

*Фильтрацией* называется процесс разделения суспензий и аэрозолей с использованием пористых перегородок, на поверхности которых задерживаются взвешенные в жидкости или газе твердые частицы, образующие на перегородке слой *осадка*. Жидкость, отделенная от осадка, называется *фильтратом*.

В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности фильтрация применяется в процессах депарафинизации масел, производства парафина, церезина, пластичных смазок, при очистке нефтепродуктов и контактной очистке масел, для улавливания технического углерода, отделения химических реактивов и особо чистых химических веществ и других ценных продуктов от газов, отходящих от технологических установок распыливающего типа и печей кипящего слоя. Движение жидкости через пористые перегородки и слой осадка создают за счет разности давления в аппарате, являющейся движущей силой процесса.

Перепад давления может создаваться: 1) столбом жидкости над фильтрующей перегородкой (гидростатическое фильтрование); 2) избыточным давлением жидкости, например, при подаче ее насосом (фильтрование под давлением); 3) путем создания разрежения под фильтрующей перегородкой при помощи вакуум-насоса (фильтрование под вакуумом).

Разделение суспензий на фильтрах обычно состоит не только из основной операции по фильтрованию суспензий, но в ряде случаев и из вспомогательных операций, таких как промывка осадка (при которой с помощью специальной жидкости фильтрат выдавливается из пор осадка), его продувка и сушка воздухом или инертным газом.

Эффективность разделения и производительность фильтра зависят от свойств обрабатываемой суспензии, правильного выбора типа фильтра, его оснащения и режима работы. В связи с этим для достижения оптимальных условий процесса фильтрования выбор типа фильтра, фильтровальной перегородки и режимов фильтрования должен проводиться на основе экспериментального изучения особенностей фильтрования данной суспензии на лабораторных или пилотных установках.

## АБРАЗИВНО-ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ПЕРЕГОРОДКИ

Для фильтрования применяются следующие виды перегородок:

*насыпные*, состоящие из слоя мелкозернистых материалов (гравий, песок и др.), обладающие высокой полнотой разделения суспензий, но отличающиеся большим сопротивлением, поскольку осадок проникает внутрь фильтрующего слоя и требуются специальные приемы для его отделения. Такие фильтровальные перегородки применяют для суспензий с малой концентрацией осадка;

*набивные*, состоящие из слоя волокнистых материалов (вата хлопчатобумажная, шерстяная, шлаковая, стеклянная, асбестовое волокно и т.д.); характеристика та же, что и для насыпных перегородок;

*керамические*, состоящие из плоских пористых кислотоупорных плиток, применяющиеся для фильтрования кислых сред; характеристика та же, что и для насыпных перегородок;

*тканевые*, обладающие относительно малым сопротивлением и удобные в конструктивном отношении;

*плетеные*, представляющие собой сетки из тонкой проволоки, выполненные из цветных металлов и сплавов; отличаются пониженной задерживающей способностью и поэтому в начале фильтрования пропускают в фильтрат мелкие частицы. Однако осадок, который откладывается в последующем, обеспечивает высокую фильтровальную способность. Плетеные перегородки часто применяют для фильтрования при повышенной температуре, причем первые порции мутного фильтрата возвращаются на повторное фильтрование.

В ряде случаев фильтровальная перегородка не обладает достаточной задерживающей способностью и для придания ей необходимых фильтрующих свойств на ее поверхность намыывают слой вспомогательного фильтрующего вещества (кизельгура, диатомита, перлита и т.п.). Слой осадка из вспомогательного вещества служит фильтровальной перегородкой, которая и задерживает мелкие частицы суспензии (менее 1 мкм).

Важной характеристикой осадка является его пористость, влияющая на проницаемость жидкости и обуславливающая величину сопротивления, оказываемого потоку фильтрата. Осадок, который при фильтровании независимо от давления имеет одну и ту же пористость, называется *несжимаемым* и состоит обычно из твердых кристаллических частиц, размеры которых варьируются в широком интервале.

Большая часть осадков состоит из мягких частиц, которые с повышением давления уплотняются, вследствие чего их проницаемость уменьшается. Такие осадки называются *сжимаемыми*.

Существуют суспензии, содержащие очень мелкие илистые частицы, которые при прохождении через фильтрующую перегородку образуют на ней непроницаемый для жидкости осадок. Чтобы сделать возможным фильтрование для таких суспензий, в них добавляют мелкие частицы другого материала (например, песок, кварц и др.), которые придают осадку жесткую пространственную структуру с мелкими порами, и в этом случае осадок становится проницаемым. Осадки, структура которых различна в отдельных частях их объема, называются *неоднородными*.

Для оценки различных осадков при фильтровании вводится понятие об удельном сопротивлении осадка  $r$ , которое определяется экспериментально. Для каждого несжимаемого осадка  $r = \text{const}$ .

Для сжимаемых осадков принимают зависимость проницаемости от давления в виде

$$r = r_0 \Delta p^m, \quad (\text{XIII.1})$$

где  $m$  — показатель сжимаемости, лежащий в пределах  $0 < m < 1$ ;  $r_0$  — удельное сопротивление осадка при  $\Delta p = 1$  Па.

Для несжимаемых осадков  $m = 0$ . Удельное сопротивление неоднородных осадков зависит от многих факторов.

### ОАІ ДАДЄ×АНЄЕА І НІ І АЇ ОЄЄЇОДІ ААІ ЄВ

Движение жидкости (фильтрата) через каналы неправильной формы, образующиеся между частицами осадка и элементами фильтрующей перегородки, подчиняется общим закономерностям гидравлики и, как отмечалось ранее, связано с преодолением сопротивления как слоя осадка, так и фильтровальной перегородки (рис. XIII-1). В связи с малыми размерами каналов и небольшой скоростью движения жидкости процесс фильтрования обычно протекает в ламинарном режиме и перепад давления линейно зависит от вязкости среды. Одним из основных показателей процесса является скорость фильтрования  $C$ , определяемая как объем фильтрата  $dV$ , проходящий через поверхность фильтра  $F$  за промежуток времени  $d\tau$ , т.е.

$$C = \frac{dV}{F d\tau}.$$

Скорость фильтрования пропорциональна перепаду давления  $\Delta p$  в слое осадка и фильтрующей перегородке и обратно пропорциональна их сопротивлению  $R$ , т.е.

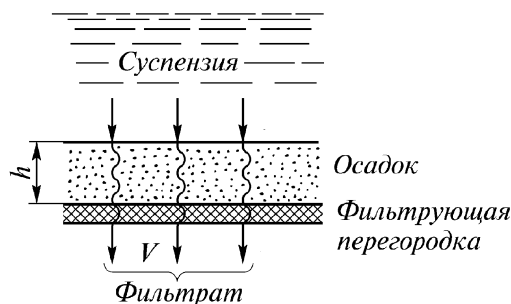


Рис. XIII-1. Схема прохождения жидкости через слой осадка и фильтрующую перегородку

$$C = \frac{dV}{Fdt} = \frac{\Delta p}{R}, \quad (\text{XIII.2})$$

где перепад давления  $\Delta p$  измеряется в Па, а сопротивление  $R$  — в (Па·с)/м.

Сопротивление  $R$  — величина переменная, так как фильтрование идет с постоянным увеличением высоты слоя осадка, а следовательно, и его сопротивления. В уравнении (XIII.2) общее сопротивление  $R$  целесообразно представить в виде суммы меняющегося сопротивления осадка  $R_{oc}$  и практически постоянного сопротивления фильтрующей перегородки  $R_{\phi}$ :

$$R = R_{oc} + R_{\phi}.$$

В свою очередь  $R_{oc}$  пропорционально толщине осадка  $h$ , т.е.

$$R_{oc} = rh.$$

Обозначим отношение объема образующегося осадка к объему фильтрата через  $x = V_{oc}/V$ ; тогда для любого момента фильтрования получим

$$V_{oc} = Vx.$$

В то же время из геометрии следует, что

$$V_{oc} = Fh,$$

откуда

$$Fh = Vx; \quad h = \frac{Vx}{F}; \quad R_{oc} = \frac{rVx}{F}.$$

После подстановки полученного в уравнение (XIII.2) основное дифференциальное уравнение фильтрования принимает вид

$$C = \frac{dV}{Fdt} = \frac{\Delta p}{R_{oc} + R_{\phi}} = \frac{\Delta p}{\frac{rVx}{F} + R_{\phi}}. \quad (\text{XIII.3})$$

Удельное сопротивление  $r = R_{oc}/h$  измеряется в (Па·с)/м<sup>2</sup>.

В промышленной практике наибольшее распространение получили два режима фильтрования.

**Режим при постоянном перепаде давления  $\Delta p$**  (вакуумное фильтрование, гидростатическое фильтрование с постоянным столбом жидкости над фильтрующей перегородкой, подача суспензии центробежным насосом при постоянном избыточном давлении на выкиде насоса). При этом режиме скорость фильтрования в связи с постоянным увеличением высоты слоя осадка и ростом его сопротивления с течением времени уменьшается.

**Режим при постоянной скорости  $\dot{V}$**  (подача суспензии на фильтр поршневым или плунжерным насосом постоянной производительности). При режиме с постоянной скоростью фильтрования слой осадка и его сопротивление постоянно увеличиваются, вследствие чего должно непрерывно расти давление поступающей суспензии, а следовательно, и перепад давления  $\Delta p$ .

## ΟΕΞΕΥΘΟΙ ΑΛΙ ΕΛ Ι ΔΕ Ι Ι ΝΟΙ ΒΙ Ι Ι Ι ΑΔΑΙ ΑΑΑ ΑΑΑΕΑΙ ΕΒ

При этом режиме фильтрования уравнение (XIII.3) можно интегрировать. Разделив переменные  $dV$  и  $d\tau$  и учитывая, что  $\Delta p = \text{const}$ , получаем

$$rxVdV + R_{\phi}FdV = \Delta p F^2 d\tau.$$

Так как при  $r = 0$  и  $V = 0$ , то постоянная интегрирования тоже равна нулю и

$$rx \frac{V^2}{2} + R_{\phi}FV = \Delta p F^2 \tau. \quad (\text{XIII.4})$$

Из этого уравнения можно при известной площади поверхности фильтра определить либо производительность фильтра за одну операцию длительностью  $\tau$

$$V = F \left[ \sqrt{\frac{2\Delta p \tau}{rx} + \left( \frac{R_{\phi}}{rx} \right)^2} - \frac{R_{\phi}}{rx} \right], \quad (\text{XIII.5})$$

либо площадь поверхности фильтра при заданном объеме фильтрата за одну операцию

$$F = \frac{V}{\sqrt{\frac{2\Delta p \tau}{rx} + \left( \frac{R_{\phi}}{rx} \right)^2} - \frac{R_{\phi}}{rx}}, \quad (\text{XIII.6})$$

либо продолжительность фильтрования при заданной толщине осадка  $h$ .

Разделив все члены уравнения (XIII.4) на  $F^2$  и умножив и разделив члены левой части уравнения на  $x$ , получим

$$\frac{r}{2x} \frac{V^2 x^2}{F^2} + \frac{R_{\phi}}{x} \frac{Vx}{F} = \Delta p \tau.$$

Заменив в последнем уравнении  $Vx/F$  на  $h$  и решив его относительно  $\tau$ , получим

$$\tau = \frac{1}{\Delta p x} \left( \frac{r}{2} h^2 + R_{\phi} h \right). \quad (\text{XIII.7})$$

Для расчетов с использованием уравнений (XIII.4) – (XIII.7) предварительно экспериментально должны быть найдены величины  $r$ ,  $R_{\phi}$  и  $x$ . При экспериментальном определении этих величин проводятся как минимум три опыта, в которых при известных  $F$  и  $\Delta p$  фиксируются объем фильтрата  $V$  и высота осадка  $h$ , получаемого за время  $\tau$ .

Подстановкой в уравнение (XIII.4) найденных для каждого опыта величин получим три уравнения, при совместном решении которых вычисляют искомые параметры фильтрования  $r$ ,  $R_{\phi}$  и  $x$ .

В тех случаях, когда сопротивление осадка значительно больше сопротивления фильтрующей перегородки, им можно пренебречь, т.е. принять  $R_{\phi} = 0$ . Тогда из уравнения (XIII.5) получим

$$V = F \sqrt{\frac{2\Delta p \tau}{rx}}. \quad (\text{XIII.8})$$

Поскольку в режиме  $\Delta p = \text{const}$  скорость фильтрования с течением времени уменьшается, представляется необходимым оценить, как изменяется средняя скорость фильтрования с течением времени  $\tau$  и при какой продолжительности фильтрования будет наибольшей средняя скорость за единицу общего времени, включающего как цикл фильтрования, так и продолжительность вспомогательных операций.

Для решения этого вопроса используем уравнение (XIII.8), которое при постоянном перепаде давления, т.е. когда изменяется только  $\tau$ , можно записать в виде

$$V = A\sqrt{\tau}.$$

Обозначив через  $\tau_0$  продолжительность вспомогательных операций (промывка осадка, раскрытие фильтра, выгрузка осадка, сборка фильтра) и принимая, что  $\tau_0$  не зависит от количества разгружаемого осадка, получаем среднюю производительность фильтра

$$V_m = \frac{V}{\tau + \tau_0} = \frac{A\sqrt{\tau}}{\tau + \tau_0}.$$

Дифференцируя функцию  $V_m$  по переменной  $\tau$  и приравнявая к нулю, получим

$$\tau = \tau_0,$$

т.е. продолжительность фильтрования должна равняться продолжительности вспомогательных операций.

В уравнениях (XIII.3) – (XIII.8) было принято, что удельное сопротивление осадка  $\tau$  – величина постоянная, что справедливо для несжимаемых осадков.

Для сжимаемых осадков значение  $\tau$  принимают по уравнению (XIII.1) и подставляют его в соответствующие расчетные уравнения. Так, например, для уравнения (XIII.8) получим

$$V = F \sqrt{\frac{2\Delta p \tau}{r_0 \Delta p^m x}} = \sqrt{\frac{2\Delta p^{1-m} \tau}{r_0 x}}.$$

Учитывая, что  $\tau_0$  и  $m$  определяются из опыта, значение  $\tau$  для сжимаемых осадков целесообразно определять при тех же экспериментальных условиях, при которых будет работать проектируемый фильтр, а также пользоваться более простыми уравнениями (XIII.3) – (XIII.8).

## ОБЪЕМНО-ПЛОЩАДНО-ВРЕМЕННОЙ РЕЖИМ

Этот режим фильтрования получается, когда суспензия подается на фильтр под давлением при помощи поршневого или плунжерного насоса. При постоянном числе ходов насоса через фильтр проходит постоянный объем фильтрата; при этом в связи с образованием осадка растет сопротивление и повышается перепад давления.

Так как скорость фильтрования постоянна, то основное дифференциальное уравнение (XIII.3)

$$\frac{dV}{F d\tau} = \frac{V}{F \tau}$$

принимает вид

$$\frac{V}{F \tau} = \frac{\Delta p}{\frac{r V x}{F} + R_{\Phi}},$$

откуда получаем основное уравнение фильтрования при  $C = \text{const}$

$$r x V^2 + R_{\Phi} F V = \Delta p F^2 \tau. \quad (\text{XIII.9})$$

Из сопоставления уравнений (XIII.9) и (XIII.4) при режиме с  $\Delta p = \text{const}$  следует, что они тождественны и отличаются тем, что первое слагаемое в уравнении (XIII.9) в два раза больше соответствующей величины в уравнении (XIII.4).

Так же как и для режима при  $\Delta p = \text{const}$ , уравнение (XIII.9) может быть решено относительно объема фильтрата  $V$

$$V = F \left[ \sqrt{\frac{\Delta p \tau}{r x} + \left( \frac{R_{\Phi}}{2 r x} \right)^2} - \frac{R_{\Phi}}{2 r x} \right]$$

или относительно необходимой площади поверхности  $F$

$$F = \frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta p \tau}{r x} + \left( \frac{R_{\Phi}}{2 r x} \right)^2} - \frac{R_{\Phi}}{2 r x}}.$$

В частности, для случая, когда сопротивлением фильтрующей перегородки можно пренебречь, т.е. при  $R_{\Phi} = 0$ , получаем

$$V = F \sqrt{\frac{\Delta p \tau}{r x}}, \quad (\text{XIII.10})$$

где  $\Delta p$  — перепад давления в конце фильтрования при конечной толщине осадка.

Сравнение уравнений (XIII.10) и (XIII.8) показывает, что при одинаковых условиях и конечном давлении производительность фильтра при  $\Delta p = \text{const}$  в 1,42 раза больше его производительности при  $C = \text{const}$ .

Расчет продолжительности фильтрования при режиме  $C = \text{const}$  проводится, исходя из предельно допустимого перепада давления для фильтра

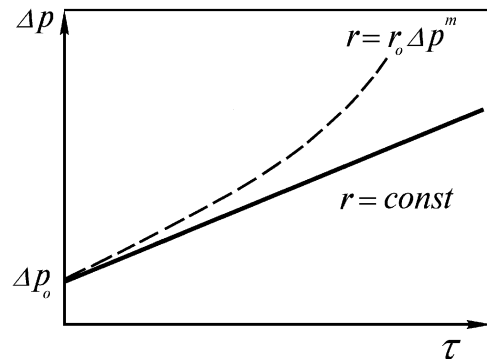


Рис. XIII-2. Зависимость перепада давления от времени при фильтровании в режиме с постоянной скоростью

данной конструкции. Деля уравнение (XIII.9) на  $F^2\tau$  и умножая и деля первый член левой части уравнения на  $\tau$ , получаем:

$$rx \frac{V^2}{F^2\tau} + R_\phi \frac{V}{F\tau} = \Delta p.$$

Так как  $V/F\tau = C$ , окончательно имеем

$$\Delta p = R_\phi C + rx C^2\tau, \quad (\text{XIII.11})$$

т.е. для случая несжимаемого осадка перепад давления растет по прямой линии, начиная от первоначального перепада давления  $\Delta p_0 = R_\phi C$ . Для сжимаемого осадка  $r = r_0 \Delta p^m$ , перепад давления будет большим и его изменение будет происходить по кривой (см. пунктирную линию на рис. XIII-2).

### ПРОМЫВКА ОСАДКА

Промывка осадка проводится с целью удаления содержащегося в нем фильтрата путем вытеснения его промывной жидкостью. Она удлиняет полный цикл работы фильтра, поэтому необходимо рассчитать продолжительность промывки данного осадка. При расчете принимается, что высота слоя осадка не меняется, сопротивление его остается постоянным, равным сопротивлению в конце фильтрования, и процесс протекает с постоянной скоростью.

Если промывку проводят после фильтрования при  $\Delta p = \text{const}$ , то конечная скорость процесса определяется уравнением

$$C_{\kappa\phi} = \frac{\Delta p}{R_\phi + rh}. \quad (\text{XIII.12})$$

Режим движения жидкостей в осадках при фильтровании является ламинарным, и перепад давления, затрачиваемый на трение в капиллярах осадка, пропорционален вязкости жидкости. Поэтому скорость промывки осадка промывной жидкостью  $C_{\text{пр}}$  будет пропорциональна отношению вязкостей фильтрата  $\mu_\phi$  и промывной жидкости  $\mu_{\text{пр}}$ , т.е.

$$C = C_{\kappa\phi} \mu_\phi / \mu_{\text{пр}}. \quad (\text{XIII.13})$$

Расход жидкости  $V_{\text{пр}}$  зависит от полноты промывки и устанавливается из опыта. Продолжительность промывки составит

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}}}{FC_{\text{пр}}}. \quad (\text{XIII.14})$$

Если промывку проводят после фильтрования при режиме  $C = \text{const}$ , то обычно и скорость промывки  $C_{\text{пр}}$  постоянна, так как промывная жидкость подается тем же насосом. В этом случае продолжительность промывки определяется по уравнению (XIII.14), а перепад давления  $\Delta p$ , зависящий от вязкостей фильтрата и промывной жидкости, определяется из выражения

$$\Delta p_{\text{пр}} = \Delta p_{\kappa\phi} \mu_{\text{пр}} / \mu_\phi.$$



## АІ І АВАЎОБА АЁВ ОЁЁУЎІ ААІ ЁВ

Аппараты для фильтрования, которые называют фильтрами, подразделяются на фильтры периодического и непрерывного действия.

Цикл работы *периодически действующего фильтра* состоит из основной операции — фильтрования и вспомогательных операций, связанных с промывкой, сушкой осадка, разборкой фильтра, выгрузкой осадка и др. В случае разделения суспензий с применением вспомогательного фильтрующего вещества в качестве намывного слоя или добавок в исходную суспензию осадок удаляют из аппарата в конце каждого цикла вместе со вспомогательным фильтрующим веществом.

После удаления осадка фильтровальную перегородку регенерируют, удаляя из ее пор и с поверхности частицы твердой фазы. Регенерацию обычно осуществляют продувкой воздухом, инертным газом, паром или двусторонней промывкой жидкостью.

В *фильтрах непрерывного действия* все операции (основные и вспомогательные) осуществляются непрерывно в течение сравнительно длительного отрезка времени.

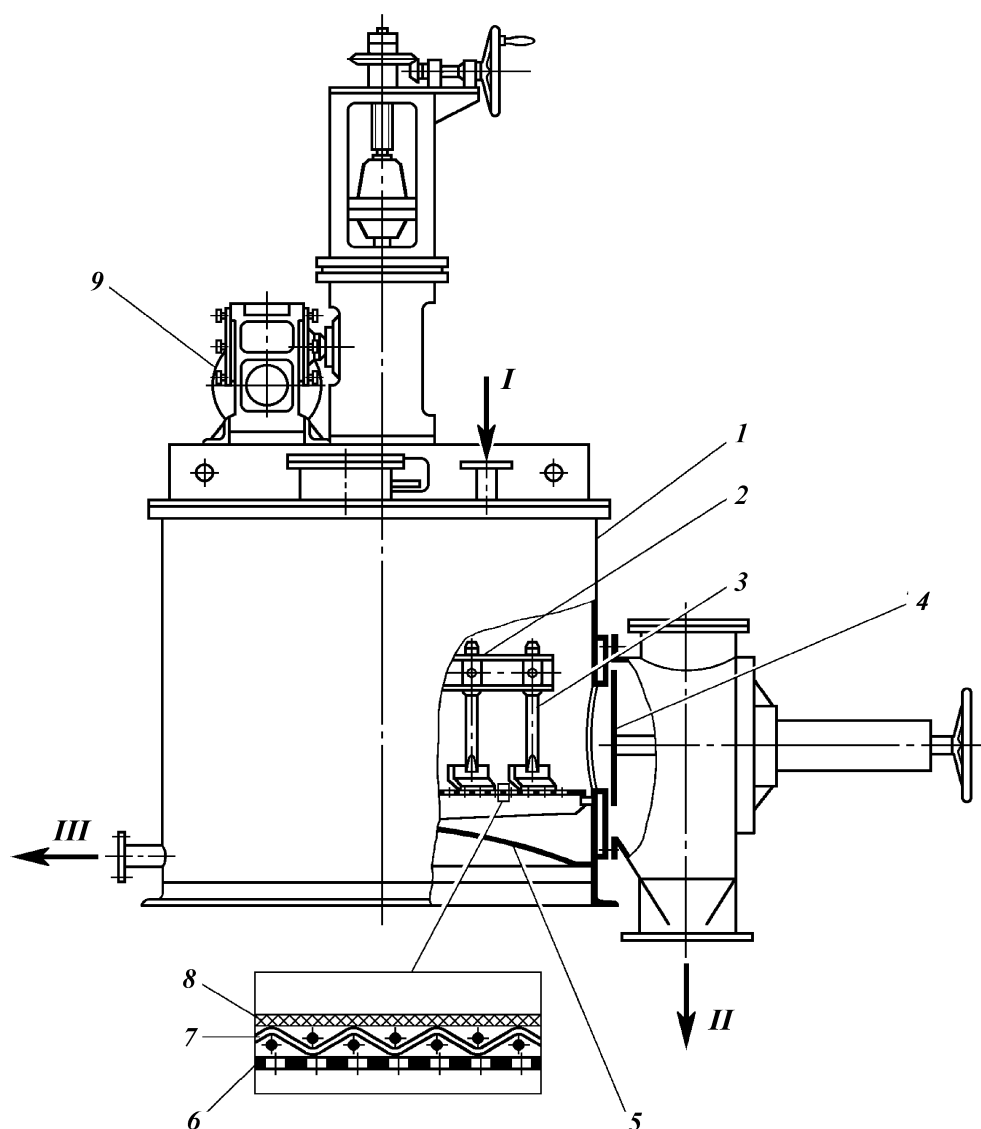
В зависимости от способа создания разности давлений фильтры классифицируются также на *работающие под вакуумом* и *работающие под давлением*. К фильтрам, работающим под давлением, относят емкостные, рамные, камерные, листовые, патронные фильтр-прессы; фильтры, работающие под вакуумом, разделяют на барабанные, дисковые, ленточные, карусельные, тарельчатые.

Известно большое число различных конструкций фильтров, рассматриваемых в специальной литературе. Здесь приводится описание только некоторых основных типов, получивших применение в нефтегазоперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

**Емкостные фильтры.** Наиболее простыми по конструкции являются емкостные фильтры, применяемые при периодическом процессе производства и малых объемах обрабатываемой суспензии (рис. XIII-3). Такие фильтры представляют собой открытый или закрытый цилиндрический сосуд с ложным дном, являющимся основанием для фильтровальной перегородки. Верхняя часть сосуда служит приемником суспензии, нижняя — предназначена для приема фильтрата. В зависимости от конструкции фильтра осадок в виде разжиженной пасты выгружают вручную или механизированным способом.

**Рамный фильтр-пресс** (рис. XIII-4, а) собирают из нескольких десятков попеременно чередующихся плит и рам квадратной или круглой формы, между которыми проложена фильтровальная ткань (салфетка). Рамы и плиты опираются на балки и сжимаются винтовым (с ручным либо электрическим приводом) или гидравлическим приспособлением. Плиты фильтра имеют рифленую поверхность. В рамах, плитах и салфетках на периферии выполнены совпадающие друг с другом отверстия, образующие каналы.

Суспензия под давлением по одному из каналов поступает в полости рам, где выделяется осадок; фильтрат, пройдя фильтрующую ткань, собирается в полостях рифлений и выводится через общий канал при закрытом отводе (рис. XIII-4, б) либо индивидуально из каждой плиты при открытом отводе (рис. XIII-4, а.), что позволяет легко проверить качество

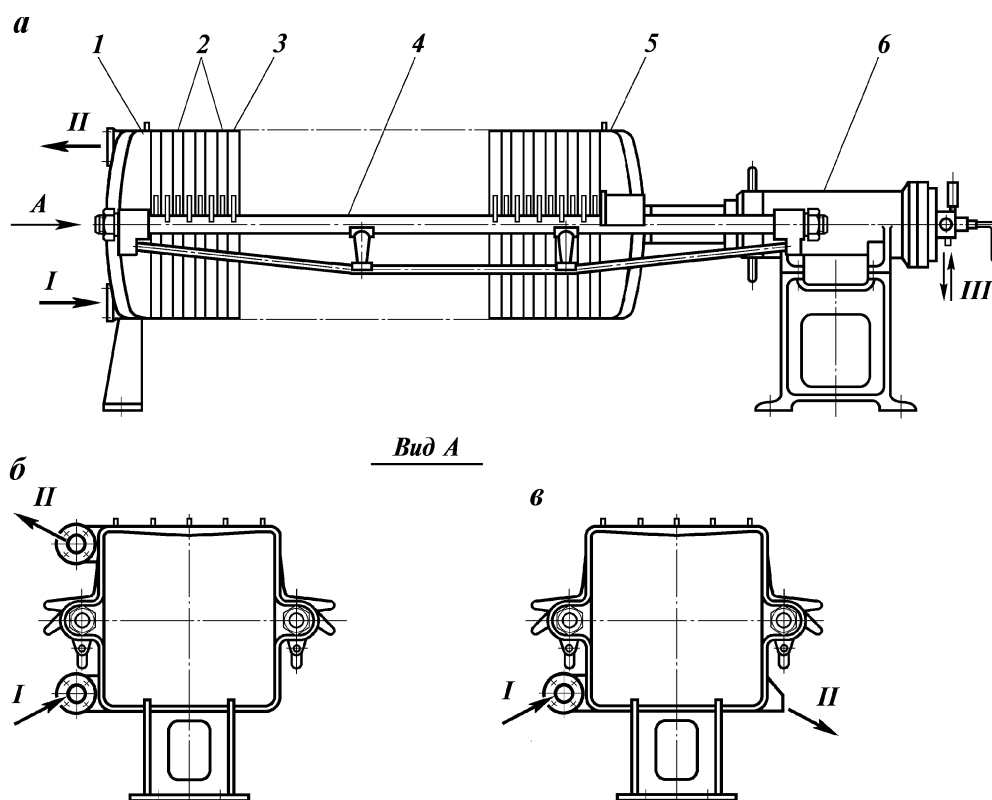


**Рис. XIII-3. Конструкция емкостного фильтра:**

1 — корпус; 2 — рама; 3 — скребки; 4 — разгрузочный люк; 5 — сферическое днище; 6 — перфорированная перегородка; 7 — дренажная сетка; 8 — фильтровальная ткань; 9 — привод механизма выгрузки осадка. Потoki: I — суспензия; II — осадок; III — фильтрат

фильтрата от каждой плиты. Максимальная толщина осадка составляет половину толщины рамы; при этом осадок с обеих сторон рамы сольется и рамы полностью заполнятся осадком.

При необходимости осадок промывают прямоточной или противоточной подачей промывной жидкости (рис. XIII-5). Для прямоточной промывки требуется частичное заполнение рамного пространства осадком. Промывную жидкость подают по каналу для подачи суспензии, а отводят по



**Рис. XIII-4. Конструкция рамного фильтр-пресса:**  
*а* — общий вид; *б* — с закрытым отводом фильтрата; , — с открытым отводом фильтрата;  
*1* — опорная плита; *2* — рама; *3* — плита; *4* — шпренгельная балка; *5* — нажимная плита; *6* —  
 зажимное гидравлическое устройство. Потoki: *I* — суспензия; *II* — фильтрат; *III* — жидкость  
 гидропривода

каналу для фильтрата (рис. XIII-5, *а*). При противоточной промывке промывная жидкость поступает в плиты через одну по специальному каналу, проходит через осадок двойной толщины и через вдвое меньшую площадь, что следует учитывать при расчетах, и отводится из плит через одну также по специальному каналу (рис. XIII-5, *б*).

Для снятия осадка фильтр-пресс раскрывают, отпустив механизм зажима плит, затем плиты и рамы поочередно раздвигают, осадок выгружают, салфетки при необходимости заменяют, и фильтр-пресс готов к следующему циклу фильтрования.

Рамные фильтр-прессы различаются размером и числом рам, площадью фильтрующей поверхности, объемом рамного пространства. Для стандартных фильтр-прессов размеры рам в свету составляют от 315×315 до 1000×1000 мм, число рам колеблется от 10 до 68, их толщина составляет 25 или 45 мм, площадь фильтрующей поверхности изменяется от 2 до 140 м<sup>2</sup>.

**Камерный фильтр-пресс** (рис. XIII-6) состоит из набора вертикально расположенных плит *1*, свободно опирающихся на горизонтальные балки, закрепленные в неподвижной упорной плите и в стойке (на схеме не показаны). Набор фильтрующих плит сжимается механизмом зажима между

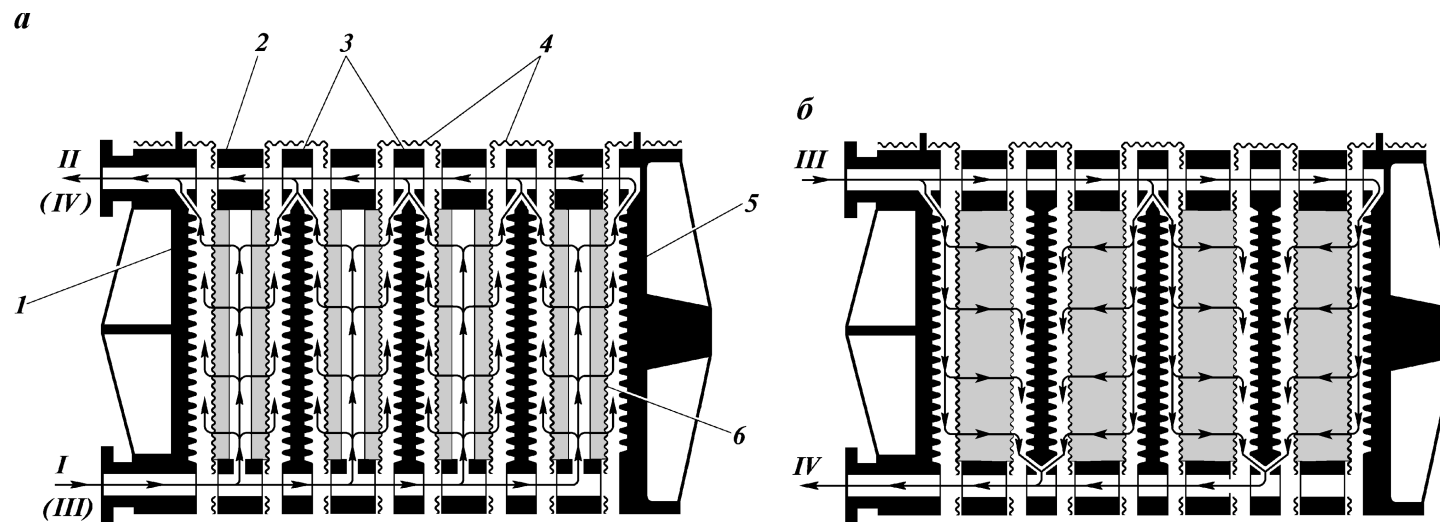


Рис. XIII-5. Схема работы рамного фильтр-пресса:

а - при фильтровании и прямоточной промывке; б - при противоточной промывке: 1 - опорная плита; 2 - рама; 3 - плита; 4 - фильтровальная ткань (салфетки); 5 - нажимная плита; 6 - осадок. Потoki: I - суспензия; II - фильтрат; III - промывная жидкость; IV - промывной фильтрат

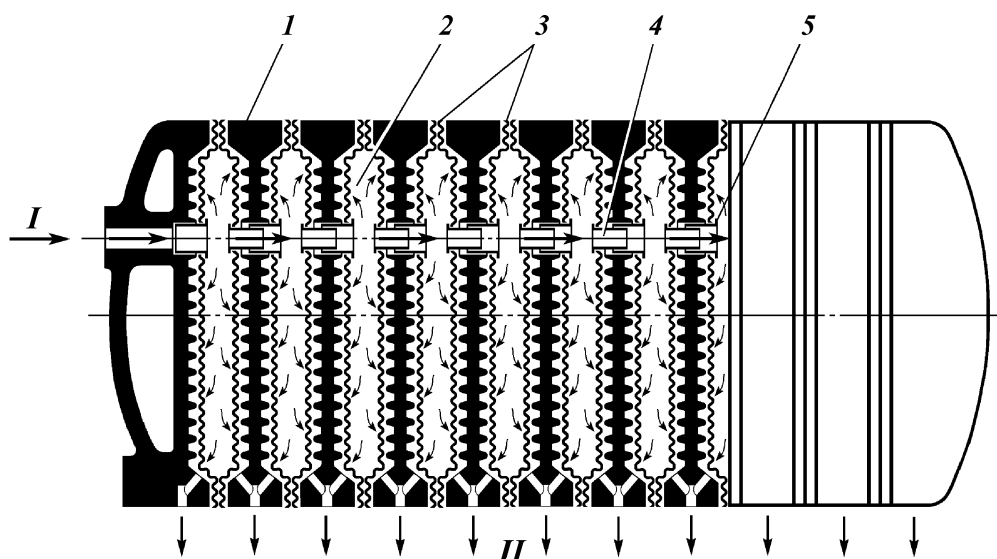


Рис. XIII-6. Схема камерного фильтр-пресса:  
1 — плита; 2 — фильтрующая камера; 3 — фильтровальная ткань (салфетки); 4 — отверстие для подачи суспензии; 5 — уплотнительная втулка. Поток: I — суспензия; II — фильтрат

концевыми плитами — упорной и нажимной. Фильтрующая плита может иметь круглую или прямоугольную форму, поэтому и рифление дренажных поверхностей плиты имеет концентрические или прямоугольные насечки канавок для отвода фильтрата. Углубление дренажной поверхности плиты при зажиме фильтр-пресса образует с каждой последующей плитой фильтрующую камеру 2. Поверхность дренажа и привалки плиты покрывается фильтровальной тканью 3. Ткань стационарно крепится на плите в отверстии подачи суспензии 4 уплотнительными втулками 5.

В процессе фильтрования суспензия заполняет все камерное пространство, твердая фаза задерживается тканью, фильтрат отводится из фильтра через каналы в плите и коллекторы отвода фильтрата, образованные угловыми отверстиями плит. Суспензия поступает в плиту, внутрь растущего слоя осадка, пока осадок полностью не заполнит весь объем камерного пространства плиты. Промывка осадка осуществляется аналогично противоточной промывке осадка рамного фильтр-пресса (см. рис. XIII-5, а). Промывная жидкость подается в плиты под ткань через одну по специальным каналам, проходит через двойную толщину осадка, снова через ткань следующей плиты и далее поступает в коллектор для отвода промывного фильтрата.

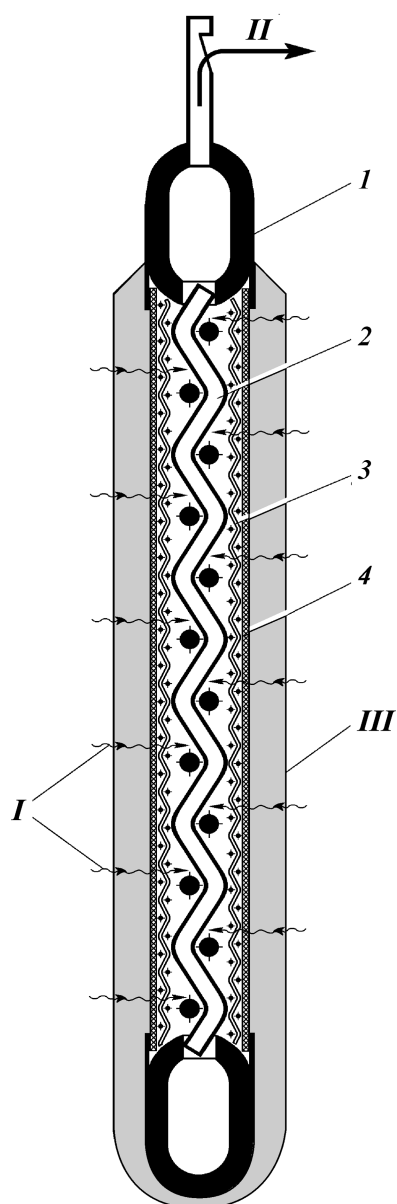
Размер фильтрующих плит, применяемых в промышленности камерных фильтр-прессов, изменяется от 720×720 до 1200×1200 мм, площадь поверхности фильтрования от 16 до 140 м<sup>2</sup>, количество фильтрующих плит от 24 до 67, глубина камер составляет 40 мм.

Наряду с подобными конструкциями камерных фильтр-прессов находят применение более совершенные конструкции автоматизированных камерных фильтр-прессов КМП (К — фильтр-пресс камерный с горизонтальными плитами; М — с механическим отжимом; П — съем осадка с помощью сходящего полотна), у которых все операции автоматизированы.

Рамные и камерные фильтр-прессы периодического действия имеют самый большой срок эксплуатации по сравнению с другим фильтроваль-

ным оборудованием. Они отличаются простотой и надежностью конструкции, компактностью, большой поверхностью фильтрования, приходящейся на единицу занимаемой площади, позволяют эффективно разделять труднофильтрующиеся суспензии, вести фильтрование в диапазоне температур, не доступном для фильтров других конструкций (до 130° С).

Недостаток таких фильтров состоит в использовании ручного труда при разгрузке, а также относительно невысоком допустимом давлении при работе, что обусловлено опасностью нарушения плотности уплотнения в поверхности соприкосновения рам и плит с фильтровальной тканью.



**Рис. XIII-7. Схема фильтрующего листа:**

1 — рамка; 2 — дренажная сетка; 3 — мелкая сетка;  
4 — фильтровальная ткань. Потоки: I — суспензия;  
II — фильтрат; III — осадок

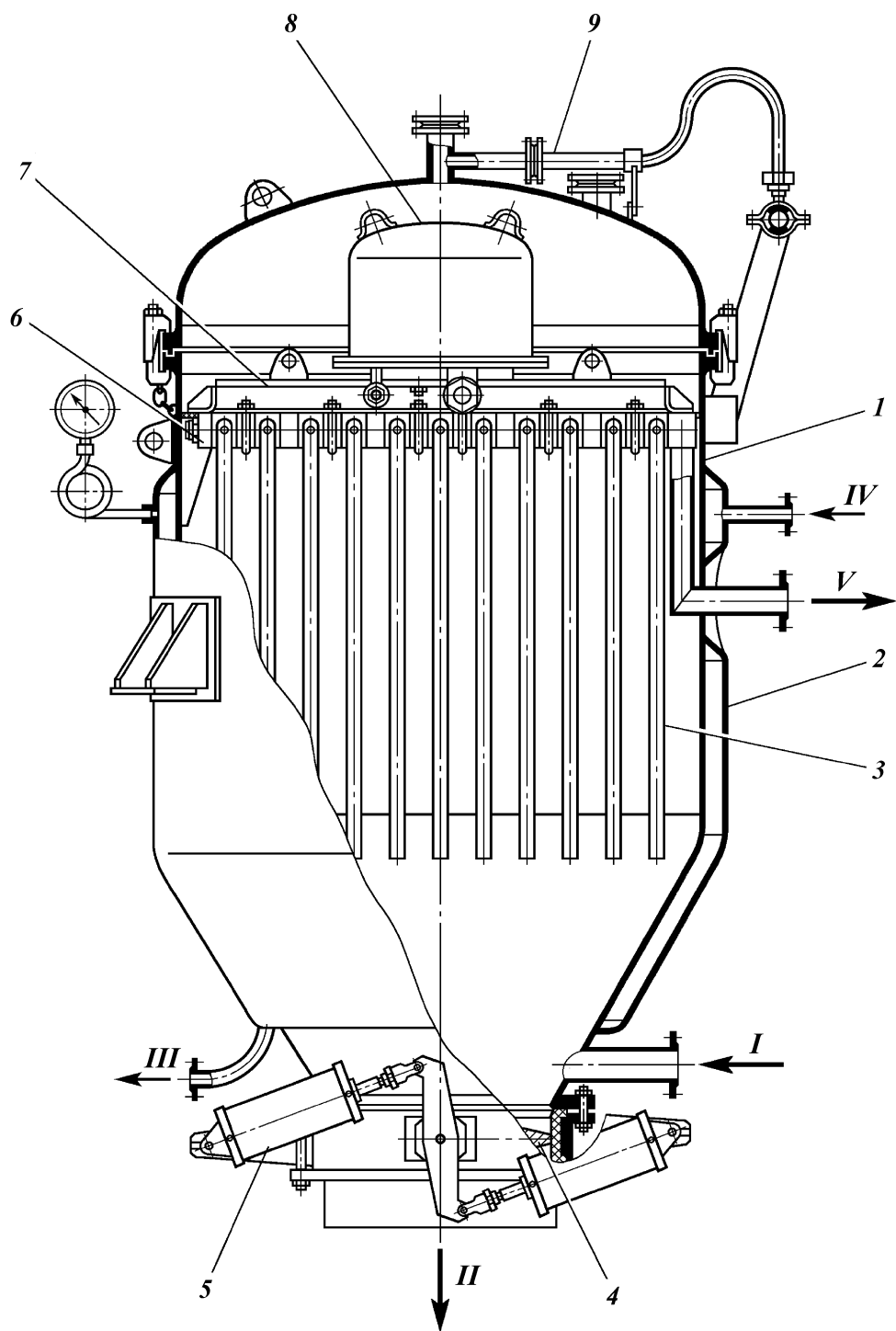
**Листовые фильтры.** В листовых фильтрах суспензия под давлением поступает в горизонтальный или вертикальный корпус фильтра, в котором находятся 20—40 круглых или прямоугольных листов, являющихся самостоятельными фильтровальными элементами. Каждый лист (рис. XIII-7) состоит из рамки 1 с отводным патрубком и дренажной сетки 2, поверх которой с обеих сторон помещена более мелкая фильтровальная металлическая сетка 3 (для фильтрования через намывной слой) и (или) фильтровальная ткань 4 (для фильтрования без намывного слоя). Фильтрование идет снаружи внутрь, пластины обрастают осадком, а фильтрат между сетками проходит к выходным патрубкам и поступает из всех пластин в общий коллектор.

В зависимости от расположения корпуса различают фильтры горизонтальные и вертикальные; по способу выгрузки осадка — фильтры с "мокрой" или "сухой" выгрузкой осадка. При "мокрой" выгрузке осадка его удаляют с фильтровальных листов смыванием жидкостью с помощью вращающейся или неподвижной трубы с насадками, расположенной горизонтально вверху над листами или в середине корпуса. При "сухой" выгрузке осадок с фильтровальных листов удаляют вибрацией.

На рис. XIII-8 представлена конструкция листового фильтра, предназначенного для разделения суспензий полиэфиров и других суспензий повышенной вязкости с применением намывного слоя и "сухим" съемом осадка. Корпус фильтра 1 вертикальный цилиндрический с коническим днищем и паровой рубашкой 2. В корпусе на резиновых амортизаторах установлена траверса 7, на которой закреплен фильтровальный пакет, состоящий из коллектора 6 и набора фильтровальных листов 3. На траверсе для сброса осадка установлено вибрационное устройство 8 в герметичном кожухе. Для выгрузки осадка в нижней части корпуса имеется поворотная заслонка 4 с пневмоприводом 5.

**Барабанный вакуум-фильтр.** Эти аппараты широко применяются на установках депарафинизации масел.

Фильтрующая поверхность (рис. XIII-9) размещена на горизонтальном барабане 3, который медленно вращается на двух цапфах от привода 1. На боковой поверхности барабана крепится металлическая сетка и фильтровальная ткань 4, обмотанная проволокой в направлении по спирали. Изнутри по образующим фильтрующая поверхность разделена продольными перегородками на отдельные секции. Число секций 12÷32. Каждая из секций соединена отводными трубками 5 с вращающимся диском 7, укрепленным на цапфе. Число отверстий в диске равно числу секций барабана. К диску прижата пружинами неподвижная распределительная головка со сменным диском 8. Распределительная головка разделена на три камеры, соответствующие основным стадиям процесса: фильтрации, промывке, продувке. Каждая камера имеет штуцер и через кольцевую прорезь в сменном диске 8 распределительной головки сообщается с соответствующим участком фильтрующей поверхности. Нижняя часть барабана погружена в суспензию, которая подается в корыто. Угол, соответствующий погруженной в суспензию фильтрующей поверхности, составляет 120÷150°. Над барабаном установлен коллектор 6 для подачи промывной жидкости. Сбоку размещен нож для срезания осадка и шнек для удаления осадка из фильтра. Барабанные вакуум-фильтры изготавливают в левом и правом исполнении. При левом исполнении шнек расположен с левой стороны и барабан вращается против часовой стрелки, если смотреть на фильтр со сто-





**Рис. XIII-8. Конструкция листового фильтра:**

1 — корпус; 2 — паровая рубашка; 3 — фильтровальный лист; 4 — поворотная заслонка; 5 — пневмопривод; 6 — коллектор; 7 — траверса; 8 — вибрационное устройство; 9 — линия подачи азота в корпус фильтра. Потоки: I — суспензия; II — осадок; III — конденсат; IV — водяной пар; V — фильтрат

роны привода; при правом исполнении — с правой стороны и барабан вращается по часовой стрелке.

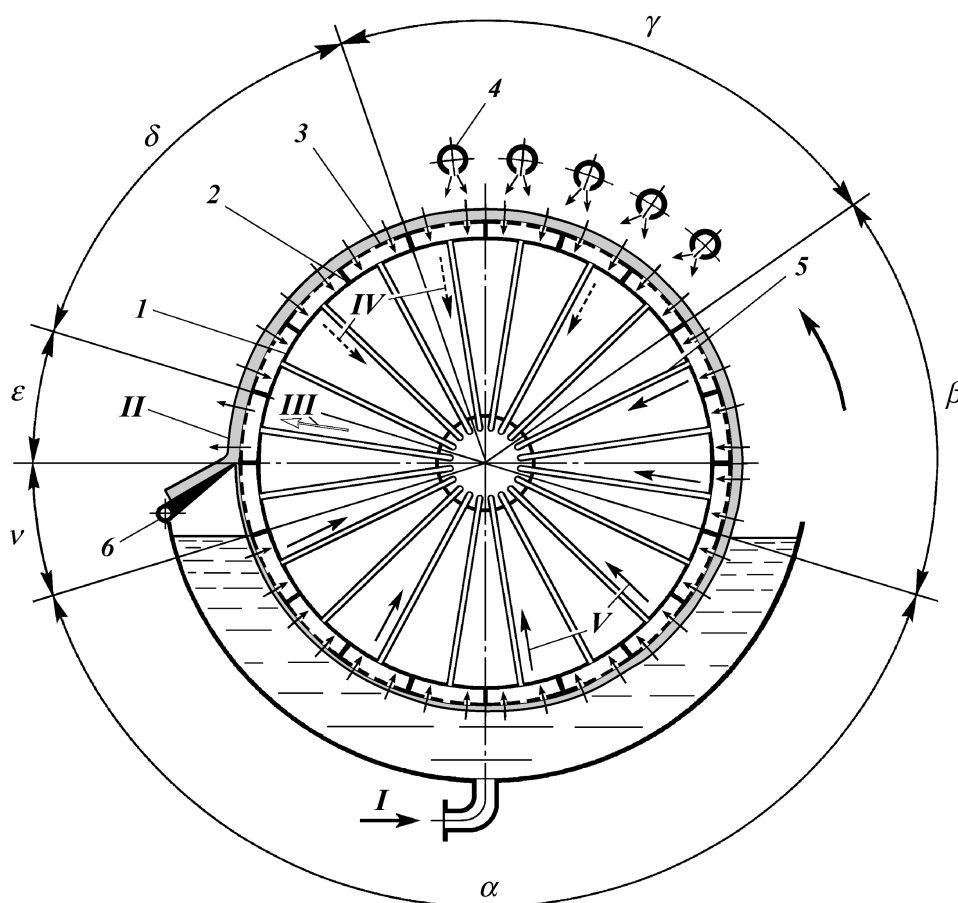
Барабанный вакуум-фильтр работает следующим образом: каждая секция барабана при его вращении погружается в суспензию (рис. XIII-10). При этом через отводную трубку, отверстия в диске цапфы (рис. XIII-11, а) и окно 2 в диске распределительной головки (рис. XIII-11, б) секция сообщается с источником вакуума.

Фильтрация происходит под влиянием разности давлений в корпусе фильтра и во внутренней части секций. На процесс фильтрования затрачивается время, в течение которого данная секция погружена в суспензию, а соединенное с ней отверстие в диске цапфы скользит вдоль окна 2 диска распределительной головки. При повороте секции вместе с барабаном против часовой стрелки на ее поверхности образуется слой осадка. Фильтрат через отводную трубку и распределительную головку отводится в сборник фильтрата. Когда секция выходит из слоя суспензии, она еще соединена с окном 2 и вакуум под фильтровальной перегородкой сохраняется, а осадок сушится потоком газа, который просасывается из корпуса фильтра через осадок. При дальнейшем вращении барабана секция соединяется с более коротким окном 4 (рис. XIII-11, в). При этом секция оказывается под вакуумом, который поддерживается в сборнике для промывной жидкости. Разбрызгиваемая из коллектора промывная жидкость проходит через осадок, вытесняя находящийся там фильтрат, затем осадок вновь просушивается проходящим через него потоком газа, при этом секция соединяется с отверстием 3, служащим для подвода газа отдувки под избыточным давлением. Осадок отделяется от поверхности барабана и снимается ножом. После всех этих операций, пройдя мертвую зону, данная секция вновь перемещается в зону фильтрации.

Таким образом, в каждый момент времени около трети всех секций барабана соответственно углу  $\alpha$  (см. рис. XIII-10 и 11) фильтруют, на нескольких секциях осадок подсушивается (угол  $\beta$ ), промывается (угол  $\gamma$ ), вновь подсушивается (угол  $\delta$ ), а в одной-двух секциях находится в состоянии отдувки (угол  $\epsilon$ ) и в мертвой зоне (угол  $\nu$ ). В каждой отдельной секции фильтрование протекает периодически, в целом же фильтр дает фильтрат непрерывно.

В тех случаях, когда фильтрат и промывная жидкость отличаются высокой летучестью и при смешении с воздухом могут образовывать взрывчатую смесь, вращающийся барабан устанавливают в герметичном корпусе, заполненном инертным газом под небольшим избыточным давлением; газ циркулирует в замкнутой системе, что позволяет улавливать летучую жидкость (растворитель) и сократить ее потери.

На рис. XIII-12 представлена принципиальная схема установки барабанного вакуум-фильтра, используемого при депарафинизации масляного сырья. Фильтр работает при минусовых температурах, при которых парафин находится в кристаллическом состоянии и поэтому может быть задержан фильтрующей перегородкой.



**Рис. XIII-10. Схема работы барабанного вакуум-фильтра:**

1 — барабан; 2 — продольные перегородки; 3 — фильтровальная ткань; 4 — коллектора для подачи промывной жидкости; 5 — отводные трубки. Потoki: I — суспензия; II — осадок; III — газ отдувки; IV — промывной фильтрат; V — фильтрат

Чтобы уменьшить вязкость суспензии и повысить селективность кристаллизации парафинов и размеры кристаллов, сырье разбавляют специальной смесью растворителей. При этом над суспензией находятся пары этих растворителей, поэтому фильтрование ведут в атмосфере инертного газа, чтобы избежать образования взрывоопасных смесей с воздухом; в целях уменьшения его расхода инертный газ возвращается на рециркуляцию. Промывку осадка (гача) ведут смесью тех же растворителей.

В вакуум-сборниках 4 и 6 фильтрат (раствор масла) и промывная жидкость отделяются от инертной парогазовой смеси, а последняя, пройдя через каплеотбойники 5, всасывается вакуум-компрессором 8 и подается под крышку корпуса фильтра, а также через распределительную головку в секцию отдувки осадка.

Генератор инертного газа 7 служит для заполнения газом системы и для пополнения потерь газа. Уровень суспензии в корыте фильтра поддерживается постоянным при помощи регулятора 2, воздействующего на кла-

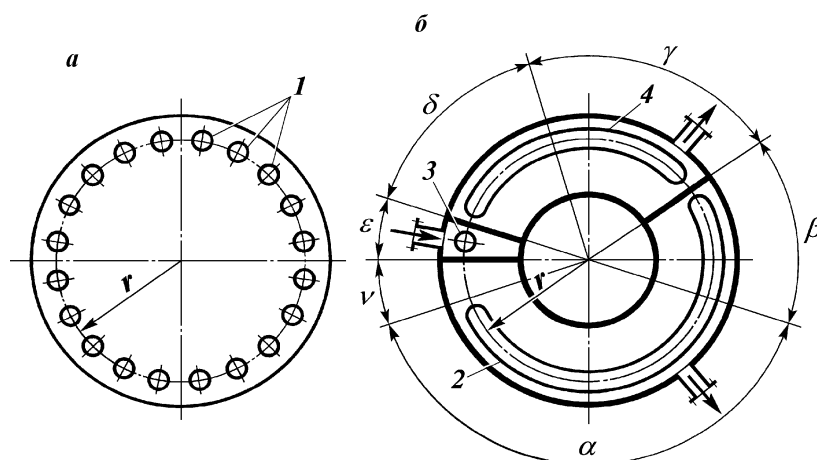


Рис. XIII-11. Схема распределительной головки барабанного вакуум-фильтра:  
 † — вращающийся диск цапфы; · — диск распределительной головки; 1 — отверстия для присоединения отводных трубок; 2 — окно для отвода фильтрата; 3 — отверстие для подвода газа отдувки; 4 — окно для отвода промывного фильтрата

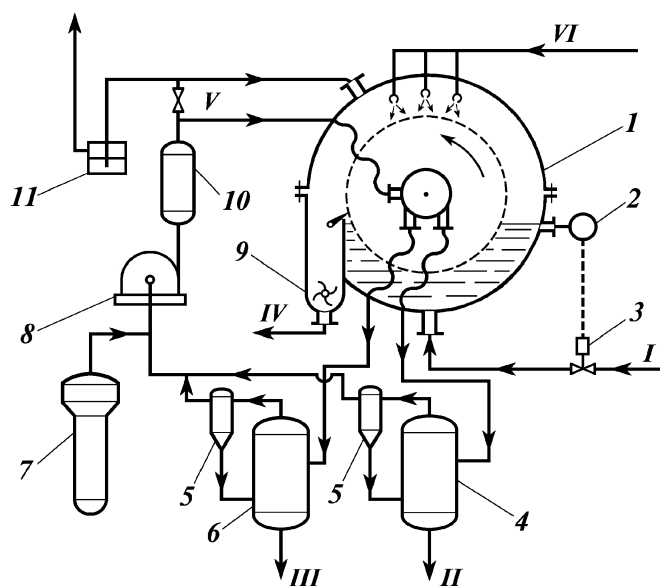


Рис. XIII-12. Схема установки герметизированного барабанного вакуум-фильтра:  
 1 — фильтр; 2 — регулятор уровня; 3 — регулируемый клапан; 4 — вакуум-сборник; 5 — каплеотбойник; 6 — вакуум-сборник промывного фильтрата; 7 — генератор инертного газа; 8 — вакуум-компрессор; 9 — шнек; 10 — холодильник; 11 — гидравлический затвор. Потoki: I — суспензия; II — фильтрат; III — промывной фильтрат; IV — осадок (гач); V — инертный газ; VI — промывная жидкость

пан 3 на линии ввода суспензии в фильтр. Гидравлический масляный затвор 11 служит для предохранения установки от чрезмерного роста перепада давления после вакуум-компрессора, на которое не рассчитан корпус фильтра.

Подобные барабанные вакуум-фильтры применяются также при обезмасливании парафинов и церезинов.

## СХЕМА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА ФИЛЬТРА

Схема и последовательность расчета фильтра в значительной степени зависят от его типа и конструкции, а также от режима фильтрования. Рассмотрим последовательность расчета применительно к описанным выше конструкциям фильтров периодического и непрерывного действия.

Для данной суспензии при известном объемном содержании осадка  $\alpha$  по опытным или производственным данным принимают значения сопротивлений  $R_{\phi}$  и  $r_0$ .

**Фильтры периодического действия.** Как было показано выше, их эксплуатация возможна при двух режимах.

А. Режим  $\Delta p = \text{const}$ .

При этом режиме:

- 1) задаются толщиной осадка  $h$ ;
- 2) определяют по уравнению (XIII.7) продолжительность фильтрования  $\tau_{\phi}$ ;
- 3) находят объем фильтрата  $V_1$ , полученного за одну операцию с 1 м<sup>2</sup> поверхности фильтра при объеме осадка  $\alpha \cdot h$ :

$$V_1 = \frac{\alpha \cdot h}{\alpha};$$

- 4) рассчитывают конечную скорость в конце фильтрования по уравнению (XIII.12) и постоянную скорость промывки  $\dot{V}_{\text{пр}}$  по уравнению (XIII.13);

- 5) при известном из опыта расходе промывной жидкости  $V_{\text{пр}}$  определяют продолжительность промывки

$$\tau_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} / C_{\text{пр}};$$

- 6) оценив время, затрачиваемое на разгрузку и сборку фильтра,  $\tau_0$ , определяют полную продолжительность одной операции

$$\Sigma \tau = \tau_{\phi} + \tau_{\text{пр}} + \tau_0;$$

- 7) находят число операций в сутки

$$Z = \frac{24 \cdot 3600}{\Sigma \tau};$$

- 8) рассчитывают производительность 1 м<sup>2</sup> фильтра в сутки

$$V'_{\text{сут}} = V_1 Z.$$

После этого по заданной производительности рассчитываемой фильтровальной установки  $V_{\text{сут}}$  находят требуемую общую поверхность фильтрования  $F = V_{\text{сут}} / V'_{\text{сут}}$  и подбирают по каталогам размер и число фильтров.

Б. Режим  $\dot{V} = \text{const}$ .

При этом режиме расчет фильтрования следует вести, ориентируясь на фильтр определенного типа и размера, имеющий известную площадь поверхности  $F$ , и на поршневой или плунжерный насос с определенной подачей  $V_n$ , м<sup>3</sup>/ч; задаются также предельным перепадом давления  $\Delta p$ , соответствующим конструкции фильтра и насоса.

Затем выполняют следующие расчетные операции:

- 1) находят скорость фильтрования

$$C = \frac{V_n}{3600 \cdot F};$$

2) определяют продолжительность фильтрования  $\tau_{\phi}$  по уравнению (XIII.11);

3) рассчитывают толщину осадка

$$h = Cx\tau_{\phi};$$

4) находят, как и для режима  $\Delta p = \text{const}$ , следующие параметры: продолжительность промывки

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{пр}}}{FC},$$

продолжительность полной операции

$$\sum \tau = \tau_{\phi} + \tau_{\text{пр}} + \tau_0,$$

число операций в сутки

$$Z = \frac{24 \cdot 3600}{\sum \tau};$$

5) рассчитывают производительность фильтра за одну операцию, зная производительность насоса,

$$V_1 = V_n \frac{\tau_{\phi}}{3600};$$

6) определяют суточную производительность данного фильтра по объему суспензии

$$V'_{\text{сут}} = V_1 Z.$$

**Фильтры непрерывного действия.** При расчете непрерывно действующих вакуум-фильтров учитывают, что для любого элемента поверхности аппарата длительность фильтрования равна продолжительности прохождения этим элементом пути внутри суспензии в корыте (продолжительность погружения), а также то, что за каждый полный оборот барабана на всей поверхности произойдут все операции — фильтрование, промывка, сушка и снятие осадка. Задаваясь толщиной осадка (обычно не менее  $4 \div 10$  мм), по уравнению (XIII.7) находят продолжительность погружения в суспензию  $\tau_{\phi}$ , затем время  $\tau$ , затрачиваемое на полный оборот барабана:

$$\tau = \tau_{\phi} \frac{360}{\alpha}, \quad (\text{XIII.15})$$

где  $\alpha$  — угол погружения, град. (см. рис. XIII-10, 11).

Далее определяют число оборотов барабана в секунду

$$n = 1/\tau,$$

съем фильтрата с  $1 \text{ м}^2$  поверхности фильтра за один оборот

$$V_{01} = h/x$$

и, наконец, производительность фильтра, приходящуюся на 1 м<sup>2</sup> поверхности за 1 с:

$$V_1 = V_{01}n.$$

Если  $V$  — заданная производительность по фильтрату в 1 с, то требуемая площадь поверхности фильтра составит

$$F = V/V_1.$$

Расчет промывки сводится к сопоставлению расчетной продолжительности промывки, вычисленной при выбранном расходе промывной жидкости, с фактической, определяемой согласно углу промывки  $\gamma$  (см. рис. XIII-10, 11) и времени, затрачиваемому на полный оборот барабана  $\tau$ , по уравнению (XIII.15):

$$\tau_{\text{пр}} \leq \tau\gamma / 360.$$

## ОБЪЕМОМЪ АЛІ ЕА ААСІ А

Для очистки газов от пыли фильтрованием наибольшее применение получили тканевые фильтры и, в частности, рукавные или мешочные (рис. XIII-13).

При помощи рукавных фильтров можно достигнуть высокой степени очистки газа, например, обеспечить содержание пыли в очищенном газе 5 мг/м<sup>3</sup> и менее.

Рукавные фильтры, в частности, применяются для улавливания технического углерода из продуктов сгорания углеводородного газа (производство сажи).

Рукавный фильтр смонтирован в прямоугольной или цилиндрической камере 1, снабжен бункером 4 для пыли и горизонтальной перегородкой 3 с патрубками, на которые надеваются нижние открытые концы тканевых рукавов 7. Сверху каждый рукав закрыт крышкой 8 с крючком для подвески на общей раме 9, которая сама подвешена на стержне, проходящем через крышку камеры и имеющем пружинную опору 11.

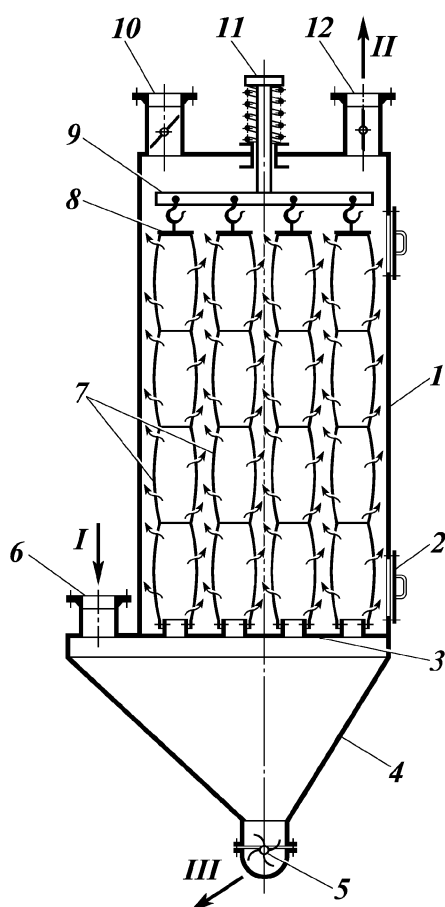
Запыленный газ через штуцер 6 поступает под перегородку, входит во все рукава и фильтруется через ткань изнутри наружу, оставляя пыль на внутренней поверхности рукавов.

Далее газ уходит через штуцер 12 в крышке камеры. Для очистки фильтра специальный распределительный механизм, смонтированный на его крышке, отключает газ путем поворота заслонки в выходном штуцере и производит встряхивание рукавов, приводящее к опаданию пыли в бункер.

Если применена толстая ворсистая ткань, то для удаления пыли, проникшей внутрь ткани, применяется обратная продувка рукавов снаружи внутрь воздухом или чистым газом, подаваемым через продувочный штуцер 10.

Чтобы не прерывать очистки газов, предусматривают секционирование рукавных фильтров; обычно число рукавов в одной секции составляет 12÷25. Запыленный газ из общего коллектора поступает параллельно во все секции и после очистки собирается в коллекторе чистого газа. Отдельные секции выключаются для встряхивания, производимого поочередно в равные промежутки времени, причем остальные секции в это время работают с перегрузкой; если применяется обратная продувка, то продувочный газ может быть взят из коллектора чистого газа, а после продувки сброшен в коллектор запыленного газа и должен пройти новую фильтрацию в остальных работающих секциях.

Как правило, фильтрование газа осуществляется по режиму с постоянной скоростью; увеличение перепада давления, зависящее от количества



**Рис. XIII-13. Схема рукавного фильтра:**  
 1 — корпус фильтра; 2 — люк-лаз; 3 — перегородка; 4 — бункер для пыли; 5 — шнек; 6 — штуцер для ввода газа; 7 — фильтровальный рукав; 8 — крышки рукавов с крючками; 9 — рама подвеса рукавов; 10 — штуцер обратной продувки; 11 — стержень подвеса рамы с пружинной опорой; 12 — штуцер для выхода газа.  
 Поток: I — запыленный газ; II — очищенный газ; III — пыль

отложившейся пыли, определяет промежутки времени между встряхиванием рукавов.

Рукавные фильтры рассчитывают по выбранной скорости фильтрования  $\dot{V}$ , которая зависит от плотности и запыленности газа и составляет  $0,01 \div 0,06 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ . Тогда

$$F = V / C,$$

где  $V$  — объем очищаемого газа,  $\text{м}^3 / \text{с}$ .

Число рукавов

$$Z = \frac{F}{\pi d l},$$

где  $d$  и  $l$  — соответственно диаметр и длина рукава.