цикла длительностью $t_{\text{ц2}}$ фактическая производительность меньше заданной, а "недостаток производительности" фильтрации компенсируется дополнительной подачей чистой жидкости из резервной емкости. Подачу воды в первой части цикла следует производить насосом с переменной и управляемой производительностью.

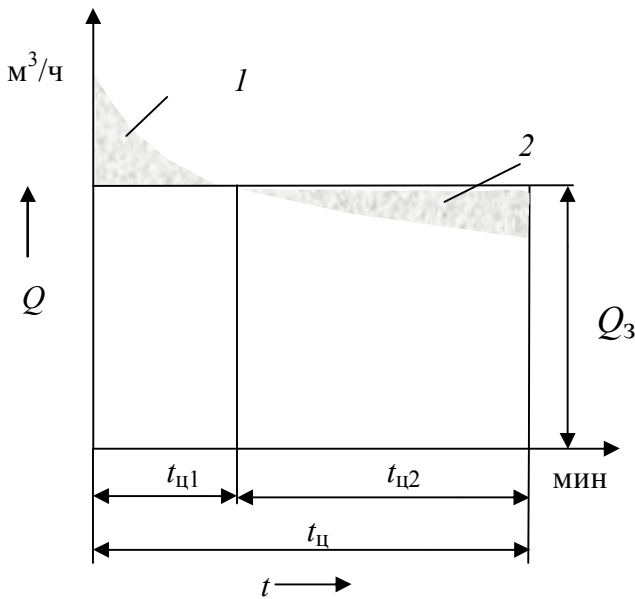


Рис. 4. Зависимость фактической производительности фильтра Q от времени фильтрации t :
1, 2 – зоны избыточной и недостаточной производительности

Значение удельной фильтровальной площади $S_{фуд}$ объемных фильтров близко к единице, а их производительность Q ограничена, как отмечено выше, скоростями фильтрации порядка 8...9 м/ч. Элементарная ячейка патронного фильтра в плане показана на рис. 1, е. $S_{фуд}$ намывных фильтров в десятки раз превышает этот показатель объемных фильтров и составляет 10...50 м²/м² [4, 6]. Толщина фильтрующего намывного слоя, через который движется водная жидкость, не превышает 2...3 мм, тогда как толщина слоя нагрузки объемных фильтров (см. рис. 1, а и б) достигает 800...1000 мм.

Тем не менее, намывные фильтры обеспечивают высокую степень и тонкость очистки, поскольку намывной слой создается из зерен микропорошков с диаметром фракций 50...100 мкм, при относительно небольших скоростях фильтрации (0,5...2,0 м/ч) в зависимости от перепада давления (0,6...1,5 бар). Такие небольшие по сравнению с напорными объемными фильтрами скорости фильтрации объясняются большей сжимаемостью осадка в связи с малыми размерами его частиц и их низкой плотностью ($\rho_{г} = 1,05...1,2$ кг/дм³). Относительно низкие значения скорости фильтрации водных жидкостей в намывных фильтрах с успехом компенсируются большими значениями удельной фильтровальной площади.

Известные конструкции намывных патрон-

ных фильтров (см. рис. 1, в) имеют несколько принципиальных недостатков, препятствующих созданию единичных аппаратов высокой производительности (до 4000...5000 м³/ч):

1) сложность рабочих циклов и соответственно управления ими;

2) малая длительность рабочего цикла, что приводит к необходимости частых промывок и переналадок и к повышенному расходу промывочной воды (до 10 – 12 % от объема очищенной воды);

3) ограниченные значения удельной фильтровальной площади, обусловленные небольшой длиной патронов (не более одного метра). Это ограничение связано с особенностями организации их промывки – сложностью обеспечения противоположно направленного потока (противотока) жидкости из осевых отверстий патронов по всей их длине.

Первый и второй из указанных выше недостатков технически преодолимы, благодаря развитию средств автоматизации управления, третий недостаток преодолеть достаточно сложно.

Известны также намывные фильтры с фильтровальными элементами в виде полых пластин (листов), обтянутых снаружи фильтровальным материалом. Их применение в конструкциях напорных фильтров ограничено низкими прочностными характеристиками пластин при их больших размерах и сложностью организации их промывки [8].

Задача эффективной промывки намывных ламельных фильтров решается проще, поскольку разработанные ламели имеют достаточно прочную и жесткую конструкцию и малые размеры по ширине, благодаря чему они выдерживают повышенное давление при промывке. Элементарная ячейка ламельного фильтра в плане показана на рис. 1, ж, а конструкция ламели – на рис. 2.

Обобщенные технические характеристики объемных и намывных фильтров напорного и безнапорного исполнения представлены в табл. 1.

К таким характеристикам фильтров относятся:

– площадь горизонтальной проекции рабочего пространства фильтра $S_{г}$ м²:

$$S_{г} = L_{ф} B_{ф},$$

где $L_{ф}$, $B_{ф}$ – длина и ширина горизонтальной проекции рабочего пространства, м;

– удельная фильтровальная площадь $S_{фуд}$:

$$S_{фуд} = S_{ф.ед} S_{г}^{-1}, \quad (3)$$

где $S_{ф.ед}$ – фильтровальная площадь единичного аппарата, м²;

1. Технические характеристики объемных и намывных фильтров при очистке воды и ВТЖ от механических примесей: $\eta = 0,001$ Па·с; $t = 20$ °С (средние значения)

Технические характеристики	Расчетная зависимость	Символ	Размерность	Фильтры				
				объемные		намывные		
				безнапорные	напорные	безнапорные ламельные	напорные ламельные	напорные патронные
Площадь горизонтальной проекции рабочего пространства		S_r	м ²	До 200	5,3	6,0	6,0	1,0
Удельная фильтровальная поверхность	(3)	$S_{ф.уд}$	м ² /м ²	1,0	1,0	400	400	75
Толщина фильтрующего слоя		$H_{ф}$	м	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0
Средний размер частиц загрузки		\bar{d}	мкм	1000	1000	40	40	40
Фильтровальная площадь единичного аппарата	(4)	$S_{ф.ед}$	м ²	200	5,3	2400	2400	75
Перепад давления		Δp	бар	0,6	2,5	0,6	1,2	1,2
Скорость фильтрования		v	м/ч	3	8	0,9	1,8	1,8
Удельная часовая гидравлическая нагрузка	(6)	q	(м ³ /ч)/м ²	3	8	360	720	135
Производительность единичного фильтра	(1)	Q	м ³ /ч	600	42,2	2160	4320	135
Длина ламели и патрона		$L_{л}$	м	–	–	2 – 3	2 – 3	1
Суточный выход очищенной ВТЖ или воды	(7)	$Q_{сут}$	м ³ /сут	14400	1017	51840	103680	3240
Концентрация механических примесей в исходной ВТЖ и воде		$C_{пи}$	мг/дм ³	0	0	2,0	2,0	2,0
Концентрация механических примесей в очищенной ВТЖ и воде		$C_{по}$	мг/дм ³	1,0	1,0	0,1	0,2	0,2
Время цикла		$t_{ц}$	ч	12	12	6	6	3
Коэффициент увеличения площади фильтровальной поверхности *	(8)	K_S	–	1	1	400	400	75
Коэффициент увеличения скорости фильтрования *	(9)	K_v	–	1	4	0,3	0,6	0,6
Коэффициент повышения производительности фильтрования*	(10)	K_Q	–	1	4	120	240	43,8

*Аналогом является фильтровальный аппарат, для которого значения коэффициентов увеличения фильтровальной поверхности, скорости и производительности фильтрования равны 1,0.

$$S_{ф.ед} = S_r \cdot S_{ф.уд}; \quad (4)$$

– производительность единичного фильтра, м³/ч:

$$Q_{ч} = v S_{ф.ед}. \quad (5)$$

– удельная часовая гидравлическая нагрузка q , (м³/ч)/м²:

$$q = v S; \quad (6)$$

– суточный выход очищенной воды или ВТЖ, м³/сутки:

$$Q_{сут} = 24 Q_{ч}. \quad (7)$$

Увеличение фильтровальной площади патронного фильтра по сравнению с объемным

фильтром можно оценить по величине коэффициента K_S из выражения

$$K_S = S_{ф.п} / S_{ф.об}, \quad (8)$$

где $S_{ф.п}$ и $S_{ф.об}$ – соответственно фильтровальная площадь патронного и объемного фильтра, м²:

$$S_{ф.п} = \pi d_{п} L_{р} n_{п};$$

$$S_{ф.об} = \frac{\pi}{4} D_{ф}^2;$$

$$n_{п} = \frac{\pi D_{ф}^2}{4 a^2},$$

где $d_{п}$ – диаметр фильтровального патрона, м; $L_{р}$ – рабочая длина патрона, м; $n_{п}$ – число па-

тронов, шт.; D_{ϕ} – внутренний диаметр объемного фильтра.

Коэффициент плотности компоновки патронного фильтра K_{Π} можно получить из выражения (см. рис. 1, в, е):

$$K_{\Pi} = \frac{\pi d_{\Pi} L_{\Pi}}{a^2},$$

где d_{Π} – диаметр патрона, м; L_{Π} – длина патрона, м; a – длина стороны элементарной ячейки, м.

Например, при $d_{\Pi} = 16$ мм; $L_{\Pi} = 1000$ мм; $a = 24$ мм, коэффициент K_{Π} плотности компоновки патронного фильтра равен 74,3.

Тот же коэффициент для ламельных фильтров можно получить из выражения (см. рис. 1, ж и рис. 2)

$$K_{\Pi} = \frac{2(B_{\Pi} + H_{\Pi})L_{\Pi}}{(H_{\Pi} B_{\Pi})},$$

где L_{Π} , B_{Π} , H_{Π} – длина, ширина и толщина ламели, м; B_{Π} , H_{Π} – размеры элементарной ячейки в плане, м.

При достижимых значениях $H_{\Pi} = 10$ мм; $B_{\Pi} = 170$ мм; $L_{\Pi} = 100$ мм; $H_{\Pi} = 5$ мм; $L_{\Pi} = 2000$ мм коэффициент K_{Π} равен 247,1. Следовательно, K_{Π} у ламельных фильтров в 3–3,5 раза больше чем у патронных фильтров. Кроме того, K_{Π} позволяет оценить увеличение площади ламельных фильтров по сравнению с объемными.

Величина K_{Π} определяется отношением фильтровальной площади ламели к площади элементарной ячейки патрона.

Коэффициент увеличения фильтровальной площади ламельного фильтра по сравнению с патронным фильтром определяется из выражения

$$K_{\Pi\Pi} = \frac{K_{\Pi}}{K_{\Pi}} = \frac{2L_{\Pi}(H_{\Pi} + B_{\Pi})a^2}{H_{\Pi} B_{\Pi} \pi d_{\Pi} L_{\Pi}}.$$

При заданных в проекте фильтра НЛФ-1200-1 (см. далее) значениях размеров ламели $L_{\Pi} = 2$ м; $B_{\Pi} = 0,06$ м; $H_{\Pi} = 0,008$ м; $H_{\Pi} = 0,022$ м; $B_{\Pi} = 0,12$ м и размерах патрона $d_{\Pi} = 0,03$ м; $a = 0,040$ м; $L_{\Pi} = 1$ м коэффициент $K_{\Pi\Pi}$ равен 1,75.

Следовательно, в данном случае ламельный фильтр имеет в 1,75 раз большую фильтровальную поверхность, чем патронный фильтр.

Коэффициенты увеличения скорости фильтрования K_V и повышения производительности K_Q определяются следующим образом:

$$K_V = v_{\phi} / v_{\phi H}; \quad (9)$$

$$K_Q = K_S K_V. \quad (10)$$

Как следует из анализа данных табл. 1 и всего вышеизложенного, при конструктивном исполнении фильтровальных элементов в виде ламелей, объединенных в секции, и при качественной периодической водовоздушной очистке рабочих поверхностей ламелей от отработанного фильтрующего слоя с осадком (давление 5...6 бар, интенсивность 16 (л/с)/м², длительность – 30 мин), обеспечивается возможность создания фильтров с производительностью до 5000 м³/ч, что достаточно для очистки до 100 000 м³ ВТЖ или воды в сутки одним фильтром. Таким образом, решение задачи высокопроизводительной тонкой и экономичной очистки больших объемов и расходов водных жидкостей достижимо.

Удельная часовая гидравлическая нагрузка, характеризующая производительность единичного оборудования, может достигать 720 (м³/ч)/м², что в 90 раз больше по сравнению с напорными объемными фильтрами. Однако это направление реализуется только в случае создания достаточно совершенных ламельных намывных фильтров с ламелями длиной порядка 2...3 м.

Представим опытный намывной фильтр НЛФ-1200-1, который послужил началом создания единичного фильтровального оборудования с производительностью в десятки раз большей производительности объемных напорных фильтров.

Опытный намывной фильтр НЛФ-1200-1

На основе приведенной информации, в ЗАО "Системы водоочистки" (г. Ульяновск) спроектирован, изготовлен и испытан опытный безнапорный намывной ламельный фильтр НЛФ-1200-1, предназначенный для эксплуатации в составе двухступенчатой контейнерной станции (КС).

На первой ступени КС исходная загрязненная вода (табл. 2) проходит предварительную очистку от механических примесей в тонкослойном отстойнике, а затем (на второй ступени) очищается в фильтре НЛФ-1200-1. Мутность воды, поступающей на фильтр, $C_{\text{ми}} \leq 2$ мг/дм³, после фильтрования – $C_{\text{мо}} \leq 0,5$ мг/дм³ (табл. 3). Фильтр в КС

работает в режиме скорого безнапорного фильтрования.

2. Показатели качества исходной воды

Показатель	Символ	Исходная вода
Щелочность	$\text{Щ}_{\text{и}}$, ммоль/дм ³	0,6...0,8
Мутность	$C_{\text{ми}}$, мг/дм ³	100
pH	pH _и	6,5...7,5

3. Технические характеристики намывного ламельного фильтра НЛФ-1200-1

Технические характеристики	Значение
Производительность фактическая $Q_{\text{ф}}$, м ³ /ч	25
Мутность очищенной воды $C_{\text{мо}}$, не более, мг/дм ³	0,5
Мутность исходной воды $C_{\text{ми}}$, не более, мг/дм ³	2
Средний размер частиц намывного слоя \bar{d} , мкм	40
Площадь фильтрования $S_{\text{ф}}$, м ²	120
Удельная часовая гидравлическая нагрузка, (м ³ /ч)/м ²	26
Количество фильтровальных секций, шт.	10
Количество фильтровальных ламелей в секции, шт.	44
Площадь горизонтальной проекции пакета ламелей, м ²	0,95
Шаг ламелей, мм	22
Габаритные размеры ламелей $L_{\text{л}} \times B_{\text{л}} \times H_{\text{л}}$, мм	2000×60×10
Перепад давления с обеих сторон ламели, бар	0,27
Расход промывочной воды, м ³ /ч	4
Расход воздуха, м ³ /ч	2
Габаритные размеры фильтра $L \times B \times H$, м	1,54 × 1,23 × 8,0
Масса фильтра без воды, кг	3500

Фильтр НЛФ-1200-1 (рис. 5) имеет тонкостенный призматический корпус 2, выполненный в виде колонны с пирамидальным днищем 3, предназначенным для сбора осадка механических примесей (взвесей). Внутри корпуса расположены фильтровальные ламели 7, объединенные в секции 6. В пространстве 10 между секциями ламелей размещены вертикальные промывочные штанги 9 с щелевыми соплами, обеспечивающие периодическую водовоздушную промывку поверхностей ламелей. Штанги 9 приводятся в возвратно-поступательное движение с помощью качающегося пантографа 8 и пневмопривода 1 с длиной хода 600 мм.

Для минимизации расходов воздуха и про-

мывочной воды в каждом зазоре между секциями ламелей расположены по две штанги с соплами на длине 1000 мм (на одной штанге снизу, а на другой сверху). Раздача воды и воздуха по штангам осуществляется с помощью панели распределителей 4, соединенных с промывочными штангами полиуретановыми шлангами. Продолжительность промывки ламелей – 30 мин, а время намывки фильтрующего слоя – 40 мин (при производительности 4 м³/ч).

При увеличении площади $S_{\text{г}}$ до 5 м² производительность НЛФ составит 125 (м³/ч)/м². Фильтр НЛФ-1200-1 в 2,8 раза производительнее скорых объемных фильтров.

Цикл работы фильтра НЛФ-1200-1 состоит из следующих этапов:

- намыв фильтрующего слоя порошка на поверхности ламелей;
- непрерывное фильтрование воды (или ВТЖ);
- водовоздушная очистка ламелей от отработавшего намывного фильтрующего слоя.

Намывная суспензия приготавливается в отдельной емкости с помощью электромешалки и дозатора; загрузка бункера контролируется датчиком объема. В емкость подаются микропорошок и вода из резервуара чистой воды (РЧВ). Приготовленная намывная суспензия подается во внутреннюю полость фильтра НЛФ и проходит через коллекторную и поддерживающую сетки ламелей, оставляя на фильтрующей сетке слой микропорошка.

Из полостей ламелей водная основа суспензии сбрасывается в РЧВ. Учет расхода воды осуществляется расходомером. Закрываются элементы запорной арматуры, открытые при режиме намывки, и начинается процесс фильтрования. Исходная загрязненная вода (или ВТЖ) из первой ступени очистки подается в корпус фильтра. Регулирование расхода воды осуществляется по показаниям расходомеров с помощью дискового поворотного затвора. Затем вода очищается через фильтрующий слой, намытый на поверхности ламелей. Фильтрат из полостей ламелей отводится в РЧВ.

С течением времени непрерывного фильтрования на поверхностях намывного слоя формируется слой осадка, толщина которого постепенно возрастает. Соответственно возрастает и сопротивление фильтрующего слоя и высота слоя воды над пакетом ламелей. По достижению заданного верхнего уровня слоя воды над пакетом ламелей отключается подвод загрязненной воды.

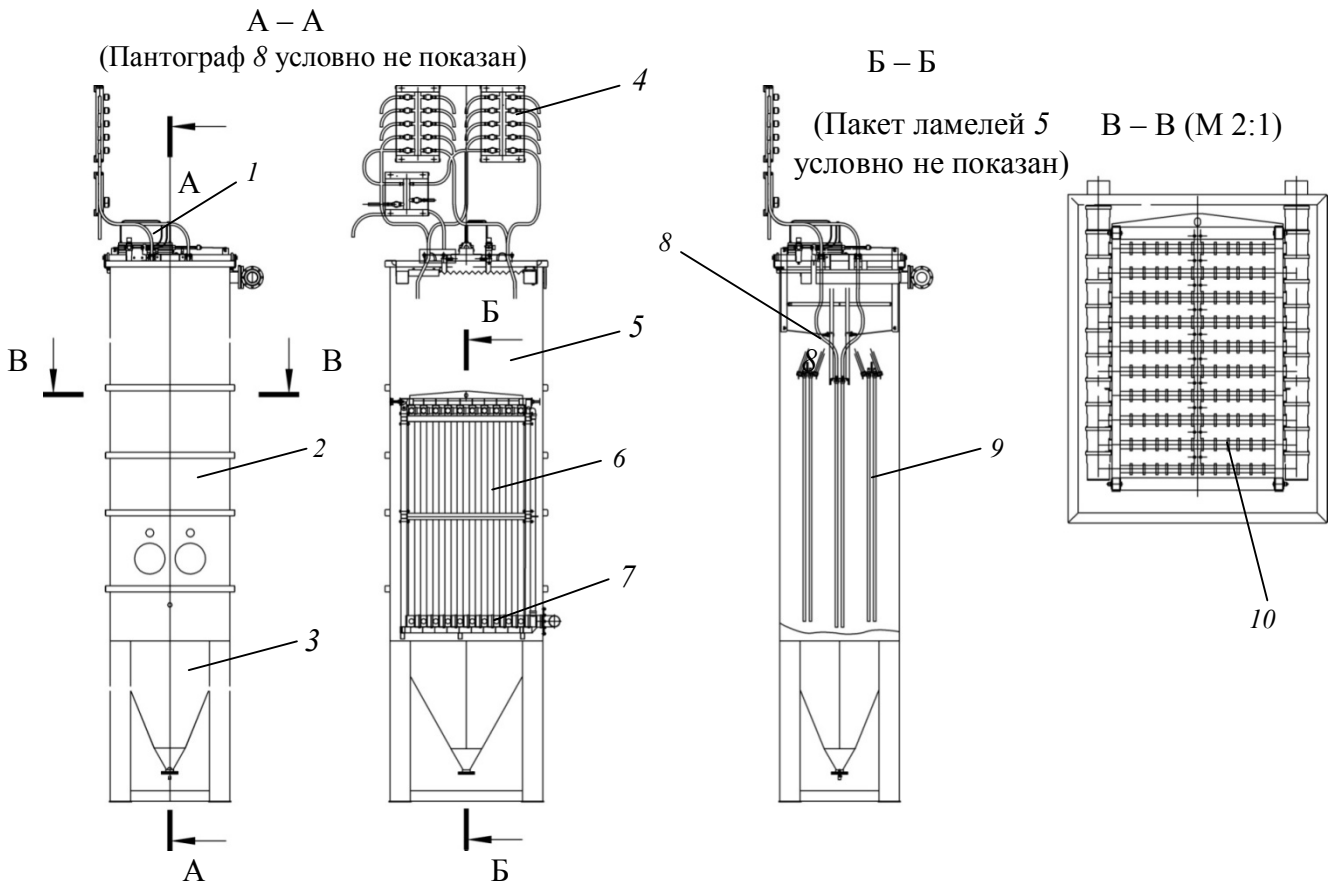


Рис 5. Конструктивная схема намывного ламельного фильтра НЛФ-1200-1:

1 – пневмопривод; 2 – корпус; 3 – днище; 4 – панель пневмоуправления; 5 – пакет секций ламелей; 6 – секция ламелей; 7 – ламель; 8 – качающийся пантограф; 9 – промывочная штанга; 10 – зазор между секциями ламелей

Очищенная вода сливается в расходную емкость до достижения нижнего уровня в корпусе фильтра. Далее следует этап смыва отработанного намывного фильтрующего слоя вместе с осадком с поверхности ламелей и удаления суспензии из фильтра на переработку. С помощью шламовых насосов вода с осадком подается в гидроциклон, из которого через шламовое сопло микророшок сбрасывается в первую ступень очистки, а вода (ВТЖ) с осадком взвесей подается в устройство сгущения и/или в канализацию.

Промывочная вода подается напрямую из расходной емкости, подводится в вертикальные промывные штанги и выбрасывается из щелевидных сопел, расположенных с шагом 15 мм в шахматном порядке с обеих сторон штанги.

Спаренные штанги с помощью качающегося пантографа перемещаются по зазору между секциями ламелей. К штангам подводится смесь промывочной воды и сжатого воздуха, благодаря чему образуются импульсные водовоздушные струи, обеспечивающие высокий эффект очистки ламелей.

При образовании вакуума в полостях ламелей и наполнении их воздухом, выделяющимся из воды, срабатывает воздушный электроклапан. Гипохлорит натрия и сульфат аммония подаются в корпус по отдельным линиям.

Заключение

При опытно-промышленных испытаниях и длительной пробной эксплуатации намывного безнапорного фильтра НЛФ-1200-1 зафиксированы следующие результаты и предложено несколько рекомендаций:

1) удельная часовая гидравлическая нагрузка ламельного фильтра НЛФ-1200-1 равна $26 \text{ (м}^3/\text{ч)/м}^2$ при площади фильтра в горизонтальном сечении $0,95 \text{ м}^2$;

2) фильтрующий слой с осадком, сформировавшийся на ламелях, однороден по их ширине и пропорционально утолщается и загрязняется по длине;

3) водовоздушная очистка ламелей с помощью штанг с щелевыми соплами обеспечивает качественную и однородную регенерацию рабочих поверхностей ламелей;

4) длительность непрерывной качественной очистки воды или ВТЖ до регенерации ламелей находится в интервале двух-трех часов. За это время производительность фильтра уменьшается в два раза по сравнению с первоначальной;

5) производительность фильтра полностью восстанавливается после регенерации ламелей. Рекомендуемый расход воды при промывке ламелей составляет 50 м³/ч на один квадратный метр площади горизонтальной проекции рабочего объема фильтра;

б) рекомендуемая длительность промывки ламелей – 30 мин.

Таким образом, показано, что целесообразным направлением дальнейшего совершенствования фильтровального высокопроизводительного оборудования является реализация технологии очистки водных жидкостей от механических примесей в тонком фильтрующем слое, намытом на поверхности ламелей. Предложены принципиальные технические решения безнапорных намывных (тонкослойных) фильтров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализованная редакция. Строительные нормы и правила: (СНиП) 2.04.02 – 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: нормативно-технический материал. – М.: ООО "Аналитик", 2012. – 124 с.
2. Линевиц, С.Н. Современные и перспективные методы и технологии кондиционирования природных вод в водоснабжении / С.Н. Линевиц, С.В. Гетманцев. – Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. (Новочеркасский политехн. ин-т); ОАО "АУРАТ". – М.: ООО "ГК ИТЛ", 2013. – 324 с.
3. Пат. № 2469767, РФ. МПК В01D 27/00, В01D 37/02. Намывной патронный фильтр / А.В. Бусарев, С.В. Леонтьева, А.Б. Адельшин, А.С. Селюгин. – 2010.
4. Пат. № 2531392, РФ. МПК В01D 24/00. Намывной фильтр / Е.М. Булыжев, Г.А. Джавахия. – 2014. – Бюл. № 29.

5. Иванов М. Намывные фильтры – http://www.aqua-therm.ru/articles/articles_55.html

6. Пат. № 2561098, РФ. МПК В01D 29/01, В01D 37/02. Намывной ламельный фильтр / Ф.В. Кармазинов, Е.А. Мельник, Е.Д. Нефедова, Е.М. Булыжев [и др.]. – 2015. – Бюл. № 23.

7. Пат. № 2572543, РФ. МПК В01D 29/01, В01D 37/02. Способ очистки жидкости и намывной ламельный фильтр для его реализации / Е.М. Булыжев, Э.Е. Булыжев, Е.Д. Кондратьев [и др.]. – 2016. – Бюл. № 2.

8. Листовые фильтры – http://www.oil-filters.ru/plate_filters.php.

REFERENCES

1. Code of Rules SR 31.13330.2012. Water supply. External Communications and Constructions. Actualized Edition. Construction Norms and Rules: (CNaR) 2.04.02 – 84. Water supply. External Communications and Constructions: Normative and Technical Material. – M.: "Analyst" Co., 2012. – pp.124.
2. Linevich, S.N. *Modern and Promising Methods and Techniques of Natural Water Conditioning in Water Supply* / S.N. Linevich, S.V. Getmantsev. – South Russian State Technical University. (Novocherkassk Polytechnic Institute); "AURAT" Co.– M.: "GK ITL", 2013. – pp. 324.
3. Pat. № 2469767, RF. IPC B01D 27/00, B01D 37/02. Precoat cartridge filter / A.V. Busarev, S.V. Leontieva, A.B. Adelshin, A.S. Selyugin. – 2010.
4. Pat. № 2531392, RF. IPC B01D 24/00. Precoat filter / E.M. Bulyzhev, G.A. Javakhiya. – 2014. – Bull. № 29.
5. Ivanov M. Precoat filters – http://www.aqua-therm.ru/articles/articles_55.html
6. Pat. № 2561098, RF. IPC B01D 29/01, B01D 37/02. Precoat lamellar filter / F.V. Karmazinov, E.A. Melnik, E.D. Nefyodova, E.M. Bulyzhev [et al.]. – 2015. – Bull. № 23.
7. Pat. № 2572543, RF. IPC B01D 29/01, B01D 37/02. Method for liquid cleaning and precoat lamellar filter for its realization / E.M. Bulyzhev, E.E. Bulyzhev, E.D. Kondratiev [et al.]. – 2016. – Bull. № 2.
8. Leaf-type filters – http://www.oil-filters.ru/plate_filters.php.

Рецензент д.т.н. Ю.В. Полянсков