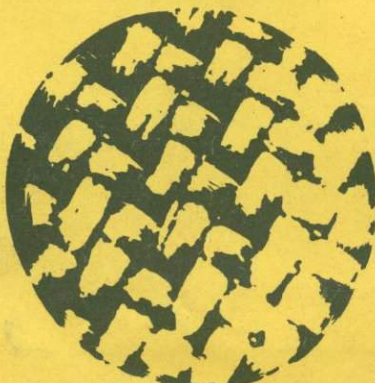
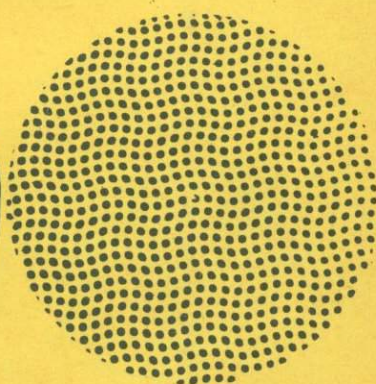


И. К. СКОБЕЕВ

Фильтрующие материалы



И. К. СКОБЕЕВ

ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

2880



МОСКВА «НЕДРА» 1978



Скобеев И. К. Фильтрующие материалы. М., Недра, 1978. 200 с.

В книге рассмотрены физико-механические и фильтрующие свойства отечественных и зарубежных тканевых и нетканевых фильтрующих материалов. Дан анализ проницаемости, тонкости фильтруемого материала, устойчивости ткани против засорения, а также обоснованному выбору тканей для фильтрования различных суспензий. Обобщены исследования и промышленная практика по эксплуатации фильтровальных материалов и по использованию их для очистки сточных и оборотных вод.

Книга предназначена для инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, обогатительных фабрик, металлургических и химических заводов, а также может быть полезна студентам вузов.

Табл. 46, ил. 66, список лит.— 89 назв.

Фильтрации подвергаются значительные объемы минеральных и других технических суспензий, а также запыленных газов и воздуха. Важной принадлежностью фильтра является фильтрующий материал, оказывающий существенное влияние на качество фильтрации и на производительность аппарата.

Фильтрующий материал служит пористой основой фильтра, которая в процессе фильтрации суспензии пропускает дисперсионную среду и задерживает дисперсную фазу, разделяя основные продукты фильтрации. Роль фильтрующего материала особенно велика в начальный период фильтрации, когда идет отложение первых слоев осадка. В последующем формирующийся осадок принимает на себя основные функции пористой основы фильтра, которая теперь служит опорой для этого осадка и предотвращает вынос (суффозию) дисперсных фракций из осадка в сборники для фильтрата.

Фильтрующий материал оказывает гидравлическое сопротивление фильтрационному потоку, с увеличением которого при засорении пористой основы существенно снижается производительность фильтра. Свойства фильтрующего материала должны соответствовать характеру фильтруемой суспензии. Неправильно выбранный фильтрующий материал снижает технико-экономические показатели работы фильтра.

При фильтрации минеральных и других суспензий в качестве фильтрующего материала применяют главным образом фильтровальные ткани. Расширяется и область применения других фильтрующих материалов.

В настоящее время повышается интерес к использованию нетканевых фильтрующих материалов: текстильных, керамических, намывных, мембранных и других пористых сред.

В соответствии с задачами фильтрации фильтрующий материал должен обеспечивать: достаточную задерживающую способность по отношению к дисперсной фазе; небольшое гидравлическое сопротивление при фильтрации; длительный срок службы, обусловленный механической прочностью и устойчивостью при работе в агрессивной среде; минимальное сцепление с осадком за счет прилипания, необходимое только для его удержания при формировании, но не оказывающее значительного препятствия полному съему сформированного осадка с фильтрующей поверхности; устойчивость против засорения пор и легкую очистку (регенерацию проницаемости); удобство в обращении в смысле простоты закрепления его на опорах фильтра и быстроты замены; невысокую стоимость.

Трудно подобрать фильтрующий материал, удовлетворяющий всем перечисленным требованиям. В конкретных условиях фильтрации может приобрести особое значение удовлетворение одного или двух из числа перечисленных требований, которые и становятся определяющими при выборе наиболее подходящего фильтрующего материала.

Фильтрующие материалы по своей природе, структуре и фильтрующим свойствам можно разделить на следующие группы:

фильтровальные ткани — из органических волокон (природных и синтетических); из неорганических волокон (стеклянных и асбестовых) и металлической проволоки;

нетканые волокнистые среды — целлюлозные (текстильные), асбестоцеллюлозные, бумажные и шерстяные (фетры);

резиновые фильтросетки (перфорированные и микропористые — губчатые);

намывные фильтрующие слои — зернистые и волокнистые;

насыпные фильтрующие слои — мелко- и крупнозернистые, в том числе зернистые нонитовые;

жесткие фильтрующие материалы — керамические, металло-керамические и пористые пластины (металлические и полимерные);

фильтрующие мембраны — полимерные (обратноосмотические — гипер-ультрафильтры), асбестовые и металлические (ультрапористые).

Разработаны новые фильтрующие материалы, позволившие повысить технико-экономические показатели разделения суспензий, очистки воды, растворов и промышленных стоков, а также для обеспыливания воздуха и промышленных газов.

Автор приносит благодарность канд. техн. наук А. И. Рафиненко за ценные замечания, способствовавшие улучшению содержания книги.

Все замечания и пожелания по улучшению книги будут приняты автором с благодарностью.

ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ

1.1. СТРОЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

1.1.1. ПРЯЖА ДЛЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Для изготовления хлопчатобумажных фильтротканей применяют пряжу из хлопка кордного прочеса. Для характеристики толщины волокна и крученой нити служит метрический номер N , определяемый отношением длины нити в метрах к ее массе в граммах. В настоящее время взамен номера нити введена новая единица — текс (T), определяемая отношением массы нити (волокна) m в граммах к ее длине L в километрах. Для перевода номера волокна в тексы служит формула

$$T = \frac{1000}{N}. \quad (1)$$

Чем тоньше пряжа, тем выше ее номер и меньше текс. Диаметр d нити, из которой соткана фильтроткань, можно рассчитывать по ее метрическому номеру (N) или по величине текс (T)

$$d = \frac{K}{\sqrt{N}} = \frac{KV\bar{T}}{31,7}, \quad (2)$$

где K — коэффициент, равный для хлопчатобумажной ткани 1,24—1,26 и для шерстяной — 1,36.

Номер крученой пряжи обозначают в виде дроби: числитель показывает номер отдельной нити, а знаменатель — число нитей в пряди (стренге). Фильтроткани, употребляемые для фильтрации рудных пульп, ткют преимущественно из пряжи низких номеров. Например, для фильтродиagonали применяют пряжу N 20/5, следовательно, пряжа скручена из первичных нитей № 20 и состоит из 5 сложений. Прочность фильтроткани возрастает с увеличением числа сложений и коэффициента крутки n . Чем выше крутка пряжи, тем больше сила трения, возникающая между волокнами и тем лучше используется механическая прочность волокон нити. Пряжа, одинаково закрученная, имеет и одинаковый угол подъема витка, что приводит к следующей зависимости между числом витков или коэффициентом крутки n и номером пряжи N :

$$n = \alpha \sqrt{N}, \quad (3)$$

где α — константа.

Чем выше номер пряжи, тем больше витков сделают волокна в процессе прядения. Например, при $\alpha=4$ волокна одинаковой длины в пряже № 7 будут иметь витков приблизительно вдвое меньше, чем в пряже № 24. Поэтому бельтинговая прядь № 7/6 оказывается слабее аналогичной пряди № 24/19. Филтробельтинг, сотканный из пряжи № 7/6, имеет массу 1 м^2 850 г и прочность по основе 280 кгс на 50 мм ширины, а филтробельтинг из пряжи № 24/19 получается легче по массе 1 м^2 — 760 г и прочнее — 320 кгс. В последнем случае благодаря более высокой крутке волокна в пряже используются лучше. Из высоких номеров пряжи получают прочные филтроткани.

Синтетические волокна для филтротканей получают в виде очень длинных нитей — филаментного волокна или коротких отрезков — штапельного волокна. Филаментная нить состоит из большого числа скрученных тонких волокон. Употребляют также монофиламентную нить, состоящую из одного элементарного волокна (моноволокно). Диаметр моноволокна (лески) обычно порядка 50 мкм и больше.

1.1.2. СТРОЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Важными показателями, определяющими физические, химические и эксплуатационные свойства филтротканей, являются их пористость, тип переплетения, природа и длина волокон, а также толщина и степень крутки нитей и число их на единице площади.

При изготовлении филтровальных тканей применяют следующие три главных переплетения основных (продольных) и уточных (поперечных) нитей: полотняное (гарнитуровое), саржевое и сатиновое (атласное) (рис. 1). Наименьшее число нитей, после которого повторяется порядок переплетения, называется раппортом (R). Для главных переплетений раппорт по основе равен раппорту по утку. Полотняное переплетение с величиной раппорта, равной 2 (рис. 1, а), имеют следующие ткани, употребляемые для фильтрации: филтробельтинг, филтромиткаль, суровая бязь, стеклоткани и некоторые филтроткани из синтетических волокон. Эти ткани имеют проходные поры, приближающие к квадратной форме. Филтроткани с полотняным переплетением проявляют сравнительно высокую задерживающую способность по отношению к дисперсной взвеси (тонкость фильтрации), но имеют повышенное гидравлическое сопротивление и проницаемость их в процессе фильтрации недостаточно регенерируется при обратной продувке воздухом.

Большинство филтровальных тканей имеют саржевое переплетение с величиной раппорта $R \geq 3$ (рис. 1, в). Саржевое переплетение имеют некоторые хлопчатобумажные и многие синтетические, стеклянные и проволочные филтроткани. Например, филтродиагональ, филтрофланель, байка являются про-

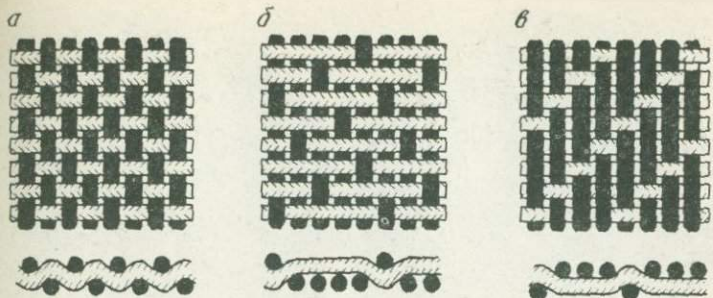


РИС. 1. ТИПЫ ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ ТКАНЕЙ;
 а — полотняное; б — сатиновое; в — сарже-
 вое 3/1

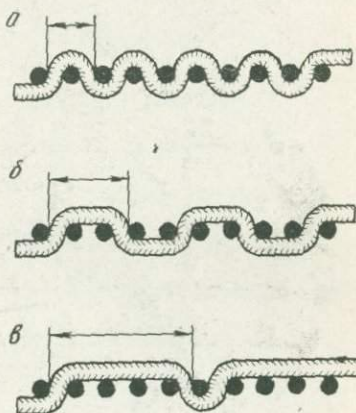


РИС. 2. ДЛИНА ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ РАЗ-
 НЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЯХ:
 а — полотняном; б — саржевом 1/2; в — сати-
 новом 1/5

изводными саржевого переплетения. Диагональю называют «крутую» саржу с увеличенным сдвигом. Киперные проволочные фильтровые сетки также имеют саржевое переплетение. Нити в саржевом переплетении достаточно подвижны для обеспечения эффективной очистки в процессе текущей регенерации, но наряду с этим обеспечивается и высокая износоустойчивость ткани. На рубчиковой поверхности саржевой ткани, особенно диагонали, имеются миниатюрные бороздки, служащие для стока фильтрата, что благоприятно влияет на пропускную способность ткани. Саржевые ткани уступают полотняным по тонкости фильтрации. Такие ткани по сравнению с полотняными менее пригодны для экипировки фильтров, в процессе работы которых ткань подвергается одностороннему растяжению (барабанные фильтры со сходящей тканью, автоматические фильтрпрессы ФПАКМ). Для экипировки этих фильтров применяют полотняные ткани.

Для сатинового переплетения (рис. 1, б) характерна большая величина ($R \geq 5$). Такое переплетение имеют домestik, кембрик и отдельные ткани из стекловолокна, применяемые для фильтрации. Сатиновые ткани имеют гладкую поверхность,

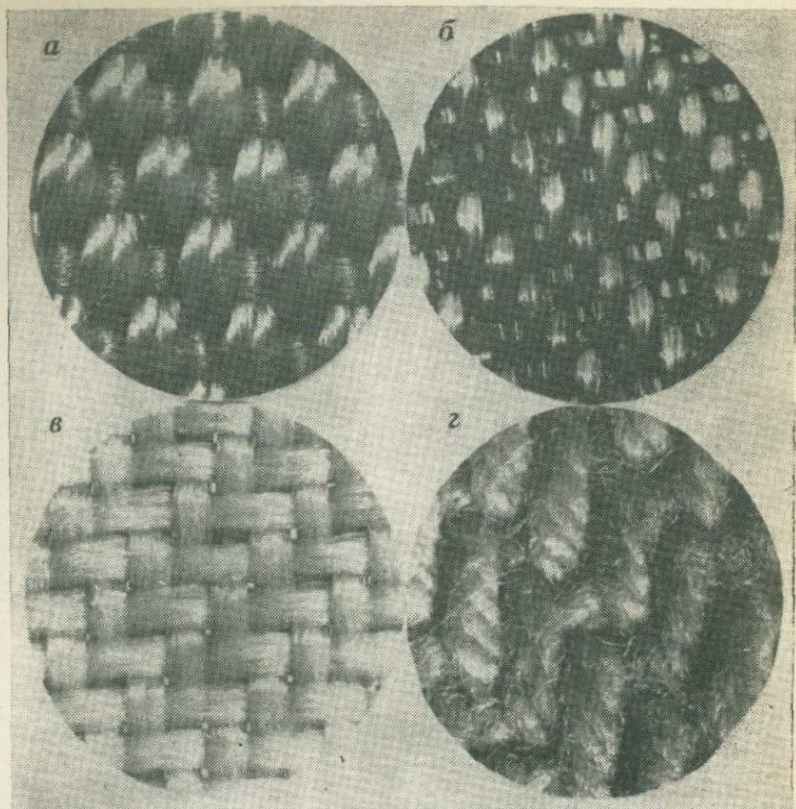


РИС. 3. МИКРОФОТОГРАФИИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ Х42:
 а — капроновое полотно арт. 1545; б — полипропиленовая саржа арт. 23273; в — полипропиленовая саржа арт. 24296; г — хлопковая фильтродиагональ арт. 2074

они по прочности и тонкости фильтрации уступают саржевым и полотняным тканям. Строение и вид переплетения фильтроткани существенно влияют на ее свойства. Например, имеет значение длина основных и уточных перекрытий (рис. 2). Сопротивление при растяжении и жесткость ткани возрастают с уменьшением длины перекрытия благодаря увеличению количества связей между нитями основы и утка на единице длины ткани.

На рис. 3 приведены микрофотографии фильтротканей, применяемых для фильтрации минеральных суспензий. Задерживающая способность фильтротканей по отношению к взвеси зависит не только от размеров и формы проходных отверстий, но и от ворсистости нитей. Например, проходные поры фильтротканей из хлопковых волокон заполнены ворсом и не являются совершенно открытыми (рис. 3, г), благодаря чему хлопчатобумажные ткани при одинаковой плотности с тканями из гладких

волокон (синтетических, проволочных) выдают более чистые фильтраты. Однако наличие ворса способствует засорению фильтроткани и увеличению ее гидравлического сопротивления. Ворсистость имеют и нити фильтроткани из синтетических штапельных волокон.

1.1.3. ПОРИСТОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ ЗАПОЛНЕНИЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Общая пористость ткани складывается из проходных (сквозных) пор между нитями основы и утка и межволоконных пор, находящихся в промежутках между волокнами нитей основы и утка. Иногда выделяют еще и поверхностные поры, расположенные на поверхности ткани в углублениях, образуемых изгибами основных и уточных нитей. Общую пористость ткани рассчитывают по формуле

$$m_o = \frac{\delta - \gamma_m}{\delta} 100\%, \quad (4)$$

где δ — плотность волокна, г/см^3 , γ_m — объемная масса волокна, г/см^3 .

Пористость нитей ткани определяется отношением

$$m = \frac{\delta - \gamma}{\delta} 100\%, \quad (5)$$

где γ — объемная масса крученых нитей (для хлопка $\delta = 1,5 \text{ г/см}^3$ и $\gamma \approx 0,8$).

Под степенью заполнения ткани по основе или утку подразумевают отношение площади проекций нитей соответственно основы или утка по всей площади ткани. В соответствии с элементом строения ткани (рис. 4) степень ее заполнения по основе φ_o и по утку φ_y определяется отношениями

$$\varphi_o = \frac{d_o}{1/P_o} = d_o P_o; \quad (6)$$

$$\varphi_y = \frac{d_y}{1/P_y} = d_y P_y, \quad (7)$$

где d_o и d_y — диаметр нитей соответственно основы и утка; P_o и P_y — число нитей соответственно основы и утка на единицу длины.

Общая степень заполнения ткани определяется отношением площади проекций основы и утка ко всей площади ткани:

$$\varphi = \varphi_o + \varphi_y - \varphi_o \varphi_y. \quad (8)$$

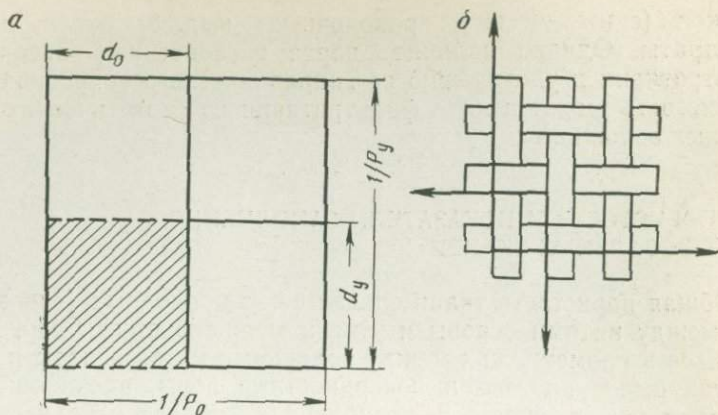


РИС. 4. СХЕМА ЭЛЕМЕНТА СТРОЕНИЯ ТКАНИ:

а — расчетная схема; б — степень заполнения по основе и утку.

Размеры открытой поры ткани по направлению соответственно основы и утка

$$a_o = 1/P_y - d_y \text{ и } a_y = 1/P_o - d_o. \quad (9)$$

Площадь открытой поры

$$f_1 = a_o a_y = (1/P_o - d_o)(1/P_y - d_y). \quad (10)$$

Открытая пористость ткани

$$m = (1 - P_o d_o)(1 - P_y d_y). \quad (11)$$

Например, ткань фильтромиткаль имеет плотность по основе $P_o = 1,78$ и по утку $P_y = 1,1$ нити на мм. Ткань имеет одинаковую пряжу для основы и утка $N_o = N_y = 20/3$. Расчетный диаметр нитей по формуле [2] при $K = 1,25$

$$d_o = d_y = \frac{1,25}{\sqrt{20/3}} = 0,48 \text{ мм.}$$

Степень заполнения по основе $\varphi_o = 0,48 \cdot 1,78 = 0,85$ и по утку $\varphi_y = 0,48 \cdot 1,1 = 0,528$. Степень или коэффициент заполнения ткани по формуле (8)

$$\varphi = 0,85 + 0,528 - 0,85 \cdot 0,528 = 0,93, \text{ или } 93\%.$$

Размер открытой поры по направлению основы $a_o = 1/1,1 - 0,48 = 0,43$ мм и по направлению утка $a_y = 1/1,78 - 0,48 = 0,08$ мм. Площадь поры $f_1 = 0,08 \cdot 0,43 = 0,034$ мм². Количество пор можно рассчитать по числу пересечений основных и уточных нитей: $17,8 \cdot 11 = 196$ пор/см². Объемная пористость пряжи фильтромиткали при $\gamma = 0,8$, рассчитанная по формуле (5), $m = 46,7\%$ и пористость нитей, отнесенная ко всему объему ткани, $m_o = 46,7 \cdot 0,93 = 43,5\%$. Следовательно, фильтромиткаль

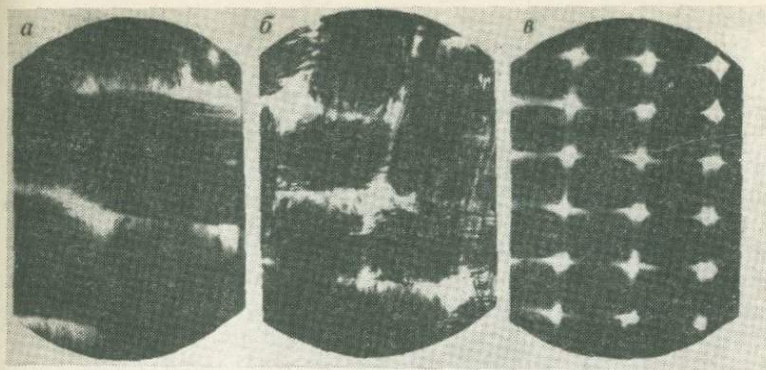
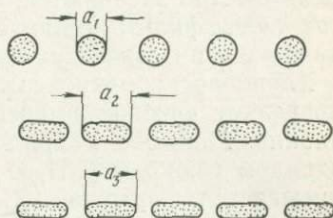


РИС. 5. МИКРОФОТОГРАФИЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ В ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ:
 а — лавсановая арт. 23186; б — капроновая арт. 56007; в — фторлоновая арт. 22295

РИС. 6. ДЕФОРМАЦИЯ (СПЛЮЩИВАНИЕ) НИТЕЙ ФИЛЬТРОТКАНИ:

a_1 — моноволокно (леска); a_2 — филаментная нить; a_3 — филаментная нить при малом коэффициенте крутки



имеет открытую пористость 7%; пористость пряжи 43,5% и общую пористость 50,5%. Проницаемость фильтротканей, сотканых из крученых нитей, определяется не только открытой пористостью, но и пористостью пряжи. Плотность текстильной ткани может быть нормальной, уплотненной и ослабленной. Для ткани с уплотненным переплетением размеры проходных пор расчетным путем определить трудно, так как уточные нити почти вплотную прибиты друг к другу. При этом в местах изгиба уточных и основных нитей все же образуются проходные поры неправильной формы. Проходные поры можно выявить путем микрофотографирования фильтровальных тканей в проходящем свете (рис. 5).

В процессе фильтрации размеры открытых пор хлопчатобумажных тканей изменяются вследствие деформации (сплющивания) нитей (рис. 6) под действием напора. При этом снижается и проницаемость таких тканей. Это прежде всего относится к тканям, сотканым из пряжи с малым коэффициентом крутки. Нити из синтетических волокон почти не деформируются при фильтрации, особенно это относится к нитям из лески (моноволокно). Поэтому синтетические фильтроткани по сравнению с хлопчатобумажными более устойчивы против засорения и лучше сохраняют проницаемость.

1.2. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОЛОКОН

1.2.1. ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ

Несмотря на распространение новых фильтрующих сред фильтроткани из хлопковых волокон все еще находят применение в практике фильтрации рудных пульп и других суспензий. К преимуществу хлопчатобумажных фильтротканей относятся невысокая стоимость, удобство в эксплуатации, удовлетворительная задерживающая способность по отношению к твердой взвеси и сравнительно длительный срок службы при фильтрации нейтральных, слабощелочных и слабокислых суспензий в пределах рН 3—11. Однако при фильтрации многих суспензий, содержащих тонкодисперсные фракции, ткани из хлопковых волокон быстро засоряются, а в агрессивных средах разрушаются и по своим фильтрующим свойствам в таких условиях уступают тканям из синтетических волокон.

Хлопковое волокно содержит 94—95% целлюлозы, которая определяет физико-химические и механические свойства этого волокна. Мономер макромолекулы целлюлозы представлен ангидридом глюкозы $C_6H_{10}O_5$, и эмпирический состав целлюлозы описывается формулой $(C_6H_{10}O_5)_n$, где n — степень полимеризации, достигающая нескольких тысяч, линейные макромолекулы образуют цепь главных валентностей целлюлозы. Элементарные звенья в макромолекуле целлюлозы соединены кислородными мостиками, а боковые связи соседних макромолекул (цепей главных валентностей) осуществляются водородными связями, которые возникают при взаимодействии гидроксильных групп.

При нагреве хлопкового волокна в воде до $100^\circ C$ прочность его заметно не снижается, но при кипячении, отварке при $150^\circ C$ наблюдается снижение прочности на 20—25%. В щелочной среде при концентрации щелочи выше 10% по Na_2O происходит усадка волокна и необратимое набухание целлюлозы, при этом образуется новое вещество — алкалицеллюлоза. Минеральные кислоты при невысокой концентрации (до 1,5%) почти не ослабляют хлопковые волокна, но концентрированные кислоты разрушают не только побочные водородные связи между гидроксильными группами, но и разрывают кислородные мостики, соединяющие глюкозные остатки. При повышении температуры усиливается разрушение хлопкового волокна в кислой среде. Например, при температуре $90^\circ C$ уже при 1,5%-ной концентрации соляной кислоты хлопковая фильтроткань быстро разрушается. Растворителями целлюлозы являются аммиачные растворы меди, никеля и кобальта, а также щелочной раствор сероуглерода. Последний энергично растворяет целлюлозу с образованием ксантогената целлюлозы.

Из числа хлопчатобумажных фильтротканей наибольшее распространение получила фильтродиагональ, которую до недавнего времени предпочтительно применяли для фильтрации минеральных суспензий. Характеристика хлопчатобумажных фильтротканей приведена в табл. 1 и 2.

Хлопчатобумажные фильтровальные ткани предназначены для фильтрации суспензий и растворов, не содержащих свобод-

Таблица 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Ткань и вид переплетения	Артикул	Масса 1 м ² , г	Толщина ткани, мм	Номер пряжи		Число нитей на 10 см		Разрывная нагрузка полоски 50×200 мм, кгс не менее	
				основа	уток	основа	уток	основа	уток
Бельтинг Ф* (полотно)	2031	930±30	2,0±0,2	12/6	12/6	98±2	58±2	285	170
Бельтинг ФНП* (полотно)	332—69	1350±50	2,3±0,2	17/14	17/14	84±2	54±1	350	310
Фильтро- диагональ (саржа)	2074	582±25	1,5±0,2	20/3	20/3	220±4	110±3	205	100
Фильтро- миткаль (полотно)	2077	500±25	1,1±0,15	20/3	20/3	178±4	110±4	135	100
Холст фильтро- вальный (атлас)	14 257—69	354±10	—	40	14	210±4	390±6	32	138
Фильтро- сванбой (полотно)	2079	445	—	20/3	20/3	178	110	135	100
Бязь суровая (полотно)	1115	154	—	30	28	215	193	—	—
Пала- точная (полотно)	610	301	—	34/2	20	267	228	87	81

Таблица 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ХЛОПЧАТУБУМАЖНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ В США И КАНАДЕ

Ткань и вид переплетения	Масса 1 м ² , г	Толщина, мм	Количество нитей на 10 см		Пористость, %	Размеры пор, мкм		Воздухопроницаемость, м ² /(м ² ·мин)
			основа	уток		межволоконных	сквозных	
Ткань № 8 (полотно)	608	0,88	180	110	58,7	2,9	55,0	0,305
Ткань № 175 „TW“ (саржа)	608	1,12	150	100	60,3	5,3	54,0	2,68

Таблица 3

ШИРИНА ХЛОПЧАТУБУМАЖНЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ
И УСЛОВИЯ ИХ РАБОТЫ В ПРЕДЕЛАХ pH=6—10

Ткань	Ширина ткани, см	Температура не выше, °С	Давление не более, кгс/см ²
Бельтинг Ф	85, 100, 110, 118, 128	100	10
Бельтинг ФНП	85, 112, 128	100	35
Фильтродиагональ	86, 5, 100, 105, 112	90	5
Фильтромиткаль	100, 105, 112	100	5
Холст фильтровальный	80, 85, 90, 100	100	5

ных кислот. Ширина тканей и условия их применения должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 3.

Важным требованием, предъявляемым к фильтротканям, является высокая задерживающая способность их по отношению к дисперсной фазе суспензий при сохранении удовлетворительной проницаемости. Этому требованию больше отвечают ворсистые ткани с анизодиаметричными порами (фильтродиагональ, фильтромиткаль). Плотные ткани типа фильтробельтинг и другие сорта тяжелых тканей обеспечивают получение чистых фильтратов, но имеют высокое гидравлическое сопротивление и сравнительно быстро засоряются. Эти ткани применяют в тех случаях, когда наряду с тонкостью фильтрации необходима высокая прочность ткани.

1.2.2. ШЕРСТЯНЫЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ

Шерсть относится к скелетным белкам (склеропротеинам). Вещество шерсти называют кератином. В поперечном сечении волокно шерсти (толщина 10—50 мкм) состоит из клеток че-

шуйчатого и коркового слоев. Клетки коркового слоя имеют субмикроскопические каналы, которые легко заполняются влагой, при этом аморфные части протеина с короткими цепями главных валентностей гидратируются и волокно набухает. Цистинные поперечные цепи, связывающие цепи главных валентностей, устойчивы против кислот, но легко гидролизуются щелочами и ослабляют всю структуру. При увлажнении прочность шерсти снижается на 10—20%, с повышением температуры ($>70^{\circ}\text{C}$) наблюдается дальнейшее снижение прочности.

В отличие от хлопкового волокна шерсть более устойчива в кислой среде и легко разрушается щелочами. Поэтому шерстяные фильтроткани применяют для фильтрации кислых суспензий, например, серое шинельное сукно (арт. 1150), сукно черное (арт. 6411) и фильтровальное сукно ЦНИИ шерсти. Через шерстяные ткани фильтруют кислые суспензии с содержанием серной кислоты до 15—20%. Ткань из верблюжьей шерсти выдерживает концентрацию серной кислоты до 30 и соляной до 10%.

Недостатком шерстяных тканей является быстрая их засоряемость. Стоимость этих тканей довольно высокая. Поэтому шерстяные ткани редко применяют для фильтрации минеральных суспензий.

Шерстяные ткани применяют в виде рукавных фильтров для очистки запыленных технологических газов на заводах цветной металлургии. Для этой цели используют шерстяную байку ЧШ (арт. 21) саржевого переплетения. Технологические газы наряду с пылью (окислы цинка, свинца) содержат и кислые сернистые газы. Шерстяная байка в этой среде более устойчива по сравнению с хлопчатобумажными тканями и обладает достаточной задерживающей способностью по отношению к твердой взвеси. Байку ЧШ изготавливают из овечьей шерсти и подвергают дополнительной валке, увеличивающей задерживающую способность ткани по отношению к дисперсной фазе газов. Наряду с этим байка ЧШ имеет высокую проницаемость и небольшую массу (1 м² байки весит 445 г.). Эта ткань в форме бесшовных рукавов (ЦМ арт. 83) служит в течение года при температуре газов не выше 80—100°С. При более высокой температуре под действием сернистых газов и тумана серной кислоты усиливается гидролитическое разрушение шерсти, срок службы байки сокращается, а при дальнейшем повышении температуры шерсть воспламеняется.

Из шерсти получают фетры, которые также применяют для экипировки рукавных фильтров, обеспечивающих очень тонкую очистку газов. Для целей газоочистки получают распространенные термостойкие синтетические ткани (нитрон, лавсан, тефлон, номекс) и ткани из стекловолокна.

1.3. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

1.3.1. ВИДЫ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

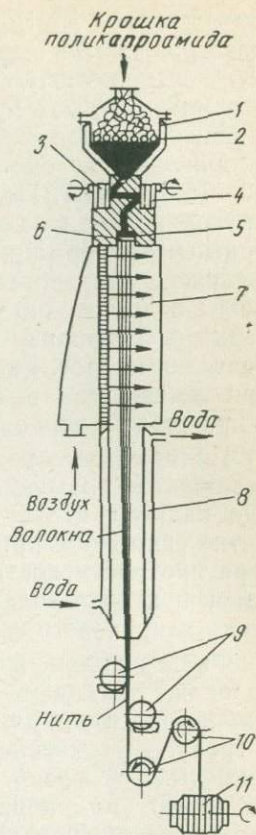
Синтетические волокна вырабатывают из синтетических полимеров с использованием в качестве исходного сырья ацетилена, этилена, фенола и других веществ, выделяемых из нефти и каменноугольной смолы, а также из природных, нефтяных и коксовых газов. Для переработки на волокно пригодны полимеры линейного строения, позволяющие создать наиболее совершенную ориентацию макромолекулярных цепей вдоль оси волокон в процессе их получения. Такие полимеры должны растворяться в доступных растворителях, образуя достаточно концентрированные растворы, или плавиться и переходить в вязкотекучее состояние без разложения. При этих условиях возможно формование волокон. Исходные полимеры, пригодные для синтетических волокон, подразделяют на карбоцепные и гетероцепные. К карбоцепным волокнам относятся перхлорвиниловые, полиакрилонитрильные, полиолефиновые, фторлоновые, у которых основные цепи макромолекул построены из атомов углерода. К гетероцепным волокнам относятся полиамидные, полиэфирные, полиуретановые, у которых основные цепи макромолекул наряду с атомами углерода содержат азот, кислород или другие элементы.

Хлориновые фильтроткани. Исходным веществом для производства хлоринового волокна служит хлорвинил $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, получаемый путем гидрохлорирования ацетилена или пиролиза дихлорэтана. Методом суспензионной или блочной полимеризации хлорвинила получают полихлорвинил $[-\text{CH}_2-\text{CHCl}-]_n$. Последний подвергают дополнительному хлорированию с целью перевода его в более растворимую форму — перхлорвиниловую смолу (хлорин). При растворении смолы в ацетоне получают прядильный раствор. Этот раствор продавливается через капилляры фильеры в виде тонких струек, поступающих в шахту с подогретым воздухом. Летучий растворитель (ацетон) испаряется, а оставшийся полимер, затвердевая, образует хлориновые нити (волокно ПЦ), которые подвергают дополнительной вытяжке. В процессе вытяжки происходит упорядочение (ориентация) цепных макромолекул и повышается прочность волокна.

Фильтроткань, изготовленная из хлоринового волокна, вполне устойчива в кислых и щелочных средах; имеет одинаковую прочность в сухом и влажном состояниях, меньше засоряется при фильтрации и проще регенерируется по сравнению с хлопчатобумажной тканью. Прочность на разрыв хлоринового волокна такая же, как и хлопкового, и находится в пределах 25—35 кгс/мм². Однако хлориновые волокна хрупки и недостаточно устойчивы против истирания, поэтому в процессе работы тон-

РИС. 7. СХЕМА АППАРАТА ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ПОЛИАМИДНЫХ ВОЛОКОН:

1 — бункер; 2 — плавильная решетка; 3 и 4 — соответственно напорный и прядильный насосы; 5 — фильера с фильтром; 6 — приспособление для закрепления фильеры; 7 — охлаждаемая шахта; 8 — водяная рубашка шахты; 9 — смачивающие препаративные шайбы; 10 — приемные диски; 11 — бобина для намотки моноволокна и нитей



кость фильтрации хлориновых тканей постепенно снижается. Хлориновые ткани нетермостойки и уже при 70—75° С утрачивают прочность, а при 80—85° С становятся пластичными.

Фильтроткани из полиамидных волокон. Полиамидные волокна получают из полиамидных смол. Элементарные звенья мономеров в макромолекулах смол соединяются амидными связями —NH— и по этому признаку указанные смолы называют полиамидами. Полиамиды подразделяют по числу атомов углерода в элементарном звене полимерной цепи. Важнейшими смолами для производства полиамидных волокон являются полиамид-6, известный в Советском Союзе под названием капрон, в ГДР — перлон, в ЧССР — силон. Состав капрона описывается формулой $[-NH-(CH_2)_5-OC-]_n$. Степень полимеризации полиамидов $n = 130-200$. Полиамид —6—6 (анид), выпускаемый в США под названием найлон-66, по своему составу несколько отличается от капрона. В полимерной цепи найлона амидная связь разделяется чередующимися группами $(-CH_2)_4$ и $(-CH_2)_6$, а в цепи капрона амидная связь повторяется после одной и той же группы $(-CH_2)_5$. Различие в строении заметно сказывается на физических свойствах изделий из этих полимеров. Найлон превосходит капрон по термостойкости и механическим свойствам.

Для промышленного производства капрона в основном используют фенол или циклогексан — продукт гидрирования нефтехимического бензола. Для получения смолы найлон (анид) служит АГ-соль (смесь адипиновой кислоты с гексаметилендиамином), которая также синтезируется из фенола.

При производстве волокна полиамидная смола после расплавления и нагрева до температуры 260—275° С в атмосфере инертного газа продавливается через отверстия фильеры в охлаждаемую шахту (рис. 7). Струйки смолы затвердевают в нити, наматываемые на бобины со скоростью 1000 м/мин и выше. Для получения высокопрочной нити волокна подвергают

вытяжке на крутильно-вытяжной машине приблизительно в пять раз против первоначальной длины. Свернутые макромолекулы выпрямляются и располагаются вдоль оси волокон, которые приобретают прочность и эластичность. Прочность полиамидных волокон в два раза превышает прочность хлопковых и хлориновых волокон и достигает 60 кгс/мм^2 (для нейлона до $70\text{—}75 \text{ кгс/мм}^2$). Полиамидные волокна выгодно отличаются от других волокон высокой устойчивостью к истиранию и многократным деформациям, они весьма устойчивы против действия щелочей, микроорганизмов и других веществ. Однако такие волокна недостаточно устойчивы в кислых средах. Полиамиды подвержены гидролизу в растворах минеральных и сильных органических кислот. Гидролиз полиамидов в воде протекает только при температуре выше 150°C . Полиамидные цепи разрываются и при воздействии окисляющих реагентов.

Полиамидные волокна по сравнению с перхлорвиниловыми отличаются повышенной термостойкостью: температура плавления капрона 218°C и нейлона 264°C . Прочность капрона заметно снижается при температуре выше 120°C , а при 150°C потеря прочности достигает 75% . Введение стабилизирующих добавок при производстве капроновой смолы повышает термостойкость капронового волокна.

Фильтроткани, изготовленные из капроновых и нейлоновых волокон, обладают хорошими фильтрующими свойствами и вполне пригодны для фильтрации различных по вещественному и гранулометрическому составу щелочных, нейтральных и слабокислых суспензий. Гладкие волокна полиамидов благоприятно влияют на проницаемость тканей и способствуют полному съему отфильтрованных осадков. Сравнительно слабое прилипание осадков к полиамидным волокнам обуславливает устойчивость тканей против засорения. Максимальной рабочей температурой полиамидных тканей считается $105\text{—}110^\circ\text{C}$.

Волокна энант и ундекан. Путем поликонденсации аминокислоты $\text{NH}_2\text{—}(\text{CH}_2)_6\text{—COOH}$ получают полиамид энант, который выпускается в США под названием нейлон-7. Энантовое волокно весьма устойчиво к действию многократных деформаций и превосходит капрон по устойчивости в кислых и других агрессивных средах. Однако энант значительно дороже капрона.

В технико-экономическом отношении вполне подходящим для производства фильтротканей является полиамидное волокно ундекан, выпускаемое в США под названием нейлон-11 и в Европе под названием рильсан. Ундекан получают путем поликонденсации аминокислоты $\text{NH}_2\text{—}(\text{CH}_2)_{10}\text{—COOH}$. Ундекановые волокна имеют пониженную гигроскопичность и более устойчивы в агрессивных средах по сравнению с другими полиамидами. По механической прочности и термостойкости

ундекановые волокна уступают аниду. Температура плавления ундекана 189°C . Из ундекановых волокон изготавливают фильтроткани с хорошими фильтрующими свойствами. Такие ткани получают значительное распространение, например для фильтрации нагретых щелочных суспензий.

Фильтроткани ароматических полиамидов. Фирмой «Дюпон» (США) на основе ароматического полиамида получено волокно номекс [78]. Фильтроткань из волокна номекс сохраняет прочность при температуре до 220°C , однако в условиях очистки нагретых газов длительная эксплуатация такой ткани возможна лишь при температуре не выше 204°C . В США для тонкой очистки газов предложен фильтрующий материал гламекс из смеси волокна номекс с очень тонкими стеклянными волокнами.

Получены и другие волокна из полностью ароматических полиамидов с высокой степенью ориентации жестких симметричных цепей и с регулярной сеткой межмолекулярных водородных связей, например волокна «В» и РРД-49. Эти волокна обладают исключительно высокой прочностью и очень высокими значениями модуля упругости. Волокна из ароматических полиамидов имеют высокую стоимость, ограничивающую их широкое применение.

Фильтроткани из полиуретановых волокон. Полиуретаны по химическому строению близки к полиамамдам, но отличаются от них тем, что содержат полиамидную группировку с дополнительным атомом кислорода — OOCNH — (уретановая группировка). Для производства фильтротканей из числа полиуретанов наиболее подходящим является полимер под названием перлон *U*, отличающийся высокой гидрофобностью. Перлоновые волокна довольно грубы и для смягчения их обрабатывают формальдегидом, повышающим гидрофильность волокон, которые становятся мягче и шелковистее.

Перлоновые ткани хотя и уступают нейлоновым по физико-механическим показателям, но обладают хорошими фильтрующими свойствами, устойчивы против засорения и истирания, проницаемость их высокая и после засорения они легко восстанавливаются. Недостатком перлоновых тканей является их повышенная жесткость.

Лавсановые фильтроткани. В течение последних лет для изготовления фильтротканей все шире применяют полиэфирное волокно, известное под названиями: терилен (Англия), дакрон (США), ланон (ФРГ), свитлен (ЧССР). В СССР это волокно называют лавсан — сокращенно от наименования «Лаборатория высокомолекулярных соединений Академии наук». В этой лаборатории были разработаны методы синтеза полиэфирной смолы — полиэтилентерефталата. Исходным веществом для получения данной смолы служит параксилон, выделяемый из технической смеси ксилолов. Такую смесь получают при крекинге

нефти и в коксохимическом производстве. Волокно лавсан формуют из расплава смолы по технологии, аналогичной для получения полиамидных волокон. По прочности на разрыв (74—87 кгс/мм²) волокно лавсан превосходит другие синтетические волокна, в том числе и полиамидные. Лавсановые нити отличаются высоким начальным модулем упругости, который в 4—5 раз больше, чем у капроновых. Лавсан устойчив в растворах едких щелочей и минеральных кислот при невысокой концентрации, но разрушается концентрированными минеральными кислотами и раствором аммиака.

Лавсановые фильтроткани пригодны для фильтрации нейтральных, слабокислых и щелочных пульп. Такие ткани обладают высокой износоустойчивостью и термостойкостью. Например, при нагревании в течение 1000 ч при температуре 150°С лавсан теряет около 50% прочности, а капрон при этой температуре разрушается уже через 200—300 ч.

Нитроновые фильтроткани. Нитроновые волокна формуют из полиакрилонитрильной смолы-ПАН. Нитроновые волокна, известные также под названиями орлон (США) и редон (ФРГ), обладают высокой прочностью и термостойкостью, но недостаточно устойчивы в кислых и щелочных средах. Едкие щелочи быстро омыляют нитрон уже при температуре выше 20°С. Концентрированные минеральные кислоты также разрушают нитрон, но в разбавленных кислотах, за исключением HCl, нитрон устойчив даже при температуре их кипения. Нитроновые ткани пригодны для фильтрации нагретых суспензий в производствах фосфорной и борной кислот.

Фильтрующие свойства нитроновых тканей заметно ниже капроновых и лавсановых. Отрицательным свойством нитронового волокна, как и хлоринового, является его хрупкость и вследствие этого сравнительно низкое сопротивление истиранию и механическим воздействиям. Поэтому в процессе работы пористость нитроновых, как и хлориновых, фильтротканей постепенно возрастает, что ведет к снижению их задерживающей способности по отношению к дисперсной взвеси. Если прочность к истиранию хлопчатобумажной ткани принять за 100%, то для нитроновой она составит порядка 60, для капроновой — около 200 и найлоновой — свыше 200%. Нитроновые ткани применяют для изготовления рукавных фильтров, предназначенных для очистки нагретых запыленных газов.

Фильтроткани из полиолефиновых волокон. К полиолефиновым относятся волокна, получаемые из полиэтилена и полипропилена. Макромолекулы полиэтилена построены из шести повторяющихся звеньев —CH₂—, а полипропилена — трех звеньев —CH₂—CH—.



зуют нефтяные газы, содержащие этилен, пропилен и дру-

гие углеводороды. Полимеризацию этилена проводят при высоком давлении, но возможна полимеризация и при низком давлении по методу Циглера. Полиэтилен низкого давления имеет более высокий предел прочности при растяжении, но менее эластичен по сравнению с полиэтиленом высокого давления. Из полиэтилена низкого давления формуют моноволокно (леску) с прочностью на разрыв до 70 кгс/мм².

Полипропилен получают или путем эмульсионной полимеризации пропилена, или же по методу цепной полимеризации (способ Натта). В первом случае получают аморфный полипропилен, а во втором — стереорегулярный или изотактический полипропилен, отличающийся строго вытянутой формой цепей главных валентностей и высокой симметрией макромолекул. Стереорегулярная структура полипропиленового волокна обуславливает его высокие свойства в смысле механической прочности, термической и химической стойкости.

Полиолефиновые волокна получают по сложной технологии, включающей операцию получения жгутов путем экструзии (выдавливания) вязкого расплава, например полиэтилена, через перфорированную головку шнек-машины. Из жгутов в горячем состоянии путем вытяжки получают моноволокно (леску). Филтроткани из полиолефиновых волокон вполне устойчивы против действия кислот, щелочей и других агрессивных сред. Полипропиленовое волокно значительно тоньше полиэтиленового. Полипропиленовые ткани по своим фильтрующим свойствам превосходят полиэтиленовые.

Филтроткани из фторсодержащих волокон. Из числа фторсодержащих полимеров для производства филтротканей испытаны фторлоновые (СССР) и тефлоновые (США) волокна. Тефлон, или политетрафторэтилен $[-CF_2-CF_2-]_n$, получают путем эмульсионной полимеризации тетрафторэтилена $CF_2=CF_2$. Для получения волокна водную дисперсию полимера с добавкой связующего продавливают через фильеру. Сырое волокно подвергают термической обработке — спеканию. Тефлоновое волокно в химическом и термическом отношении наиболее стойкое из всех известных волокон. Даже при высокой температуре на волокно не действуют концентрированные минеральные кислоты, в том числе плавиковая кислота и царская водка, волокно вполне устойчиво против действия щелочей и не разрушается окислителями. Особая устойчивость политетрафторэтилена объясняется прочностью первичных химических связей, а также тем, что вокруг углерод — углеродной цепи небольшие атомы фтора образуют плотную оболочку, которая защищает полимерную цепь от воздействия агрессивной среды.

Волокно фторлон получают путем мокрого прядения фторсодержащего сополимера $[-CH_2-CF_2-]_n$. Такое волокно также обладает высокой стойкостью к агрессивным средам, за исключением концентрированной каустической щелочи. По механиче-

ской прочности фторлоновое волокно значительно превосходит тефлоновое, но уступает ему по эластичности и термостойкости и утрачивает прочность уже при температуре 120°С (волокно тефлон сохраняет прочность при нагреве до 290°С). Элементарные фторлоновые волокна имеют очень малую толщину. Для производства тканей употребляют комплексную текстильную нить N 60/300 (16,7/300 текс).

Фильтроткани из фторсодержащих волокон имеют высокую стоимость, что ограничивает возможность их широкого применения. Такие ткани применяют лишь в особых случаях, например для фильтрации сильно агрессивных суспензий и для обеспыливания нагретых агрессивных газов. На зарубежных рынках поддерживаются следующие ориентировочные соотношения цен на волокна для фильтровальных материалов: хлопок — 1; найлон — 2,5; дакрон (лавсан) и орлон (нитрон) — 2,7; стекловолокно — 3; номекс — 6,0 и тефлон — 25 [1].

1.3.2. ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Синтетические волокна обладают высокими физико-механическими свойствами, особенно это относится к полиэфирным (лавсан) и полиамидным (капрон, найлон) волокнам (табл. 4).

По химической стойкости фильтроткани из синтетических волокон значительно превосходят хлопчатобумажные. Особенно стойкими в агрессивных средах являются фильтроткани из полиолефиновых, хлоридных и фторсодержащих волокон. В щелочных средах вполне устойчивы капроновые фильтроткани.

Таблица 4

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ НИТЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВОЛОКОН

Волокно	Разрывная прочность, кгс/мм ²	Удлинение при разрыве, %	Температура размягчения, °С	Плотность, г/см ³	Устойчивость	
					к изгибам, число изгибов	к истиранию, количество циклов
Лавсан	74—87	5—12	230—240	1,34	12 000	1 360
Капрон	57—60	20—25	196	1,14	28 300	2 172
Найлон	60—70	20—25	220	1,14	29 654	2 232
Полиуретан	54	—	175	—	—	—
Нитрон	42—60	16—22	230	1,17	28 300	200
Полипропилен	45—52	22—25	150	0,90	67 000	360
Хлопок	35—45	8—10	160	1,52	65 000	—
			Разложение			
Полиэтилен	29—42	15,6—16,2	108—130	0,92	15 000	60 000
Хлорин	20—25	15—20	90	1,47	3 200	200
Тефлон	16,1—29,4	13,0	327	2,2	—	7 382
Фторлон	90—98	6,5—9,5	136	1,96	415	358

СТОЙКОСТЬ ТКАНЕЙ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ХЛОПКОВЫХ ВОЛОКОН
В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Материал ткани	Водные растворы								
	H ₂ SO ₄	HCl	HNO ₃	HCl+HNO ₃	H ₃ PO ₄	NaOH	KOH	Na ₂ CO ₃	NH ₄ OH
Фторлон, тефлон	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ
Полипропилен	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ
Полиэтилен	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ
Хлорин	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ
Капрон, нейлон	Н	Н	Н	Н	У	ВУ	ВУ	ВУ	ВУ
Лавсан	У	У	У	Н	У	У	У	ВУ	Н
Нитрон	У	Н	У	У	У	Н	Н	ВУ	ВУ
Хлопок	Н	Н	Н	Н	У	Н	Н	ВУ	У

Примечание. ВУ — вполне устойчива, У — устойчива, Н — неустойчива.

В табл. 5 приведена качественная характеристика химической и термической стойкости фильтровальных тканей из синтетических и хлопковых волокон. Краткая характеристика химической и термической стойкости фильтротканей, применяемых в США и Канаде, приведена в табл. 6.

Синтетические фильтровальные ткани по характеру структуры нитей подразделяют на филаментные, штапельные и моноволоконные. Филаментная нить является непрерывной, ее получают путем скручивания параллельно расположенных элементарных волокон. Для получения штапельной пряжи из непрерывных элементарных волокон нарезают отрезки (штапельки) длиной порядка 35 мм, режут и короткие штапельки — 6,3 мм, которые затем скручивают в непрерывные нити. Моноволокно нужного диаметра 0,12—0,45 мм получают непосредственно при продавливании соответствующей смолы через

Таблица 6

ХИМИЧЕСКАЯ И ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ США

Материал ткани	Толщина, мм	Пористость, %	Концентрация, %		Максимальная температура работы ткани, °С
			серной кислоты	каустической щелочи	
Орлон (нитрон)	2,03	50—74	40	40	140
Найлон	0,40—1,27	47	0	40	133
Дакрон (лавсан)	0,32—0,51	30	70	40	133
Дайнел (хлорин)	0,32—0,51	70	40	40	83

Примечание. Фильтроткани орлон и дакрон в растворах серной кислоты и каустической щелочи сохраняют прочность при температуре не выше 38° С.

фильеру с последующей вытяжкой и фиксацией или путем вытяжки жгутов, полученных экструзией.

Ткани филаментные и особенно моноволоконные (из лески) имеют гладкую поверхность и по сравнению с ворсистыми тканями меньше засоряются и с них полнее снимаются отфильтрованные осадки. Но по тонкости фильтрации такие ткани уступают ворсистым. Ткани из лески к тому же имеют и невысокую прочность сцепления между основными и уточными нитями. С целью стабилизации размеров проходных пор такие ткани иногда подвергают горячему каландрированию. В результате значительного сдавливания при пропускании ткани между горячими валками каландра добиваются более прочного сцепления основы с утком. Ткани из моноволокна, обладающие упругостью, рекомендуют для экипировки фильтров со сходящим полотном. Моноволоконные ткани с более редким плетением (сетки) употребляют в качестве дренирующих подложек под основные фильтроткани с целью увеличения их пропускной способности и повышения эффективности обрушения кеков при отдувке.

Штапельные ткани имеют ворсистую поверхность и по сравнению с филаментными при одинаковых размерах проходных пор проявляют более высокую задерживающую способность и прочнее удерживают осадок на своей поверхности.

Кроме перечисленных выпускают еще смешанные ткани, в которых сочетаются волокна, разные по своей структуре или различные по природе. В смешанных тканях, например, основа представлена филаментными, а уток — штапельными нитями или одна система нитей состоит из капроновых, а вторая — из лавсановых волокон. Известны и другие сочетания волокон в тканях, например, ткани, в которых сочетались капроновые нити и стальная проволока «капросталь». Однако фильтрующие свойства тканей, изготовленные из волокон разной природы, оказались невысокими. Такие ткани засорялись быстрее однородных или выходили из строя вследствие разрушения менее стойкого волокна. Более подходящими для фильтрации оказались ткани, смешанные по структуре волокон, в которых реализуются положительные свойства филаментных и штапельных тканей.

Предложено и испытано много вариантов фильтротканей из синтетических волокон. Результаты исследования фильтрующих свойств фильтротканей рассмотрены в гл. VII. В табл. 7 приведена характеристика фильтротканей из синтетических волокон. Фильтроткани из синтетических волокон выпускают следующие текстильные предприятия: шелковый комбинат им. Щербакова (г. Москва) — капроновые арт. 56007 (саржа) и 56020 (саржа), фторлоновые арт. 56072 (полотно) и 56073 (полотно); комбинат «Красная Роза» (г. Москва) — арт. 56049 (полотно) и др., Краснознаменная фабрика технических тка-

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ
ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Ткань и артикул	Толщина, мм	Ширина, см	Масса 1 м ² , г	Номер пряжи		Число нитей на 10 см		Прочность полоски 50×200 мм, кг	
				основа	уток	основа	уток	основа	уток
Хлориновая штапельная, 86006	1,1	105	500	20/3	20,3	208	90	120	45
Хлориновый бельтинг, 19	1,78	100	890	20/3/3	20/3/3	100	63	170	125
Хлориновая, 4241	1,06	100	531	19/9/3	19/9/3	212	104	135	65
Капроновая филаментная:									
56033	0,72	115	365	5/2	5/3	316	160	400	380
56007	0,35	98	164	34	34	280	250	231	215
56020	0,28	91	150	200/2	200/2	730	540	160	95
56027	0,45	88	250	34	34	270	180	460	145
56035	1,24	105	520	34/4	34/4	252	120	550	550
23303/1	—	107	418	34	22/2	210	120	636	124
23094	0,56	116	222	34	22/2	240	150	422	110
В-863	0,5	116	219	64	34	698	236	180	170
23254	0,58	92	254	∅ = 0,13 мм	22/2	680	130	225	128
22203	0,74	98	409	22/2	22/2	210	140	480	292
Капроно-лавсановая:									
86015	—	134	432	20/4	20/4	99	82	158	125
86016	—	124	790	14/4	14/4	150	72	300	143
Лавсановая штапельная:									
4266	—	100	584	20/3	21/3	237	122	388	190
4264	1,54	104	602	12/3	12/3	175	57	505	155
Лавсановая филаментная:									
23108	1,26	88	697	34/4	28/2	290	200	744	296
23376	0,53	96	282	34/2	34/2	300	160	373	209
56049	0,54	95	320	34/4/1	34/2	200	120	300	85
56050	—	105	348	34	34/2	212	122	500	145
56065	—	124	440	34/3	34/3	323	130	420	200
56071	—	124	356	34/2	14/2	325	104	372	112
86004	—	107	460	14/2	14/2	169	120	220	138
Нитроновая:									
4341	1,8	110	643	12/3	12/3	163	60	243	97
4340	1,27	110	483	20/3	20/3	200	80	182	72
Полипропиленовая филаментная:									
22357	0,59	97	223	100/3	100/3	310	350	184	240
23273	0,47	87	245	65	65/2	350	400	226	259

Ткань и артикул	Толщина, мм	Ширина, см	Масса 1 м ² , г	Номер пряжи		Число нитей на 10 см		Прочность полоски 50×200 мм, кг	
				основа	уток	основа	уток	основа	уток
Фтордоновая:									
56072	0,18	88	139	60	60	390	240	219	89
56073	0,24	105	206	60	60/2	460	330	140	113
Из моноволокна:				∅ в мм	∅ в мм				
Капроновая:									
21667	—	110	—	0,30	0,30	320	120	181	81
21770	—	118	—	0,30	0,30	320	70	391	92
21934а	0,66	104	255	0,30	0,30	160	50	151	97
Полиэтиленовая:									
23350	0,49	94	239	0,20	0,20	220	150	151	97
24057	—	100	388	0,30	0,30	330	110	367	155
24123	—	105	197	0,15	0,15	210	300	214	113
Полипропиленовая:									
24673	—	—	358	0,30	0,30	330	120	470	208
24156	—	100	151	0,20	0,20	200	130	158	122

Таблица 8

ХАРАКТЕРИСТИКА СИНТЕТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В США И КАНАДЕ

Ткань и вид переплетения	Масса 1 м ² , г	Толщина, мм	Число нитей на 10 см		Пористость, %	Размер пор, в мкм, по		Воздухопроницаемость м ³ /(м ² ·мин)
			основа	уток		основе	утку	
Найлон SN-7, полотно	214	0,4	240	170	52,3	10,5	128	4,12
Найлон SN-23, полотно	506	0,89	200	120	50,5	5,2	91	1,07
Найлон St-5044, саржа	120	0,18	870	490	41,3	5,5	29	1,16
Орлон St-5071, тафта	445	0,81	300	90	52,3	14,0	71	4,87
То же	440	0,53	320	80	29,6	5,4	39	0,52
Орлон-Feon 420, сатин	198	0,35	790	500	41,7	8,0	83	3,74
Дайнел Ду-453	822	—	—	—	—	—	—	6,50
Винилон-409	441	—	—	—	—	—	—	15,6
Дакрон, саржа 5/5	300	0,5	266	200	56,5	120 средние		12,7

ней (Московская обл.) — хлориновые арт. 86006 (саржа) и др.; фабрика «Техноткань» (г. Киев) — капроновые арт. 56033 (саржа) и 56035 (саржа), лавсановые арт. 56065 (саржа) и 86004 (саржа); Шелковый комбинат (г. Ленинабад) — капроновая арт. 56027 (полотно) и лавсановая арт. 56038 (полотно).

В научно-исследовательских институтах ВНИИПХВ разработаны опытные образцы фильтротканей арт. 23303/1, 23094, 23254, 22203, 23108, 23273, 23350 и другие и в ЦНИХБИ — арт. 4340, 4341, 4264, 4266 и др.

В зарубежных странах для производства фильтротканей широко применяют синтетические волокна и в том числе анид (найлон-66), рилан (найлон-11), дакрон, орлон, дайনেп и др. Характеристика отдельных видов фильтротканей, применяемых в США и Канаде, приведена в табл. 8.

1.4. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ ИЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВОЛОКОН И ПРОВОЛОКИ

1.4.1. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ ИЗ СТЕКЛОВОЛОКНА И ВОЛОКНИСТЫХ СИЛИКАТОВ

Стекловолокно. Такое волокно получают путем продавливания расплавленной стекломассы через отверстия фильеры при температуре 1400°С. По выходе из фильеры стеклянные струйки сильно вытягиваются со скоростью до 3 км/мин, образуя тонкое волокно. Пучки по 100—200 волокон склеивают эмульсионными замасливателями и наматывают на съемные бобины. При очень малой толщине (в пределах 3—10 мкм) стекловолокно имеет равномерный состав и равномерное распределение внутренних напряжений и поэтому является эластичным.

Стекловолокно плохо сопротивляется истиранию, изгибу и удару. Гигроскопичность стекловолокна незначительна, так как оно не имеет капиллярных полостей. Адсорбированная вода понижает поверхностную энергию стекловолокна, которое по своей природе является гидрофильным. Поэтому в воде прочность волокна снижается. В термическом отношении стекловолокно вполне устойчиво, некоторое снижение его прочности наблюдается лишь при температуре выше 200°С. Химическая стойкость стекловолокна зависит от состава стекломассы. Для фильтрации кислых, нейтральных и слабощелочных сред изготавливают стекловолокно из алюмоборосиликатной и алюмомагнезиальной стекломассы.

Стеклоткани. Промышленность выпускает специальные стеклоткани, предназначенные для фильтрации агрессивных суспензий и очистки газов (табл. 9). В табл. 10 приведены эксплуатационные показатели стеклотканей при обеспыливании газов [2].

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СТЕКЛОТКАНЕЙ

Марка ткани и переплетение	Толщина ткани, мм	Масса 1 м ² ткани, г	Номер нитей		Число нитей на 10 см		Прочность полоски 100×25, кгс	
			основа	уток	основа	уток	основа	уток
ТСФ (б)-7, саржа	0,36	400	9	9	200	150	200	170
ТСФТ-2-0, саржа	—	600	6 мкм	9 мкм	160	100	326	159
АСТТ (б)-С, сатин	0,31	311	20	20	400	200	—	—
Сатин	0,30	309	15	15	210	200	223	176
ТСФШ-0, сатин	—	600	6 мкм	—	180	105	298	77

Таблица 10

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОТКАНЕЙ

Марка ткани	Число изгибов (изгибоустойчивость)		Воздухо- проницае- мость, л/(м ² ·с)	Проскок пыли, в % от массы исходной пыли
	основа	уток		
ТСФШ-0	310	62	160—185	0,141
ТСФТ-2-0	465	77	200—220	0,052
ТСФТ-2-СГФ	462	65	195	0,052
ТСФШ-СГФ, сатин	386	44	140	0,141
ТСФШ-СГФ, сатин	412	46	180	0,066

Для увеличения срока службы стеклоткани обрабатывают (пропитывают) растворами или эмульсиями кремнийорганических соединений типа силиконовых масел, например 1,5—3%-ной жидкостью ГКЖ-94 или полиметилсилоксановой жидкостью с последующей термической обработкой при 150—200°С. Обработка фильтровальных стеклотканей гидрофобными веществами повышает их прочность в водной среде и увеличивает устойчивость против изгибов, истирания и засорения.

Недостатком стеклотканей является быстрый износ их и поломки. Для устранения этого явления рекомендуется пропитка намеченных линий разрезов ткани и осыпающихся кромок, а также участков ткани, подвергающихся изгибу, растворами латекса или клеем БФ-2 и БФ-5. Латексную смесь, применяемую для пропитки, разбавляют до такой консистенции, чтобы она проникла через всю толщину ткани. Для поверхностного покрытия стеклоткани рекомендуют наносить латекс по методу распыления. Подобная пропитка, кроме укрепления кромок,

обеспечивает более совершенное уплотнение полос ткани и предотвращает проникновение в фильтрат твердой взвеси. Средством, предотвращающим поломки фильтроткани; являются также пористые подкладки под них, например сетки резиновые или из синтетической лески. Стеклоткани требуют осторожного обращения во время съема отфильтрованных осадков, отдувка воздухом приводит к быстрому разрушению ткани. Стекланные волокна не сжимаются и не растягиваются, поэтому стеклоткани следует разрезать в строгом соответствии с размерами и формой фильтрующей поверхности фильтра.

Применение стеклотканей. Несмотря на существенные недостатки стеклотканей, применение их все же оправдывается для фильтрации кислых нагретых суспензий, когда другие ткани быстро разрушаются. В таких условиях стеклоткань из алюмоборосиликатного стекла работает без разрушения около месяца. Серная кислота действует сильнее на стеклоткань, чем соляная, азотная или фосфорная.

На эксплуатационные показатели стеклотканей влияют их строение и структура нитей. Например, стеклоткань ТСФШ-СГФ с саржевым переплетением по фильтрующим и механическим свойствам превосходит сатиновую ткань (табл. 10). Стеклоткань ТСФТ-2—0 из текстурированных нитей обладает более высокими механическими и фильтрующими свойствами по сравнению с тканью ТСФШ-0 с утком из штапельных нитей. Штапельные стеклоткани имеют ворс, повышающий их задерживающую способность, однако это преимущество утрачивается вследствие осыпаемости стеклянного ворса. Последний меньше осыпается в условиях фильтрации суспензий, чем при очистке нагретых газов.

Стеклоткани даже при высокой температуре до 260°С устойчивы против разрушающего действия сернистых и других агрессивных газов, не содержащих фтора и его соединений, но они разрушаются при механическом встряхивании с них осевшей пыли. Поэтому для удаления осевшей пыли вместо механического встряхивания стеклоткани предпочитают применять обратную продувку воздухом или очищенным газом рукавных и плоских каркасных фильтрующих элементов. Эффективным считается метод очистки ткани, в котором механическая деформация сочетается с обратной продувкой.

В странах Европы и в США для очистки газов все шире применяют фильтры с активной регенерацией без механического встряхивания со струйной или импульсной продувкой ткани без прекращения фильтрации газов [1].

Представляют интерес комбинированные пористые материалы, полученные на основе асбеста и стекловолокна, фирмы «Кембридж фильтр корпорейшн». Комбинированные ткани применяют для фильтрации агрессивных сред и для фильтрации горячих газов при температуре выше 500°С. В термическом от-

ношении асбест весьма устойчив (температура плавления 1450—1550°С) и не разрушается в щелочной и кислой средах. Для фильтрации асбестовые ткани почти не применяют вследствие их недостаточной задерживающей способности и малой механической прочности.

Синтетические неорганические волокна. В последнее время повышается интерес к синтезу волокнистых силикатов и к их применению в различных отраслях промышленности и в том числе для фильтрации агрессивных сред. Разрабатывают пирогенные и гидротермальные методы синтеза волокнистых силикатов. В состав исходной шихты вводят кварц, окислы, карбонаты, фториды или кремнефтористые соли магния, натрия, лития и железа. Синтетические асбесты благодаря постоянству состава и структуры значительно превосходят природные по механической прочности, эластичности и другим свойствам. Они рекомендуются для изготовления фильтрующих сред в химической и пищевой промышленности, а также для кондиционирования воды, растворов и для очистки воздуха и различных газов. В США неорганические волокна получают из кремнекислого алюминия (волокно фиберфракс), титаната калия (волокно тайперсол), а также из окислов кремния, алюминия, титана и магния.

1.4.2. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ ИЗ ПРОВОЛОКИ

Основным материалом для производства проволочных фильтротканей (фильтросеток) служит термически обработанная проволока из низкоуглеродистой и нержавеющей стали, а также из цветных металлов и сплавов. Для производства проволоки употребляют сталь низкоуглеродистую общего назначения и легированную коррозионностойкую сталь марок: X18H9, X18H9T, X17H13M2T, а также медь, латунь Л68 и Л80, фосфористую бронзу, никель и монель НМЖМЦ 28-2, 5-1,5. Высококачественную проволоку для фильтровальных сеток получают из аустенитной хромоникелевой стали X18H9T, отличающейся жаропрочностью, хорошей свариваемостью и полной немагнитностью. Такая сталь, закаленная на аустенит, характеризуется высокой пластичностью и прочностью.

Для фильтрации применяют тканые сетки, которые по характеру переплетения проволок изготавливают следующих типов: полотняные (квадратные и гладкие), саржевые (киперные) и репсовые (галунные) (рис. 8). Причем саржевые сетки могут быть односторонними, двусторонними и прядковыми. Галунные сетки ткут одинарными, полуторными и двойными.

Гладкие фильтровальные сетки имеют густое полотняное переплетение (нити основы переплетаются через одну нить с нитями утка), причем проволоки утка прибиваются друг к другу вплотную. Степень заполнения сетки по утку достигает 100% и по основе изменяется от 17 до 36%. В сетках с сарже-

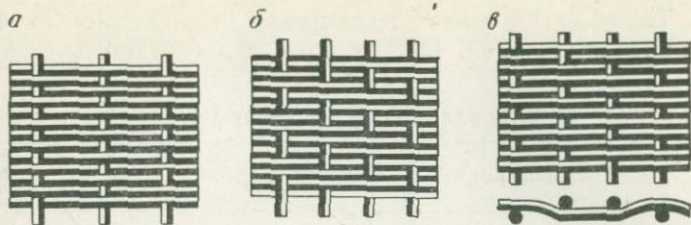


РИС. 8. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ СЕТКИ, ТКАННЫЕ ИЗ ПРОВОЛОКИ:
а — сетка гладкая; *б* — саржевая односторонняя; *в* — саржевая двусторонняя

вым переплетением нити утка также располагаются вплотную друг к другу. Саржевые сетки по сравнению с гладкими (полотняными) характеризуются более высокой задерживающей способностью по отношению к твердой взвеси, так как в этих сетках уточные нити располагаются в два ряда. В односторонних сетках по сравнению с полотняными число уточных нитей превышает в 2 раза, а в двусторонних — в 1,5 раза на 100 мм при равных диаметрах проволоки. В соответствии с этим при контрольной проверке величина зазора между нитями утка для гладкой сетки полотняного переплетения определяется по формуле

$$a_y = \frac{100}{n_y} - d_y, \quad (12)$$

для саржевой двусторонней сетки:

$$a_y = \frac{150}{n_y} - d_y, \quad (13)$$

и для саржевой односторонней:

$$a_y = \frac{200}{n_y} - d_y, \quad (14)$$

где a_y — величина зазора между нитями утка, мм; n_y — число нитей утка на 100 мм; d_y — диаметр проволоки утка, мм.

В табл. 11 приведена характеристика стандартных проволочных фильтровальных сеток с гладким (полотняным) и саржевым переплетениями.

Проволоки подобно волокнам могут скручиваться в пряди в несколько сложений. Такого рода проволочные сетки называют прядковыми. В прядковых фильтровальных сетках с саржевым переплетением нити основы и утка, сложенные прядями из 5—8 проволок, переплетаются между собой через две пряди. Прядковые сетки изготовляют из тонкой проволоки, уточные пряди также прибиваются вплотную друг к другу.

Для изготовления бронзовых и латунных сеток применяют очень тонкую проволоку одинакового диаметра для основы и

утка. Такие сетки имеют плотняное переплетение с квадратными ячейками (табл. 12). Номер сетки соответствует размеру

Таблица 11

ПРОВОЛОЧНЫЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ СЕТКИ (ГОСТ 3187-76)

Номер пряжи	Сетки гладкие			Сетки саржевые одно- сторонние			Сетки саржевые дву- сторонние		
	Диаметр проволоки, мм		Число проволок утка на 10 см	Диаметр проволоки, мм		Число проволок утка на 10 см	Диаметр проволоки, мм		Число проволок утка на 10 см
	основы	утка		основы	утка		основы	утка	
24	0,7	0,4	260	1,2	0,7	290	1,0	0,6	260
32	0,6	0,4	260	0,9	0,6	340	0,7	0,5	325
40	0,5	0,35	325	0,7	0,5	420	0,6	0,4	400
48	0,45	0,3	360	0,6	0,45	455	0,5	0,35	450
52	0,45	0,2	390	—	—	—	—	—	—
56	0,40	0,28	390	0,5	0,37	550	0,4	0,3	500
64	0,35	0,22	485	0,45	0,3	680	0,37	0,28	550
72	0,30	0,20	550	0,4	0,25	840	0,35	0,22	700
80	0,28	0,18	600	0,35	0,2	1050	0,30	0,2	790
90	0,28	0,16	645	0,3	0,2	1050	—	—	—
100	0,25	0,16	670	0,25	0,18	1180	—	—	—
120	0,22	0,16	670	0,25	0,16	1300	0,25	0,1	900
160	0,20	0,14	820	0,20	0,16	1300	0,22	0,16	960
200	0,18	0,12	870	0,20	0,14	1570	0,20	0,14	1100

Примечание. Ширина сеток 1000 ± 15 мм; номер сетки определяет число проволочек основы на 100 мм.

Таблица 12

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАТУННЫХ И БРОНЗОВЫХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СЕТОК

№ сетки	Диаметр проволоки, мм	Число проволок на 100 мм	Число ячеек на 1 см	Размер стороны ячейки в свету, мм	Живое сечение сетки, %	Масса 1 м ² сетки, г	
						латунной	фосфористой бронзы
01	0,070	588	3 460	0,10	34,6	400	400
009	0,070	625	3 900	0,090	31,6	430	430
0085	0,065	667	4 450	0,085	32,1	400	390
008	0,055	740	5 476	0,080	30,0	300	300
0075	0,065	714	5 100	0,075	28,7	420	420
0071	0,055	800	6 400	0,071	31,4	—	330
0063	0,045	910	8 270	0,063	34,9	—	250
006	0,040	1000	10 000	0,060	36,0	—	220
0056	0,040	1040	10 085	0,056	32,0	—	240
005	0,035	1180	13 900	0,050	31,0	—	210
0045	0,035	1250	15 000	0,045	29,8	—	220
004	0,030	1430	20 450	0,040	28,0	—	210

стороны квадратной ячейки в свету. Сетки имеют размеры проходных отверстий от 40 мкм и больше. Размер проходных отверстий рассчитывается по формуле

$$a = \frac{100}{n} - d, \quad (15)$$

где n — число проволок на 100 мм; d — диаметр проволоки в мм.

Металлические фильтровальные сетки, выпускаемые в США, Англии, ФРГ и других странах, имеют разнообразную плотность и характер переплетений. Сетки изготавливаются из меди, никеля, алюминия и его сплавов, фосфористой бронзы, из стали различных сортов (низкоуглеродистой и нержавеющей).

При использовании проволочных сеток необходимо учитывать характер среды, в которой они будут работать. Стальные сетки удовлетворительно работают в сильнощелочных средах. Для фильтрования нейтральных и слабощелочных суспензий более подходящими являются сетки из нержавеющей хромоникелевой стали и фосфористой бронзы. Для кислых суспензий трудно подобрать достаточно стойкую металлическую фильтросетку. Для повышения устойчивости в агрессивных средах проволоки сеток могут иметь гальванические покрытия из олова, цинка, свинца и других металлов, а также защитные покрытия из полимеров, стойких в агрессивных средах.

Проволочные фильтросетки широко применяют для фильтрации и центрифугирования технических суспензий, а также в практике водоснабжения и в инженерной гидрогеологии.

ВОЛОКНИСТЫЕ НЕТКАНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

II.1. ПРОИЗВОДСТВО И СВОЙСТВА НЕТКАНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

II.1.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕТКАНОГО ПОЛОТНА

Производство нетканых материалов и в том числе фильтрующих является экономически эффективной отраслью текстильной промышленности. Нетканые материалы получают по сокращенной технологии без трудоемких процессов прядения и ткачества. При этом существенно повышается производительность труда и сокращается потребная производственная площадь по сравнению с традиционным способом изготовления тканей.

Нетканые текстильные материалы получают из природных и синтетических волокон. Важными операциями в технологии производства технических нетканых материалов являются приготовление настила и скрепление волокон. Для производства фильтрующих нетканых материалов наиболее пригодным является аэродинамический способ приготовления настила. Волокна, разрыхленные струей воздуха, попадают в камеру, в которой закреплена сетка (подложка). Под сеткой поддерживается вакуум, что обеспечивает образование настила заданной толщины на поверхности сетки. При аэродинамическом способе приготовления настила волокна располагаются неориентированно и поэтому получают изотропные фильтрующие материалы, обладающие одинаковыми свойствами в разных направлениях. Для скрепления волокон в настиле применяют клеевые и механические способы. Для материалов, предназначенных для фильтрации жидкостей, чаще применяют клеевой способ. В качестве клеящих материалов рекомендуется латекс СКН-40-ИГП в комбинации с матазином (термореактивная смола). Настил пропитывают раствором латекса, отжимают, сушат при 60—90°С и подвергают термофиксации при температуре 120—130°С в течение 15—20 мин. Фильтрующий материал для очистки нагретых газов скрепляют механически прошивным или игольно-пробивным способами. При механических способах скрепления волокон настила в нетканом материале образуется некоторое количество макропор, размер которых превышает средний размер пор на участках полотна, не нарушенных иглами.

Для производства нетканых фильтрующих материалов клеевым способом применяют в отдельности хлопковые и капроновые волокна либо их смеси в разных соотношениях [3]. В композиции хлопка с капроном основой служит капрон с большой длиной штапеля, а наполнителем — хлопок. Тонковолокнистый капрон заметно увеличивает проницаемость нетканого материала без ухудшения тонкости фильтрации.

Нетканые фильтрующие материалы выпускают Ленинградская им. Ногина, Серпуховская, Красногородская и Моршанская фабрики. Например, нетканый фильтровальный материал Ленинградской фабрики имеет следующую характеристику: масса 1 м^2 170 г, ширина 85 см, толщина 0,6 см; разрывная нагрузка полосы шириной 50 мм продольная 24,8 кгс и поперечная 21 кгс; удлинение 1,6%; воздухопроницаемость 115 л/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$). Нетканый материал для фильтрации из хлопка № 5250 (0,2 текс) имеет следующие свойства: масса 1 м^2 218 г; толщина 0,77 (0,63) мм; прочность на разрыв 70,5 (113,2) кгс/см²; удлинение 10 (16,7)%; средний диаметр пор 63 (50) мкм; воздухопроницаемость 480 (360) л/($\text{м}^2 \cdot \text{мин}$). Цифры, заключенные в скобки, относятся к нетканому материалу, подвергнутому каландрированию. Каландрирование, проведенное при температуре валов каландров около 130°C и нагрузке 50 кгс/см², повышает прочность материала, снижает средний диаметр пор и, следовательно, улучшает тонкость фильтрации.

На проницаемость и тонкость фильтрации нетканого материала существенно влияет величина развески волокна. Например, по данным [4] увеличение развески хлопка 1 м^2 с 44 до 118 г полотна снижает воздухопроницаемость материала с 253 до 128 мл/($\text{мин} \cdot \text{см}^2$), но при этом улучшается тонкость фильтрации с 40 до 15 мкм (минимальные размеры задерживаемых частиц). Исследования в области производства нетканых материалов проводит ВНИИНТМ.

В США, ФРГ и других странах применяют бумагоделательный способ производства нетканых материалов и в том числе фильтровального полотна, нетканое полотно отливают на быстродействующей бумагоделательной машине с последующей сушкой и каландрированием.

Фирма «Дюпон» (США) выпускает нетканые полотна под названием текстрилы, пригодные для фильтрации. Текстрилы изготовляют из найлонового, полиакрилонитрильного, полиэфирного и других штапельных волокон с длиной резки 6,3 мм. В качестве связующего применяют водную суспензию, приготовленную из тех же тонкоизмельченных волокон. Текстрилы формируют на сетке бумагоделательной машины, затем материал сушат и каландрируют. По внешнему виду текстрилы напоминают бумагу, но по прочности на разрыв и по другим механическим показателям они не уступают нетканым текстильным материалам, изготовленным прошивным и клеевым способами.

Обычные столовые бумагоделательные машины все же не обеспечивают выработку качественных нетканых материалов вследствие хлопьеобразования волокон. Для производства нетканых материалов предпочитают применять цилиндрические машины, рекомендуется также применение более совершенных вакуум-формующих машин — ротоформеров. Для выработки нетканых материалов освоены машины — гидроформеры (ФРГ) [5]. На этих машинах отливают бумагу и нетканые материалы с массой на 1 м² от 6 до 2000 г. Волокнистая масса отливается на наклонной сетке гидроформера в условиях интенсивного турбулентного движения, обеспечивающего получение полотна равномерной структуры. В волокнистую массу добавляют связующие в виде латексов или связующих волокон. В ФРГ для выработки нетканых материалов по технологии бумажного производства преимущественно используют волокнистую массу, содержащую до 50% целлюлозных волокон и не менее 50% синтетических волокон (полиамидных, полиакриловых или полиэфирных) [78, 79].

II.1.2. ПРИМЕНЕНИЕ НЕТКАНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Нетканые фильтрующие материалы превосходят фильтроткани по проницаемости и тонкости фильтрации, но уступают им по механической прочности (табл. 13). Однако усовершенствованные способы производства обеспечивают получение нетканых материалов, обладающих прочностью на разрыв до 1 кгс/мм² и выше, приближаясь к прочности тканых материалов. Высокой прочностью и проницаемостью отличаются прошивные нетканые материалы из синтетических волокон. Однако по тонкости фильтрации они уступают клеевым нетканым материалам. Например, прошивное лавсановое полотно из штапельных волокон, прошитых лавсановыми филаментными штиями арт. 931505, имеет следующую характеристику: масса на 1 м² 500 г;

Таблица 13

ФИЛЬТРУЮЩИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ТКАНЫХ И НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Фильтрующий материал	Масса 1 м ² , г	Воздухо- проницае- мость, л/(м ² ·с)	Разрыв- ная нагрузка, кгс/мм ²	Толщина, мм	Тонкость фильтра- ции, мкм
Ткань фильтродиагональ	565	16—18	1,35	1,5	30—40
Нетканый из хлопка 100%	70	62—128	0,65	0,3—0,4	—
Нетканый хлопок 80% + + капрон 20%	140	75—112	0,45	0,48—0,50	20

толщина 1,6 мм; пористость 77,3%; средний размер пор 210 мкм; воздухопроницаемость 11,4 м³/(м²·мин) или 190 л/(м²·с) при потере напора 5 мм вод. ст.; прочность на разрыв полоски 50×250 мм по длине 70 и по ширине 130 кгс или соответственно 0,90 и 1,63 кгс/мм²; термостойкость 140°С. Такое нетканое полотно по прочности не уступает ткани фильтродиагональ и в несколько раз превышает ее по воздухопроницаемости. Лавсановое нетканое полотно пригодно для тонкой очистки нагретых сернистых газов [6].

На заводе Воскресенского объединения «Минудобрения» при производстве экстракционной фосфорной кислоты для фильтрации суспензии фосфогипса на карусельных фильтрах применяют нетканое лавсановое полотно (арт. 931506), изготовленное холстопршивным способом из полиэтилентерефталатного (ПТЭФ) волокна № 3000 [7]. В процессе фильтрации кислой суспензии фосфогипса при температуре 86—90°С фильтровальное полотно быстро засоряется и через 3—4 дня выходит из строя. В связи с этим возникла необходимость гидрофобизации полотна с целью предотвращения его засорения.

В работе [8] при рассмотрении механизма засорения фильтротканей показано, что гидрофобизация ткани предотвращает ее засорение осадками кальцита, гипса и другими инкрустирующими веществами (см. гл. IX). Устойчивая гидрофобизация ткани достигается при условии химического фиксирования гидрофобизатора (аппрета) на волокнах ткани [9].

Применительно к фильтрации пульпы фосфорной кислоты, содержащей фосфогипс, разработан режим гидрофобизации нетканого лавсанового полотна эмульсией кремнийорганической смолы МБ-1. Аппретирование лавсанового полотна проведено на текстильном предприятии в пропиточной ванне с концентрацией смолы МБ-1 15 и 45 г/л. По данным работы [7] аппретирование увеличивает водоупорность полотна в 8—10 раз, а водопоглощение снижает в 2—3 раза, снижается и его удельная электропроводность, что указывает на значительную гидрофобизацию лавсанового полотна при обработке его смолой МБ-1. При этом инкрустация полотна осадком фосфогипса снизилась в 4—5 раз, соответственно срок службы лавсанового нетканого полотна увеличился приблизительно в 6 раз (с 3—4 до 21 дня).

В США для фильтрации различных суспензий и очистки запыленного воздуха широко применяют нетканые фильтрующие материалы. Например, фирма «Америкэн Фелт Компани» специализируется на производстве нетканых материалов для вакуумфильтров и фильтрпрессов из волокон дайнея (хлорина), нейлона и дакрона (лавсана). Фильтрующий материал из дайнея характеризуется следующими показателями: толщина 0,6—0,75 мм; масса 1 м² 17 г; пористость 46%; прочность на разрыв полоски шириной 50 мм 55 кгс; прочность на продавливание 17 кгс/см². Во Франции и ФРГ для фильтрации агрессив-

ных суспензий и обеспыливания воздуха также применяют нетканые материалы из хлориновых и других волокон. Указанная фирма выпускает также фильтровальный фетр (№ 8805), отличающийся высокой тонкостью фильтрации и пригодный для тонкой очистки газов.

Фильтрующие свойства нетканых текстильных материалов еще недостаточно изучены, но по имеющимся данным эти свойства являются удовлетворительными. При небольшом гидравлическом сопротивлении нетканые фильтры проявляют достаточную тонкость фильтрации. Эти фильтры изготовляют из дешевого недефицитного сырья и стоимость их примерно в два раза дешевле фильтротканей из аналогичного материала. Перспективы расширенного производства нетканых материалов благоприятны в связи с применением технологии бумажного производства для их выработки.

II.1.3. ТОНКОВОЛОКНИСТЫЕ НЕТКАНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для изготовления нетканых текстильных фильтров с очень высокой задерживающей способностью применяют ультратонкие полимерные волокна. В США ультратонкие волокна диаметром 0,11—0,22 мкм получают путем распыления расплавленного полимера двумя струями сжатого горячего воздуха (рис. 9). Прочный фильтрующий войлок на движущейся сетчатой ленте получается, если обе струи воздуха сходятся под углом 60—90° С. Фильтры из ультратонкого волокна приобретают особое значение для высокоэффективной очистки газов и воздуха. Применение таких фильтров возможно и для фильтрации жидкостей.

В Советском Союзе распространение получили тонковолокнистые нетканые фильтрующие материалы ФП (фильтры Петрянова) [10]. Для изготовления фильтров ФП применяют волокна перхлорвиниловые, нитроновые, поликарбонатные и другие. Чтобы повысить механическую прочность таких фильтров, их получают на тканевой подложке (марля, бязь, перкаль) или же для скрепления волокон применяют клеевой способ. В физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова разработаны различные виды фильтрующих материалов ФП, которые маркируются по природе волокон и по их ширине, измеряемой путем фотографирования волокон в электронном микроскопе. На-

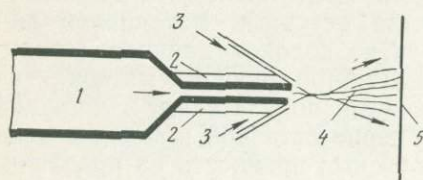


РИС. 9. СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАТОНКИХ ВОЛОКОН:

1 — камера для расплавленного полимера; 2 — теплоизоляция; 3 — подача нагретого воздуха; 4 — распыление полимера; 5 — подложка для тонковолокнистого фильтрующего материала

пример, фильтрам с шириной перхлорвиниловых волокон 1,5; 2,5 и 7,0 мкм присвоены марки соответственно ФПП-15, ФПП-25 и ФПП-70. При маркировке фильтров может указываться и их стандартное сопротивление в мм вод. ст., измеряемое при скорости потока воздуха 1 см/с. Например, фильтр ФПАН-10-3 изготовлен из полиакрилонитрильных волокон диаметром 1 мкм и имеет стандартное сопротивление 3 мм вод. ст. Высокими фильтрующими свойствами обладают комбинированные фильтрующие материалы, изготовленные из смеси тонких и ультратонких волокон. Например, фильтр ФПП-Д состоит из смеси волокон диаметрами 3—4 и 0,3—0,5 мкм. Ультратонкие волокна обеспечивают тонкость фильтрации, а сравнительно толстые волокна повышают механическую прочность и жесткость фильтра.

Фильтры ФП применяют главным образом для тонкой очистки воздуха и газов, но в отдельных случаях они оказываются подходящими и для очистки растворов и фильтрации малоцентрированных суспензий. Для фильтрации жидкостей предназначены фильтры ФПП-20С из перхлорвиниловых волокон и ФПФ-10-3 из фторсодержащих волокон (Ф-42). Первый имеет подложку из толстых перхлорвиниловых волокон, а второй упрочнен проклейкой без подложки.

II.2. БУМАЖНЫЕ И АСБЕСТОЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

II.2.1. ФИЛЬТРОВАЛЬНАЯ БУМАГА

Бумага имеет гетерогенную структуру и состоит из взаимно переплетенных между собой неразрушенных волокон и волокон, фибрилизированных в процессе размола. Волокна в бумаге имеют до 30 контактов на 1 мм длины. Разрушение бумаги, например при разрыве, происходит одновременно в результате нарушения контактов и разрыва отдельных волокон. Прочность бумаги в основном определяется прочностными показателями волокон. Например, бумаги, полученные из сульфитной целлюлозы, которая в процессе варки подвергается деструкции, снижающей степень ее полимеризации, по прочности значительно уступают бумагам, отлитым из сульфатной небеленой целлюлозы. Волокна последней имеют более высокую степень полимеризации и поэтому более прочны и менее дефектны.

Многие свойства бумаги теперь объясняют на основе теории водородных связей [11]. Например, при увлажнении бумаги вода раздвигает волокна и разрушает межволоконные водородные мостики, которые заменяются менее прочными водяными мостиками, при этом снижается механическая прочность бумажного листа. Кроме того, вода, выполняя роль смазки, уменьшает взаимное трение волокон, что также снижает прочность

бумаги. Водоустойчивость бумаги повышают пропиткой ее различными смолами или же обработкой реагентами, способствующими сшиванию макромолекул целлюлозы. Образующиеся мостиковые связи между макромолекулами уменьшают молекулярную подвижность и повышают прочность и водоустойчивость бумаги.

Важным показателем структуры фильтровальной бумаги является ее пористость, определяющая газопроницаемость и фильтрующую способность бумаги по отношению к жидкостям и суспензиям. Пористость бумаги, выраженная в долях единицы, определяется отношением объема пор к общему объему бумаги. Наиболее пористые фильтровальные бумаги имеют плотность порядка $0,4 \text{ г/см}^3$ и объем пор к общему объему бумаги достигает 0,8. В настоящее время выпускается широкий ассортимент фильтровальных бумаг со средними диаметрами пор от 1 до 15 мкм и более и пригодных для работы в температурном интервале от минус 40 до плюс 150°C . Методы исследования структуры и свойств бумаги изложены в работе [12].

Виды и свойства фильтровальных бумаг. Вырабатывают лабораторную и техническую фильтровальную бумагу. Лабораторную бумагу изготавливают из белой целлюлозы, а также из тряпичной полумассы и из смеси ее с целлюлозой. Волокнистый материал для изготовления аналитических фильтров должен быть почти беззольным и содержать α -целлюлозы свыше 90%.

Техническую фильтровальную бумагу применяют для фильтрации различных суспензий, технических масел, вин, жидкого топлива, а также для обеспыливания воздуха и очистки других газов. Бумагу для таких фильтров вырабатывают преимущественно из сульфатной целлюлозы и хлопка с добавкой небольшого количества асбестовых волокон. В табл. 14 приведена характеристика фильтровальной бумаги пяти марок [11]. Из табл. 14 видно, что с увеличением диаметра пор воздухопрони-

Таблица 14

ХАРАКТЕРИСТИКА (СВОЙСТВА) ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ БУМАГИ

Масса 1 м ² , г	Толщина, мкм	Разрывной груз X9,8Н в направлении		Средний диаметр, мкм	Воздухо- проница- емость, мл/мин	Сопротивление издому, число пере- гибов в направлении	
		продоль- ном	попереч- ном			продоль- ном	попереч- ном
81,4	147	8,70	4,2	3,7	63	556	264
80,4	189	4,85	1,93	7,8	1158	—	—
81,5	186	4,23	2,42	9,8	1258	119	29
81,1	193	3,90	1,75	11,5	1323	22	2
78,6	194	2,97	1,58	13,0	1654	9	8

цаемость бумаги возрастает, но при этом снижаются ее механическая прочность и сопротивление излому, особенно в поперечном направлении. Равнопрочную (изотропную) фильтровальную бумагу можно получить сухим способом на бумагоделательной машине аэродинамического формования. В листообразующей части такой машины волокна в дезориентированном состоянии под вакуумом оседают на сетке, затем волокнистый слой проходит клеевую ванну, сушится, далее бумага каландрируется и наматывается на накат.

Техническая фильтровальная бумага для фильтрации масел и водных суспензий должна удовлетворять следующим условиям: масса 1 м² 275 г; сопротивление продавливанию не менее 1 кгс/см²; впитываемость (высота всасывания воды за 10 мин) не менее 50 мм; воздухопроницаемость на площади 10 см² при вакууме 100 мм вод. ст. 450 мл/мин; зольность не более 0,65%; влажность 7%; рН водной вытяжки 5,6—8,0.

В табл. 15 приведены фильтрующие свойства отдельных марок бумаги. Из таблицы следует, что проницаемость бумаг быстро снижается с повышением их тонкости фильтрации. Перечисленные марки бумаги обеспечивают высокую тонкость фильтрации, выраженную минимальными размерами задерживаемых частиц (мкм). Бумага марки В пригодна для ультрафильтрации.

Для очистки запыленного воздуха от тонкой пыли в кассетных фильтрах применяют алигнин (целлюлоза, освобожденная от лигнина), шелковку (шелковистая пористая бумага), вырабатываемую из хлопка, и бумагу из смеси асбестовых и целлюлозных волокон. Бумага имеет толщину 0,2—1,5 мм и укладывается в кассеты фильтра в виде нескольких слоев с гофрированными или другими разделителями (сепараторами).

В странах Западной Европы фильтровальную бумагу для очистки запыленного воздуха получают из смеси тонких и грубых волокон (0,5—2 мкм), диспергированных в определенных пропорциях в репульпаторах перед поступлением на бумагоде-

Таблица 15

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА БУМАГИ

Марка бумаги	Проницаемость, мл/мин	Тонкость фильтрации, мкм	Марка бумаги	Проницаемость, мл/мин	Тонкость фильтрации, мкм
АФБ-1К	850	8—12	Техническая (ГОСТ 6722—75)	150	3,7
АФБ-5	700	5—7			
БФМ (ТУ 81.04.2—70)	—	5—10	В (ГОСТ 7247—73)	50	1,7

лательную машину. В пульцу добавляют связующие смолы, повышающие механические и фильтрующие свойства бумаги. Толщина бумаги также 0,2—1,5 мм. По данным Всесоюзного научно-исследовательского института бумажной промышленности увеличение объемной массы фильтровальной бумаги свыше 0,5 г/см³ резко увеличивает ее гидравлическое сопротивление при незначительном улучшении тонкости фильтрации.

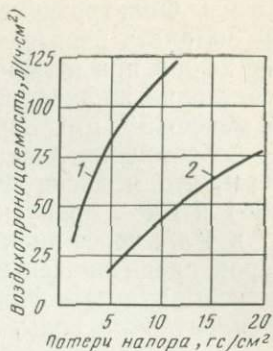
Для фильтрации суспензий требуется прочная фильтровальная бумага. Для упрочнения бумаги применяют различные виды армирования. Наиболее простой вид армирования осуществляется путем нанесения на поверхность бумаги тонкого стеклянного волокна. Причем короткие стеклянные волокна с помощью сжатого воздуха рассеиваются по бумажному полотну во время его отлива на бумагоделательной машине (ФРГ), что существенно повышает прочность бумаги. При другом способе армирования применяют сетку из стеклянного волокна, которая накладывается на полотно также во время отлива бумаги на двухсеточной бумагоделательной машине. Причем указанная сетка может располагаться между двумя бумажными полотнами при их склеивании путем каландрирования.

Для производства фильтровальной бумаги применяют также композиции из целлюлозных и стеклянных волокон или с добавкой к целлюлозе синтетических полимерных волокон. Перспективной является фильтровальная бумага, вырабатываемая из целлюлозы с добавкой 10% стекловолокна. Перед поступлением на бумагоделательную машину смесь волокон диспергируют в репульпаторах с введением связующего: поливинилацетат, фенольные смолы и синтетические латексы, упрочняющие бумагу. Такая бумага обладает хорошими фильтрующими свойствами и имеет высокую прочность в сухом и влажном состоянии.

Фильтровальную бумагу с высокой фильтрующей способностью вырабатывают из смеси тонкого и ультратонкого стекловолокна. Стеклянные волокна хрупки и не фибрируются и поэтому их не подвергают продолжительному размолу. Стекловолокно измельчают в ролле в течение 15 мин при рН 3,0—3,5. Подкисленная вода повышает сцепляемость стеклянных волокон. В качестве связующих применяют синтетический латекс и силиконы. Фильтровальная бумага из чистого стекловолокна наряду с высокими фильтрующими свойствами является устойчивой в термическом и химическом отношении и употребляется для очистки горячих газов и для фильтрации тонкодисперсных кислых суспензий. Такую бумагу применяют в фильтрах для тонкой очистки воздуха, например для удаления радиоактивной пыли из воздуха в помещениях атомных установок. Благодаря тонкости фильтрации и удобству стерилизации возможно применение стеклянной бумаги в медицине и фармакологии. Из ультратонких стеклянных волокон изготавливают пухлую филь-

РИС. 10. ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ БУМАГИ:

1 — толщина 0,16 мм, размеры пор 34 мкм; 2 — толщина 0,30 мм, размеры пор 12 мкм



травальную бумагу, которая задерживает даже частицы табачного дыма размерами 0,05—0,1 мкм.

В ФРГ вырабатывают весьма термостойкую фильтровальную бумагу из кварцевого волокна. Такая бумага обладает высокими фильтрующими свойствами проницаемости и задерживающей способности по отношению к самой тонкой взвеси вплоть до получения стерильного фильтрата.

Преимуществом бумажных фильтров является высокая проницаемость и тонкость фильтрации. На рис. 10 приведены кривые, характеризующие воздухопроницаемость двух видов фильтровальной бумаги в зависимости от потери напора [79]. Даже при малой потере напора воздухопроницаемость фильтровальных бумаг достигает значительной величины, особенно это относится к крупнопористой бумаге (кривая 1).

Фильтровальная бумага за исключением особых марок является дешевым материалом разового употребления и регенерация ее фильтрующей способности с целью повторного использования в большинстве случаев нерентабельна.

11.2. СПРЕССОВАННЫЕ АСБЕСТОЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Для тонкой очистки растворов, воды и различных соков, а также для получения стерильных фильтратов применяют спрессованные асбестоцеллюлозные листы (пластины). Фильтрующие листы, применяемые для промышленной фильтрации в фильтрпрессах, выпускают трех марок: Ш, Т и Ф под названием фильтровальный картон. Для производства картона употребляют облагороженную сульфитную целлюлозу в виде усредненной смеси с асбестом, обладающим адсорбционными свойствами.

Картон марки Ш содержит 6—10% хризотилового асбеста и выпускается в виде листов размерами 400×300 и 620×610 мм и должен удовлетворять следующим требованиям: при скорости фильтрации воздуха 50 см/мин потери напора не более 50—80 мм вод. ст. и сопротивление продавливанию не менее 1,7 кгс/см².

Асбестоцеллюлозные листы марки Ф выпускаются в форме дисков, имеющих диаметр от 35 до 500 мм и толщину 3,5 и

4,5 мм. Фильтрующие диски марки Ф диаметром 300 мм должны обладать пропускной способностью по воде при 20°C не менее 24 л/ч при напоре 1,3 кгс/см². Диски Ф предназначены для осветления жидкостей от тонкой взвеси и должны задерживать не менее 85% микроорганизмов.

Асбестоцеллюлозные стерилизующие диски имеют те же размеры, что и диски Ф, и выпускаются следующих марок: СФ, СФ-1 и СФ-2 пропускной способностью по воде соответственно 5,7 и 4 л/ч через диск диаметром 300 мм. Диски перечисленных марок предназначены для разового употребления с целью стерилизации путем фильтрации биологических и медицинских препаратов и воды.

Спрессованные асбестоцеллюлозные листы выпускает фирма «Зейтц» (ФРГ) в форме дисков диаметром до 600 мм, квадратной формы 400×400 и 600×600 мм и специальных форм 1000××2000 мм. Толщина листов в зависимости от их назначения находится в пределах 2—6 мм.

По своему назначению листы фирмы «Зейтц» имеют разветвленную классификацию и образуют четыре серии (группы) фильтрующих элементов. В каждой серии листы пронумерованы по проницаемости и тонкости фильтрации.

Серия листов под названием «Зейтц-К» образует следующий ряд по возрастающей тонкости фильтрации: 0, 2, 3, 5, 7 и 10. Эта серия листов рекомендуется для очистки и осветления замутненных жидкостей, листы марки 0 — для улавливания грубых взвесей, а листы 7 и 10 — для очистки жидкостей от тонкой и коллоидной взвеси.

Листы серии «Зейтц-Ко» (Комет-теорит) по сравнению с «Зейтц-К» имеют более рыхлую структуру и предназначены преимущественно для фильтрации жидкостей с высокой вязкостью и для улавливания объемистых, клейких и желатинообразных частиц. По проницаемости листы «Зейтц-Ко» превосходят «Зейтц-К», но по тонкости фильтрации уступают им.

Листы серии 400 с толщиной слоя около 2 мм тоньше листов серии «Зейтц-Ко», они имеют повышенную проницаемость и рекомендуются для очистки больших объемов жидкостей. Листы серии 400 могут поставляться пропитанными, сохраняющими одинаковую прочность в сухом и мокром состоянии, благодаря чему их можно многократно использовать с применением регенерации путем промывки.

Листы серии 1250 предназначены для очистки растворов и других жидкостей, содержащих взвесь лиофильного характера. Листы 1250 имеют толщину слоя 6 мм и отличаются высокой шламоемкостью, что обеспечивает им длительный срок службы.

ФИЛЬТРУЮЩИЙ НАМЫВНОЙ СЛОЙ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

III.1. МАТЕРИАЛЫ НАМЫВНОГО СЛОЯ

III.1.1. ФИЛЬТРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ

Фильтрующий элемент с намывным слоем состоит из дренирующего основания и намывного слоя из зернистого или волокнистого материала. В качестве дренирующих оснований служат металлические и полимерные сетки, фильтровальные ткани, пористая керамика и металлокерамика, проволочные щелевые сетки из круглой или профилированной проволоки.

В качестве наполнителей для намывного слоя применяют целлюлозную или бумажную массу, древесную муку, диатомит (кизельгур), вспученный перлит, диспергированный асбест и другие зернистые и волокнистые материалы, образующие при фильтрации пористые слои, удовлетворяющие требованиям производства в отношении скорости и тонкости фильтрации. Намывной слой заданной толщины формируют на дренирующем основании путем предварительного фильтрования разбавленной суспензии наполнителя и затем уже этот слой служит фильтрующей средой для фильтрации основной суспензии (рис. 11).

Наиболее распространенные зернистые наполнители для намывного слоя представлены порошками диатомита и вспученного перлита. На дренирующем основании (сетка, ткань) намывной слой формируют путем фильтрации суспензии с содержанием фильтровального порошка от 2 до 10 г/л. Толщина слоя 1,5 мм в большинстве случаев обеспечивает достаточную тонкость фильтрации. Расход порошка составляет 200—800 г/м².

Фильтровальные порошки применяют и в качестве вспомогательного фильтрующего средства (наполнителя) при фильтрации весьма разбавленных суспензий, образующих сжимаемые осадки с высоким гидравлическим сопротивлением. Порошок диатомита или перлита дозируют в количестве, приблизительно равном содержанию взвеси в фильтруемой суспензии. Наполнитель способствует формированию проницаемых осадков и предотвращает образование на поверхности фильтрующего слоя труднопроницаемой пленки.

Наполнитель должен хорошо смачиваться фильтруемой жидкостью и после образования намывного слоя удерживаться на дренирующей подложке и не давать трещин. Важно, чтобы

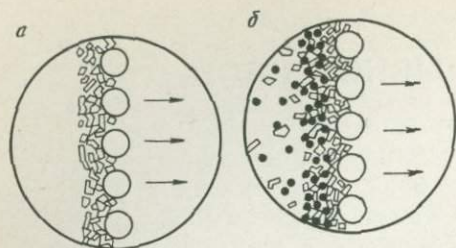


РИС. 11. СХЕМА РАБОТЫ НАМЫВНОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО СЛОЯ:

а — после намыва фильтрующего порошка; б — в процессе осветления жидкости

наполнитель не растворялся в фильтруемой жидкости и не взаимодействовал с ней. Например, диатомитовые и перлитовые порошки, содержащие кремнекислоту, взаимодействуют с каустической щелочью и поэтому их не применяют при фильтрации щелочных суспензий. Последние предпочитают фильтровать через целлюлозный или бумажный намывной слой, который не взаимодействует с кислыми, нейтральными и щелочными суспензиями и не загрязняет фильтрат вредными примесями.

III.1.2. НАМЫВНОЙ СЛОЙ ИЗ ДИАТОМИТА

Состав и подготовка диатомита. Масса диатомита состоит из мельчайших кремнистых водорослей — диатомей. Панцири таких водорослей сложены в основном из двуокиси кремния и представлены полными опаловыми тельцами размерами 0,03—0,15 мм. Полые кремниевые скелетообразные частицы обуславливают высокую пористость и легкость диатомита. Объемная масса диатомитов в куске в зависимости от количества полых панцирей и минеральных примесей (глина, кварц, вулканический пепел) составляет 0,425—1,25 т/м³, а пористость достигает 75—80% и выше.

Для фильтрации диатомит применяют в виде порошка, который получают путем измельчения исходного сырья. Измельчением предусматривается лишь отделение панцирей диатомов друг от друга, но не измельчение их. Для измельчения диатомита наиболее пригодными являются молотковые мельницы и дезинтеграторы, обеспечивающие разделение отдельных структурных элементов диатомитов без нарушения естественной микропористой структуры материала. Глинистые вещества удаляют путем отмучивания. Для устранения вредного влияния органики диатомиты обжигают при температуре до 1000°С. Фильтрующие свойства диатомита улучшаются при обжиге с добавкой поваренной соли, которую дозируют в количестве, эквивалентном содержанию железа. Обжиг повышает стойкость диатомитов в кислых и других агрессивных средах. По техническим условиям химической промышленности обожженный диатомит должен содержать, %: $\text{SiO}_2 \geq 90$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 2,0$; влаги $\leq 2,0$; п.п.п. $\leq 0,3$ и остаток на сите 0,3 мм не должен превышать 1% (ТУ МХП 293—55).

Обнаружено много разновидностей диатомитов, но далеко не все они пригодны для производства фильтровальных порошков. Например, диатомиты глубинных месторождений менее пористы, в суспензии быстро расслаиваются и проявляют невысокие фильтрующие свойства. Пористость и форма частиц диатомитов оказывают существенное влияние на их фильтрующие свойства. Дискообразные формы диатомитов менее пригодны для фильтрации. Диатомиты, содержащие скелетообразные панцири преимущественно иглообразной и ланцетообразной формы, образуют намывной слой, в котором сочетается тонкость фильтрации с высокой проницаемостью. Тонкость фильтрации обусловлена малыми размерами живого сечения извилистых монодисперсных пор (капилляров) а высокая проницаемость обеспечивается очень большим количеством проходных пор на единице площади фильтра.

Значительные залежи диатомитов обнаружены на территории Армянской ССР и в других районах Советского Союза. Наиболее крупными месторождениями являются Кисатибское, Кировоградское, Инзенское и Камышловское. Кировоградский завод выпускает фильтровальные порошки двух марок: Кизельгур № 1 (мелкий) и Кизельгур № 2 — крупнозернистый. Инзенский завод фильтровальных порошков (Ульяновская обл.) также выпускает диатомитовые порошки, применяемые в качестве вспомогательного фильтрующего и адсорбирующего материала. Однако производство и потребление фильтровальных порошков пока еще недостаточно развито. Необходимо дальнейшее увеличение выпуска и расширения ассортимента фильтрующих порошков и повышение их качества.

Зарубежные марки диатомита. В США, Японии и странах Западной Европы выпускают фильтровальные порошки под различными названиями. Например, в США поставщиком фильтровальных диатомитовых порошков выступает фирма «Мэнвилл», разрабатывающая месторождение высококачественных диатомитов в Калифорнии. Фирма «Мэнвилл» выпускает девять торговых марок порошков под названием «целит».

Порошки целит инертны, имеют малую объемную массу 0,272—0,513 т/м³, высокую пористость и термостойкость. Температура плавления целита 1433° С. В целите содержится 90% SiO₂ и в качестве примесей присутствуют соединения Al, Fe, Ca, Mg, Ti и Na. Необожженный целит имеет светло-серый цвет, а обожженный — светло-розовый. Водная вытяжка из целита имеет рН 5—9. Порошки целита подразделяют на отдельные сорта по гранулометрическому составу, величине пористости и по характеру специальной предварительной обработки. Применение отдельных сортов диатомита определяется необходимой степенью очистки растворов или воды и требуемой скоростью фильтрации.

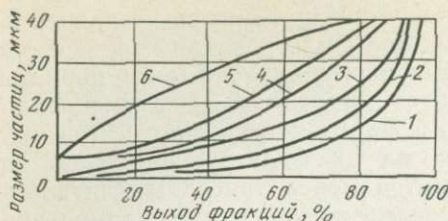


РИС. 12. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ МАРОК ЦЕЛИТА ФИРМЫ «МЭНВИЛЛ» (США):

1 — фильтр-цел; 2 — супер-цел; 3 — хюфло-супер-цел; 4 — целит 503; 5 — целит 535; 6 — целит 545

На рис. 12 приведены кривые гранулометрического состава торговых марок целита фирмы «Мэнвилл», а в табл. 16 даны сравнительные показатели их фильтрующих свойств, выраженные в относительных единицах. В качестве эталона сравнения принят порошок фильтр-цел, проницаемость и задерживающая способность которого приравнены 100.

Порошок фильтр-цел содержит около 70% частиц менее 10 мкм и только 2,5% — более 40 мкм (см. рис. 12). При намыве этот порошок образует тонкопористый слой, который при фильтрации улавливает из раствора самую тонкую взвесь с размерами частиц до 0,1 мкм. Сравнительно крупный порошок целит 545 содержит 24% фракции крупнее 40 мкм и только 5,5% мельче 10 мкм. Порошки целит 535, 545 и 560 при намыве образуют слои с высокой проницаемостью. Эти порошки употребляют в наибольших количествах. Остальные порошки по своим фильтрующим свойствам занимают промежуточное положение.

Японская фирма «Миура» выпускает несколько типов фильтров для работы с намывным слоем из диатомита и других фильтрующих порошков. Фильтры предназначены для очистки воды, соков, пищевых и смазочных масел и агрессивных жидкостей. Для формирования намывного слоя требуется диатомита 0,6 кг на 1 м² фильтрующей поверхности.

Скорость фильтрации при очистке воды, пищевого и смазочного масла соответственно равна 3,0; 0,7 и 0,2 м³/(м²·ч) при тонкости фильтрации меньше 1 мкм.

Таблица 16

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ОТДЕЛЬНЫХ МАРОК ДИАТОМИТА ПО ДАННЫМ ФИРМЫ «МЭНВИЛЛ»

Марка диатомита	Проницаемость	Задерживающая способность	Марка диатомита	Проницаемость	Задерживающая способность
Фильтр-цел	100	100	Целит 503	910	41,5
Целит 577	115	98	Целит 535	1269	34,6
Стандартный супер-цел	213	85	Целит 545	1830	31,6
Целит 512	326	76	Целит 560	2670	28,7
Хюфло-цел	534	57,5			

ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ЗАДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ
ДИАТОМИТОВЫХ ПОРОШКОВ ДИКАЛИТ

Марка дикалита	Проницае- мость	Размеры задерживае- мых частиц, мкм	Марка дикалита	Проницае- мость	Размеры задерживае- мых частиц, мкм
Суперэйд	100	0,10	Спидекс	1000	0,80
Спидфлоу	200	0,50	Дикалит 4200	1800	1,10
Спидплус	720	0,75	Дикалит 5000	2150	—

Фирма «Дикалит» (США) выпускает фильтровальные порошки на основе диатомита и перлита под названием дикалит (табл. 17). Проницаемость эталонного порошка суперэйд приравнена 100. Аналогичные фильтровальные порошки выпускает фирма «Сеса» (Франция).

III.1.3. НАМЫВНОЙ СЛОЙ ИЗ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА

Для намыва фильтрующего слоя применяют также вспученный перлит, который по своим физико-механическим и фильтрующим свойствам приближается к диатомиту. Перлит является кислой вулканической породой, содержащей магматическую цеолитовую воду. Перлит способен вспучиваться при нагревании до 1000—1200°С с увеличением объема в несколько раз против первоначального. Вспучивание нагретого перлита обусловлено содержанием в нем изолированной молекулярной воды и карбонатов и свойством перлита переходить в пиропластическое состояние. Вспученный перлит применяют в производстве стройматериалов. Для фильтрации порошки перлита (фильтроперлит) получают путем обжига мелкоизмельченного высококачественного сырья в шахтной печи.

Фильтрационные свойства перлитового намывного слоя определяются структурой частиц, послуживших для его образования. Обломочные чешуйчатые частицы с рваными краями при намыве формируют каркасную структуру слоя, в котором открытые поры образуют сложную извилистую сеть капилляров. Каркасная структура намывного слоя обеспечивает удовлетворительную проницаемость при достаточной тонкости фильтрации и устойчивости против засорения. Изодиаметричные частицы в форме зерен, напротив, при намыве образуют плотную структуру слоя, неблагоприятную для фильтрации.

Для получения качественного порошка фильтроперлита применяют форсированный режим вспучивания. Сырой перлит непосредственно поступает в высокотемпературную зону печи,

быстро вспучивается с разрывом частиц и раскрытием пор. При этом получают пористый порошок объемом, приблизительно в 20 раз превышающим объем исходного перлита. Технология производства фильтровальных порошков на основе перлита разработана в киевском НИИСМИ [13].

В Советском Союзе обнаружены месторождения перлитовых пород, пригодных для производства фильтровального порошка. Высококачественными являются перлиты Арагацкого месторождения (Армянская ССР) следующего состава (в %): SiO_2 73,86—74,70; Al_2O_3 12,46—13,43; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 7,40—8,19; Fe_2O_3 0,74—0,87; CaO 0,56—0,82; MgO 0,10—0,42; SO_3 0,08—0,20; п.п.п. 3,26—3,69. На базе перлитов Арагацкого месторождения на Мытищинском заводе стеновых и теплоизоляционных материалов организован цех производства фильтроперлита с первоначальной производительностью 4000 м³/год [14]. Перлитовый порошок Мытищинского завода содержит 43,3% фракции тоньше 10 мкм и 51,3% фракции 10—40 мкм, имеет насыпную массу 1000 кг/м³, удельную поверхность 8000 см²/г и по своим физическим и фильтрационным свойствам не отличается от импортного фильтроперлита.

Перлитовые породы Закарпатского (УССР) и Мухор-Талинского (Бурятская АССР) месторождений по своему составу и свойствам уступают арагацким перлитам, но также могут служить для производства фильтровального порошка.

Зарубежные перлитовые порошки. В зарубежной практике фильтрующие перлитовые порошки по общему объему производства превосходят диатомитовые. В Западной Европе и США поставщиками фильтрующих перлитовых порошков выступают фирмы «Перлито» (Италия) и «Грейт Лэйкс Карбон корпорейшн» (США). По величине проницаемости в намывном слое перлитовые порошки превосходят диатомитовые, но значительно уступают им по тонкости фильтрации.

В странах Западной Европы производят смешанные диатомито-перлитовые фильтрующие порошки (целиты) на специализи-

Таблица 18

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ДИАТОМИТО-ПЕРЛИТОВЫХ ПОРОШКОВ ЦЕЛИТ

Порошок	Проницаемость	Тонкость фильтрации	Удельный объем в мокром состоянии, кг/м ³
Фильтр-цел	100	100	—
Целит у-208	200	70	185
Целит у-2	560	45	170
Целит у-10	975	30	155
Целит у-100	1300	24	160

рованных высокомеханизированных установках по тщательно разработанной технологии. Особое внимание уделяется подготовительной обработке сырых материалов. Готовые порошки почти не содержат балластных и неактивных с точки зрения фильтрации примесей. Порошки строго классифицируются по пропускной способности и тонкости фильтрации. В табл. 18 приведены фильтрующие свойства целитов. В качестве эталона принят фильтр-цел, фильтрующие свойства которого приравнены 100 (см. табл. 16).

III.2. ПРИМЕНЕНИЕ НАМЫВНОГО СЛОЯ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

III.2.1. ФИЛЬТРУЮЩИЕ ПОРОШКИ НА ЛИСТОВЫХ И ПАТРОННЫХ ФИЛЬТРАХ

Условия применения. Для формирования намывного слоя из числа порошковых материалов в наибольших количествах применяют диатомит (кизельгур) и фильтроперлит. Применяют также древесную муку хвойных пород № 180 и 250, которую после использования можно частично регенерировать или сжечь. Древесная мука является доступной, так как ее в больших количествах употребляют в качестве наполнителя при производстве пластмасс. Древесная мука при работе в кислых и щелочных средах не загрязняет фильтр вредными примесями.

Применение вспомогательных фильтрующих порошков в различных отраслях промышленности неуклонно возрастает. Намывные слои из фильтрующих порошков не только механически задерживают взвешенные частицы, но и проявляют сорбционную способность по отношению к пигментам, смолам, слизи и другим коллоидным и эмульгированным веществам. Фильтры с намывным слоем из диатомита и перлита применяют в нефтедобывающей промышленности для окончательной очистки промысловых сточных вод, содержащих до 100 мг/л нефти и нефтепродуктов. По данным зарубежной практики на крупных ТЭЦ (ГДР, США, ФРГ) обезмасливание конденсата на фильтрах с намывным слоем из диатомита экономически выгоднее, чем на стандартных фильтрах с активированным углем. При фильтрации конденсатов с целью их обезжелезивания намывные фильтры задерживают до 95% содержащегося в них железа.

В последнее время фильтры с намывным слоем из порошков диатомита и перлита все шире применяют для очистки самых различных жидкостей и для фильтрации разбавленных суспензий, а также для очистки коммунальных и промышленных сточных вод. Находит применение намывной слой из порошков в процессах водоподготовки для осветления и обесцвечивания воды. Для очистки воды, содержащей 2—5 мг/л взвешенных частиц, ограничиваются намывом слоя порошка малой толщины

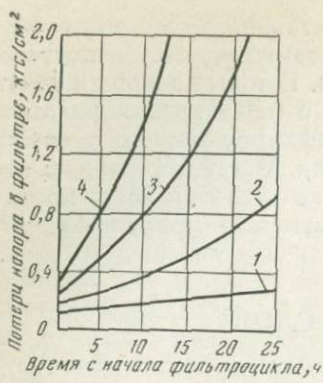


РИС. 13. ПОТЕРИ НАПОРА В НАМЫВНОМ СЛОЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ФИЛЬТРОЦИКЛА И СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ, М/Ч;
1 — 0,5; 2 — 1; 3 — 2; 4 — 3

в пределах 2—3 мм. Для этого необходимо 400—600 г порошка на 1 м² фильтрующей поверхности для возобновления намывного слоя перед каждым циклом фильтрации. В качестве дренающей подложки, как и для других намывных фильтров.

применяют проволочные или полимерные сетки из лески размерами отверстий 100—150 мкм. В процессе намыва слоя суспензию порошка с концентрацией 3—4 г/л фильтруют со скоростью 3—5 м/ч. Приблизительно с такой же скоростью фильтруют и осветляемую воду. Потери напора в намывном фильтре зависят от скорости фильтрации и продолжительности фильтроцикла (рис. 13) [14]. На продолжительность фильтроцикла влияет и гранулометрический состав порошка. Для намыва диатомитовых фильтров применяют фракции порошка 20—40, 40—60 и 60—80 мкм. Намывной слой из порошка 20—40 мкм удаляет из речной воды 90—95% взвешенных частиц и на 50—70% снижает цветность воды. В табл. 19 по данным работы [15] приведена характеристика фильтрующих порошков, применяемых для очистки воды.

В технике водоподготовки широкое распространение получили зернистые фильтры. Стоимость осветления воды на зернистых фильтрах несколько ниже, чем на намывных, но последние значительно компактнее первых. При равной производительности площадь, занимаемая листовыми намывными фильтрами, в несколько раз меньше, чем зернистыми.

В зарубежной практике для фильтрации с намывным слоем применяют компактные листовые фильтры «Ниагара» с большой

Таблица 19

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРУЮЩИХ ПОРОШКОВ

Порошок	Размер частиц, мкм	Плотность, г/см ³	Насынная плотность, кг/м ³	Скорость фильтрации, м/ч	Потери напора в фильтрующем слое, кгс/см ²
Диатомит кировоградский	3—75	2,2	465	3	0,09
Фильтроперлит	5—100	1,69	73	3	0,08
Диатомит марки целит 595 (США)	5—60	2,9	220	3	0,085

фильтрующей поверхностью [80]. В Советском Союзе получают распространение листовые вертикальные фильтры ЛВ-130, ЛВАЖ-125 и другие для работы с намывным слоем [15]. Листовые фильтры преимущественно применяют для очистки различных жидкостей от дисперсной взвеси и для разделения весьма разбавленных суспензий. Для фильтрации сравнительно концентрированных суспензий, содержащих коллоидные и липкие вещества, которые быстро закупоривают поры фильтрующих материалов, возникает целесообразность применения барабанных вакуум-фильтров, приспособленных для работы с намывным слоем.

Намывной слой из порошков ионитов. В течение последних лет повышается интерес к использованию порошков ионитов для образования намывного слоя. Например, намывной смешанный слой из порошков анионита и катионита обеспечивает глубокую очистку воды от кремниевой кислоты, соединений железа, меди и других металлов.

В зарубежной практике на паросиловых установках для обезжелезивания конденсата применяют фильтры с намывным слоем из ионитовых порошков фирмы «Грейвер» (США). Дренажным основанием для намывного слоя служат патроны, покрытые чехлом из фильтроткани, на поверхности которой наращивается намывной слой ионитового порошка размерами частиц 50 мкм. Обычно применяют смесь порошков анионита в ОН-форме и катионита в NH_4 -форме при соотношении 1:1. Суспензия для намыва содержит 2—3% ионитового порошка, расход которого для наращивания намывного слоя составляет около 1 кг/м². Перепад давления в начале фильтрования 0,2—0,3 и в конце — 1,75—2,61 кгс/см². В зависимости от загрязненности конденсата продолжительность фильтроцикла колеблется в пределах от 1 сут при пуске блока до 2 недель и более в период нормальной работы при средней скорости фильтрации 10 м³/(м²·ч). Ионитовые намывные фильтры очищают конденсат от кремниевой кислоты и окислов железа и меди, при этом общее солесодержание при пуске блока снижается с 10000 до 25 мкг/кг и при нормальной работе с 30 до ≤ 10 мкг/кг.

На отечественных паросиловых установках также осваивается процесс очистки конденсата на фильтрах с намывным слоем из порошков ионитов с применением в качестве дренажного основания капроновой фильтроткани [16]. Разработана конструкция патронного фильтра с намывным ионитовым слоем. Показана возможность измельчения ионитов на струйной мельнице до крупности 50—70 мкм, хотя при этом и возникают некоторые затруднения.

Ионитовые намывные фильтры представляют интерес для очистки оборотной воды и стоков гидрохимических и гидрометаллургических процессов с попутным доизвлечением ценных составляющих. При этом вполне возможно использование ионитов,

некондиционных по гранулометрическому составу. Например, для сорбционного цианирования золотосодержащих руд в пачуках возможно использование порошков ионитов только с размерами частиц крупнее 300 мкм. Отсев мельче 300 мкм не используется, но после доизмельчения является вполне пригодным для наращивания намывного слоя ионитовых фильтров. В процессе элюирования десорбируются поглощенные вещества и восстанавливается сорбционная способность ионитов для повторного употребления.

III.2.2. ФИЛЬТРУЮЩИЕ ПОРОШКИ НА БАРАБАННЫХ ФИЛЬТРАХ

Барабанные вакуум-фильтры для фильтрации с намывным слоем выпускают фирмы «Оливер» (США), «Краус-Маффей-Империал» (ФРГ). Конструкция таких фильтров имеет свои особенности, но в основном базируется на узлах типовых барабанных фильтров. Непрерывное обновление поверхности намывного слоя обеспечивает съемный нож из нержавеющей стали с гидравлическим или механическим устройством для микрометрической подачи его на величину от 0,01 до 0,1 мм и больше за один оборот барабана (рис. 14). После срезания намывного слоя до установленной минимальной толщины микрометрический механизм выключается и нож ускоренным движением возвращается в исходное положение. После выпуска из ванны остатка неотфильтрованной суспензии и смыва с поверхности фильтра остаточного намывного слоя ванна фильтра наполняется суспензией порошка и производится наращивание свежего намывного слоя. Толщина наращиваемого намывного слоя находится в пределах 50—100 мм и толщина остаточного слоя в конце цикла фильтрации 3—6 мм. Необходимая величина микрометрической подачи ножа определяется глубиной проникновения дисперсной фазы суспензии в толщу намывного слоя. Обычно фильтрующая поверхность достаточно очищается при срезании намывного слоя толщиной не более 0,1 мм. Например, при срезании намывного слоя с начальной толщиной 75 мм до конечной — 4 мм при подаче ножа 0,1 мм в течение одного оборота барабан фильтра сделает 710 оборотов.

Изготовлен образец отечественного барабанного вакуум-фильтра для работы с намывным слоем. При испытании фильтра БТР 20-2,6 на примере фильтрации суспензии метатиновой кислоты получены положительные результаты и показано технико-экономическое преимущество барабанного фильтра с намывным слоем по сравнению с применяемыми листовыми фильтрами типа Мура [17].

Имеются существенные различия в кинетике процесса фильтрации на барабанном и листовом фильтрах с намывным слоем. Скорость фильтрации на барабанном фильтре при постоянном напоре не снижается в течение всего цикла или даже постепен-

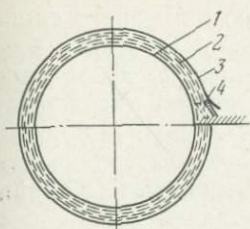


РИС. 14. СХЕМА РАБОТЫ БАРАБАННОГО ФИЛЬТРА С НАМЫВНЫМ СЛОЕМ:
1 — дренажная подложка на барабане;
2 — намывный слой; 3 — срезаемый засоренный слой; 4 — нож с микрометрической подачей

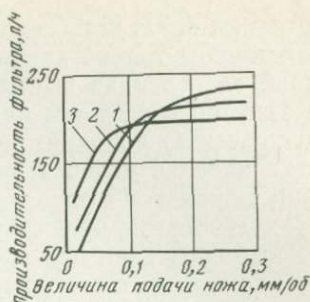


РИС. 15. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ФИЛЬТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ НОЖА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРОШКОВ:
1 — перлита; 2 — перлит-древесной муки 3:1; 3 — древесной муки

но повышается. На листовом фильтре вследствие постепенного засорения намывного слоя гидравлическое сопротивление его с течением времени возрастает, что сопровождается ростом потерь напора. Обычно при повышении перепада напора до 2—3 кгс/см² засоренный намывный слой подлежит смене.

Ресурс работы намывного слоя листового фильтра быстро исчерпывается, если дисперсная фаза задерживается в наружном слое намытого осадка с образованием труднопроницаемой пленки. Для условий работы барабанного фильтра влияние таких пленок менее существенно вследствие непрерывного их удаления съемным ножом. Глубина проникновения дисперсной фазы в промывной слой зависит от ее дисперсности, знака заряда частиц и адгезии, а также от зернистости и природы фильтрующего порошка. При одноименных зарядах частиц суспензии и порошка устанавливается глубинный режим фильтрации, а при разноименных зарядах — поверхностный режим.

На рис. 15 по данным работы [18] на примере очистки сточной воды показано влияние сорта применяемого порошка и величины подачи ножа на производительность барабанного фильтра. При незначительной подаче ножа в процессе фильтрации через намывный слой из порошка перлита наблюдается пониженная производительность фильтра (кривая 1). Дисперсная фаза глубоко проникает в перлитовый слой, и для повышения пропускной способности фильтра требуется увеличенная подача ножа. При фильтрации через слой древесной муки (кривая 3) примеси задерживаются в наружных слоях, и наибольшая производительность для данного порошка достигается уже при небольшой подаче ножа.

Для наращивания намывного слоя на барабанном вакуум-фильтре возможно использование и основной суспензии, поступающей на фильтрацию. Например, на глиноземных заводах

фильтрация кристаллической гидроокиси алюминия возможна со срезом ножом только крупных слоев осадка без отдувки кеков. Нижний слой осадка выполняет функцию намывного слоя. При этом заметно снижается влажность срезанного осадка благодаря исключению дополнительного увлажнения кеков при их отдувке и более интенсивному обезвоживанию наружного слоя осадка; снижается и засоряемость ткани. Однако необновляемая поверхность среза при неподвижном ноже быстро засоряется. Подобные суспензии целесообразно фильтровать на барабанных вакуум-фильтрах с микрометрической подачей ножа, обеспечивающей обновление фильтрующей поверхности в течение каждого оборота фильтра.

III.3. НАМЫВНОЙ СЛОЙ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

III.3.1. ВИДЫ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ФИЛЬТРУЮЩЕГО СЛОЯ

Для образования намывного слоя из волокнистых материалов применяют целлюлозу и в особых случаях асбест. Хорошим волокнистым материалом является беленая целлюлоза, особенно модификация α -целлюлоза, которая устойчива в щелочной и кислой средах и обладает высокими фильтрующими свойствами. Используют также отходы белой целлюлозы и бумажную макулатуру преимущественно из крафт-бумаги.

Целлюлозу и бумагу подвергают дезинтеграции и распульповке в воде или растворе в специальных репульперах с целью получения волокнистой пульпы, которая служит для формирования намывного слоя на дренажной сетке путем фильтрации. Дренажная сетка, закрепленная на поверхности фильтровальной рамки или патрона, должна прочно удерживать намывной слой при возможно малом гидравлическом сопротивлении. Этим требованиям удовлетворяют тканые сетки из проволоки или полимерного моноволокна с размерами проходных отверстий 100—150 мкм.

По тонкости фильтрации целлюлоза уступает диатомиту и перлиту, но значительно превосходит их по устойчивости в кислых и особенно в щелочных средах. В отличие от указанных силикатных порошков целлюлоза не загрязняет фильтрат продуктами распада.

Целлюлоза в 2—3 раза дороже диатомита и перлита и поэтому в качестве фильтрующего средства применяется только в случае непригодности других фильтровальных порошков. Например, при очистке щелочных растворов кремнекислота диатомита и перлита частично растворяется и загрязняет фильтрат. Целлюлозный намывной слой вполне устойчив в щелочной среде и обеспечивает получение чистого фильтрата.

Фирма «Мэнвилл» выпускает на основе целлюлозы фильтрующий материал для намывного слоя под названием «фибра-цел». Последний представлен беззольным инертным веществом, содержащим свыше 99,5% α -целлюлозы. В мокром состоянии фибра-цел имеет объемную массу около 180 кг/м^3 и проницаемость ее в намывном слое приблизительно соответствует проницаемости диатомитового порошка целит 503 (см. табл. 16).

Из других волокнистых материалов в качестве фильтрующего средства ограниченное применение имеет асбест. Специально приготовленное для фильтрации асбестовое волокно обладает адсорбирующими свойствами, необходимыми при очистке растворов от нежелательных растворимых или коллоидных веществ. Высокая стоимость асбеста ограничивает область его применения в качестве фильтрующего материала. Для фильтров с намывным слоем фирма «Зейтц» (ФРГ) применяет качественный фильтрующий материал в форме мелких хлопьев, легко образующих однородную по составу пульпу при перемешивании в воде или водном растворе. Материал «Зейтц» представлен композицией измельченных волокон целлюлозы и асбеста. Адсорбционная способность асбеста в совокупности с целлюлозой обуславливает повышенную тонкость фильтрации намывного слоя. Фильтрующие материалы фирма «Зейтц» выпускает под названиями: кристалл-теорит и кристалл-асбест. Отдельные марки кристалл-теорита подразделяются по степени измельчения целлюлозы и асбеста и обозначены номерами 0, 1, 2, 3, 5, 7 и 8. С увеличением номера материала возрастает тонкость фильтрации намывного слоя, но при этом снижается его проницаемость. Материал кристалл-асбест представлен тонкоизмельченным асбестом и предназначен для очистки растворов и воды от коллоидной взвеси и некоторых растворенных веществ.

В зарубежной практике применяют диатомито-асбестовые фильтрующие материалы. Фирма «Дикалит» США выпускает диатомито-асбестовые материалы с различным содержанием асбеста под названием диасбест («диасбестос»). Волокна асбеста, равномерно распределенные в массе диатомита, предотвращают образование трещин в намывном слое, повышают его сопротивление сжатию и увеличивают тонкость фильтрации.

Фирма «Мэнвилл» также выпускает диатомито-асбестовые (фибра-флок) и диатомито-целлюлозные (солка-флок) фильтрующие материалы. Указанная фирма выпускает три марки фибра-флок 4-с, 7-с и 11-с, проницаемость которых по отношению к фильтр-цел (см. табл. 18) равна соответственно 200, 500 и 1800 (проницаемость фильтр-цел приравнена 100). Фибра-флок содержит асбеста 7,5% и выше. Материал солка-флок с различным содержанием α -целлюлозы (марки BW-40 и BW-100) выпускается в виде порошков с размерами частиц до 147—149 мкм (—100 меш). Эти порошки дешевле диатомито-асбестовых, но несколько уступают им по своим фильтрующим свойствам.

III.3.2. ПРИМЕНЕНИЕ НАМЫВНОГО СЛОЯ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Намывные волокнистые фильтрующие элементы применяют в различных областях промышленной техники, но по масштабам производства выделяются две области их применения: очистка больших объемов щелочных алюминатных растворов на глиноземных заводах и очистка также значительных объемов конденсатов на паросиловых установках. Для очистки таких жидкостей для наращивания намывного слоя в основном применяют беленую целлюлозу в чистом виде и мягкую целлюлозу в смеси с бумажной макулатурой, преимущественно с крафт-бумагой.

На контрольную фильтрацию (кондиционирование) поступают алюминатные растворы (сливы сгустителей и фильтраты) с целью очистки их перед декомпозицией от тонкой взвеси окислов и гидроокислов железа и других дисперсных частиц. Растворы имеют температуру 85—90°С и концентрацию каустической щелочи до 130—140 г/л по Na_2O . Растворы фильтруют через намывной слой из целлюлозы в смеси с крафт-бумагой на барабанных листовых фильтрпрессах Келли или на более совершенных автоматизированных листовых вертикальных фильтрах ЛВ-130 и ЛВАЖ-125 с фильтрующей поверхностью соответственно 130 и 125 м². В условиях очистки алюминатных растворов эти фильтры работают с гидравлическим смывом отфильтрованных осадков. Фильтры экипированы фильтрующими рамами прямоугольной формы. Внутри рамы вставлена дренажная сетка, на поверхности которой с обеих сторон крепится проволочная фильтровальная сетка (рис. 16). Образованная полость рамы сообщается внизу со штуцером отвода фильтрата. Рамы расположены вертикально в два ряда внутри цилиндрического корпуса фильтра с откидной крышкой и коническим дном. Фильтр ЛВ-130 вмещает 42 рамы, а фильтр ЛВАЖ-125 — 38 рам.

В качестве фильтрующей основы для намывного слоя хорошо зарекомендовала себя фильтровальная сетка тканая полотняного переплетения гладкая № 52 (ГОСТ 3187—76) (см. рис. 16). Диаметр проволок основы и утка соответственно 0,45 и 0,28 мм, число проволок по основе 5,2 и по утку 39,0 на 1 см. Плотность сетки на основе 0,23 и по утку 1. Следовательно, уточные проволочки вплотную прибиты друг к другу. Однако сетка сохраняет проницаемость, так как уточные проволочки при несовершенном охвате проволок основы оставляют просветы неправильной формы.

Для наращивания намывного слоя на поверхности сетки употребляют сульфитную целлюлозу. Твердая целлюлоза применяется в чистом виде. При употреблении мягкой целлюлозы для улучшения ее фильтрующих свойств требуется добавка крафт-целлюлозы (макулатура из крафт-мешков) в количестве 20% от общей массы. Возможно применение макулатуры крафт-

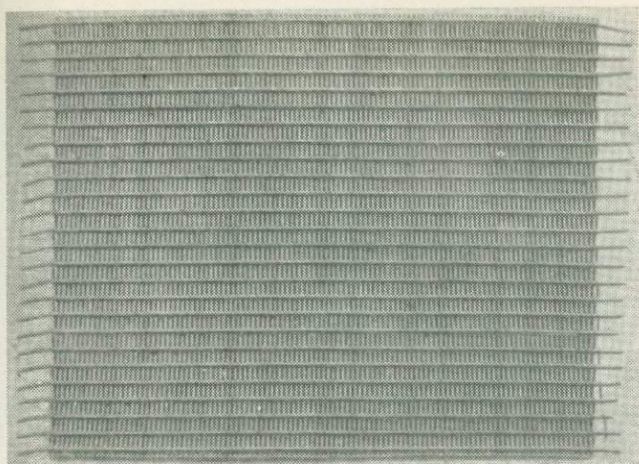


РИС. 16. ДРЕНАЖНАЯ ПРОВОЛОЧНАЯ СЕТКА ПОЛОТНЯНОГО ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ

мешков с добавкой только 10% целлюлозы 3-го сорта. Путем дезинтеграции в гидропульпере (рис. 17) целлюлозно-бумажной массы в воде получают пульпу с содержанием волокнистого материала 4—7 г/л.

Цикл работы фильтра состоит из следующих операций: наполнение резервуара фильтра волокнистой пульпой 3 мин; наращивание намывного слоя 4—6 мин; фильтрация с отводом мутного фильтрата 2 мин; фильтрация с отводом чистого фильтрата 4—8 ч (основная операция); выпуск из резервуара фильтра неочищенного алюминатного раствора 2—3 мин; выгрузка осадка с промывкой фильтра 10—15 мин. Потеря напора при фильтрации алюминатного раствора возрастает с 0,2—0,3 до 2,5 кгс/см².

Контрольную фильтрацию проводят с целью глубокой очистки алюминатных растворов от окислов железа. Алюминатные растворы, поступающие на фильтрацию, содержат 60—120 мг/л окислов железа, концентрация которых в фильтрате снижается до 8—12 мг/л при предельно допустимой норме 15 мг/л. Для успешной работы фильтров с намывным слоем желательно, чтобы содержание окислов железа в рабочем растворе не превышало 100 мг/л и содержание двухвалентного железа не выше 5—7 мг/л.

Для качественной очистки раствора важно, чтобы при намыве волокнистой массы на всей площади фильтрующей поверхности образовался равномерный по толщине намывный слой. Толщина волокнистого слоя 3—5 мм является достаточной для очистки растворов от окислов железа и других дисперсных

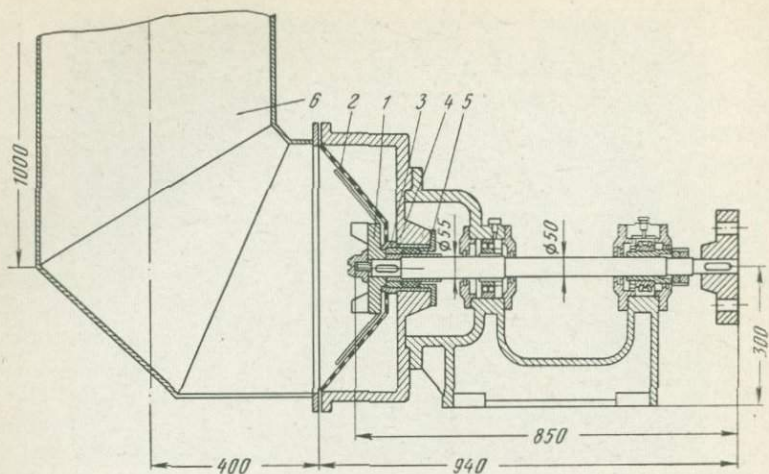


РИС. 17. ГИДРОПУЛЬПЕР ДЛЯ РАСПУЛЬПОВКИ БУМАГИ И ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ МАССЫ:

1 — дезинтегратор; 2 — решетка; 3 и 4 — уплотнительное устройство; 5 — втулка; 6 — загрузочная камера

частиц. Расход волокнистой массы на один цикл фильтрации увеличивается при неравномерной толщине намывного слоя и колеблется в пределах 1—2 кг на 1 м² фильтрующей поверхности. Фильтровая сетка засоряется неравномерно, на ее поверхности появляются «лишай» — участки с повышенной засоренностью, на которые почти не образуется намывной слой. При этом снижаются производительность фильтра и качество фильтрата. Засоренную сетку в зависимости от ее состояния очищают или заменяют новой.

При фильтрации щелочных растворов проницаемость засоренных сеток восстанавливают путем отмачивания и промывки в горячем концентрированном растворе каустической щелочи (не ниже 400 г/л по Na₂O). При промывке сеток фильтров Келли фильтрующие рамы помещают в стальной резервуар прямоугольной формы, наполненный раствором щелочи. Засоренные фильтровые сетки фильтров ЛВ и ЛВАЖ промывают путем заполнения резервуаров фильтров концентрированным раствором щелочи и циркуляции ее без выемки рам в течение 20—24 ч. Возможно применение гидромониторной очистки сеток струей воды под большим напором. Ультразвуковая очистка сеток пока не применяется. Новую сетку через 2—3 месяца ее работы подвергают очистке. Общий срок службы сетки 4—6 мес и зависит от ее качества и условий эксплуатации. Полное восстановление фильтрующих свойств сетки, как дренирующей основы намывного слоя, все же не достигается, и продолжительность основной операции фильтрации на регенерированной сетке заметно сокращается.

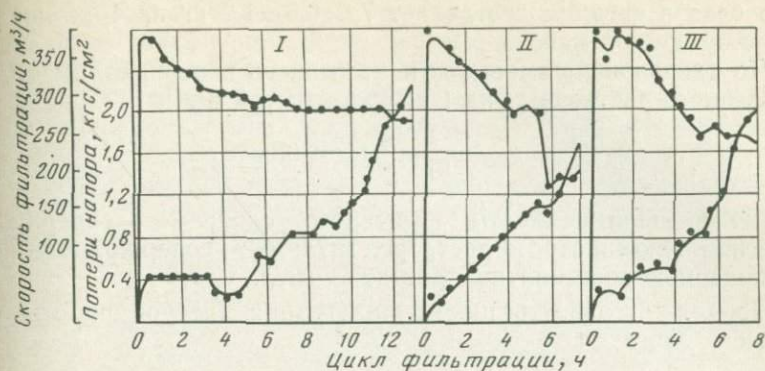


РИС. 18. ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ (ВЕРХНИЕ КРИВЫЕ) И ПОТЕРИ НАПОРА (НИЖНИЕ КРИВЫЕ) В ТЕЧЕНИЕ ТРЕХ ЦИКЛОВ ФИЛЬТРАЦИИ

Очистка алюминатных растворов на фильтрующих элементах с намывным слоем протекает по режиму глубинной фильтрации с переходом затем на режим фильтрации с образованием осадка. Частицы взвеси проникают в толщу намывного слоя и засоряют его поры, при этом создаются условия для перехода режима глубинной фильтрации на режим фильтрации с образованием трудно проницаемого осадка на поверхности намывного слоя.

В начальный период фильтрации гидравлическое сопротивление намывного слоя в совокупности с фильтровой сеткой небольшое и потеря напора не превышает 0,2 кгс/см². По мере засорения намывного слоя растет его гидравлическое сопротивление, что сопровождается возрастанием потери напора и снижением скорости фильтрации. Напор, под действием которого идет фильтрация, создается в резервуаре фильтрпресса путем нагнетания раствора центробежным насосом. Степень насыщения намывного слоя шламом определяют по показанию манометра. Повышение потери напора до 2,0—2,5 кгс/см² указывает на необходимость смены засоренного намывного слоя, так как дальнейшее продолжение операции фильтрации нецелесообразно. По данным работы [19] на рис. 18 приведены кинетические кривые, характеризующие изменение во времени скорости фильтрации и потери напора в течение основных операций трех циклов фильтраций.

Удельная производительность листового фильтра с намывным слоем в зависимости от содержания примесей в растворе, а также от состояния фильтровой сетки и других факторов находится в пределах от 1,0 до 1,5 м³/(м²·ч).

После гидросмыва засоренного намывного слоя суспензия (фильтрационная грязь), поступившая в сборный бак, в среднем содержит целлюлозно-бумажного материала 6,5 г/л и шлама 7,8 г/л. Следовательно, шламоемкость волокнистого намыв-

ного слоя в среднем составляет $7,8:6,5=1,2$ кг на 1 кг целлюлозно-бумажной массы.

По удельной шламоемкости намывного слоя находим объем очищенного раствора v_1 на 1 кг волокнистой массы

$$v_1 = \frac{1000a}{\alpha_1 - \alpha_2}, \text{ м}^3/\text{кг},$$

где a — шламоемкость намывного слоя; α_1 — содержание взвеси в алюминатном растворе, мг/л; α_2 — содержание взвеси в очищенном алюминатном растворе, мг/л.

Продолжительность цикла фильтрации (ресурс работы намывного слоя)

$$t_1 = \frac{v_1 q}{u}, \text{ ч},$$

где q — количество волокнистого материала в намывном слое, кг на м^2 фильтра; u — средняя скорость фильтрации раствора, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Например, при $a=1,2$, $\alpha_1=130$ мг/л, $\alpha_2=10$ мг/л, $q=1,0$ кг/ м^2 , $u=1,25$ $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ получаем

$$v_1 = \frac{1000 \cdot 1,2}{130 - 10} = 10 \text{ м}^3/\text{кг}$$

и

$$t_1 = \frac{10 \cdot 1,0}{1,25} = 8 \text{ ч}.$$

Раньше фильтрационную грязь сбрасывали в канализацию, теперь ее направляют на промывку с целью регенерации целлю-

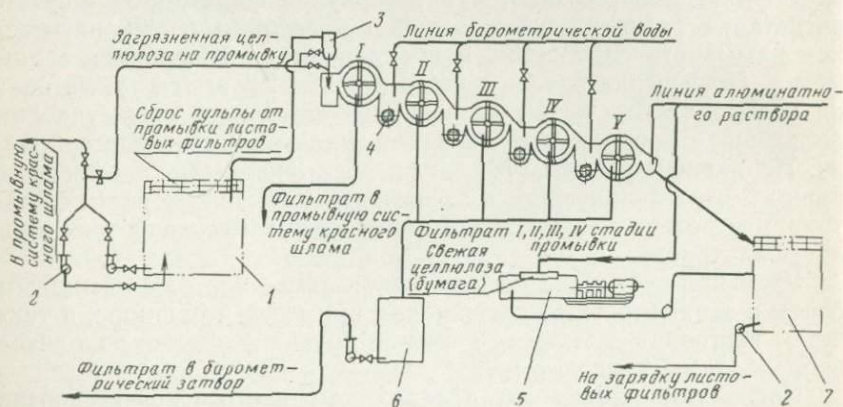


РИС. 19. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РЕГЕНЕРАЦИИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ МАССЫ:

1 — мешалка; 2 — центробежный насос; 3 — дозатор; 4 — репульпатор; 5 — гидрорепульпер; 6 — емкость фильтрата; 7 — мешалка целлюлозной пульпы

лозно-бумажной волокнистой массы [20]. Суспензию от гидро-смыва намывного слоя направляют в систему последовательной четырехступенчатой промывки на барабанных каскадно расположенных сетчатых фильтрах-сгустителях (рис. 19) по аналогии с промывкой целлюлозной массы после ее варки в целлюлозно-бумажном производстве. Промывная вода поступает в репульперы перед каждой стадией промывки для перемешивания со сгущенной суспензией, что интенсифицирует промывку волокнистого материала. Последний задерживается на сетке фильтра, а шлам процеживается через сетку и уходит в фильтрат. Отмытая волокнистая масса, содержащая не выше 0,25% остаточного шлама, возвращается в процесс. В процессе промывки извлекается 70% волокнистой массы и для возмещения безвозвратных потерь вводится только 30% свежей целлюлозно-бумажной массы от общего ее расхода.

ФИЛЬТРУЮЩИЕ МЕМБРАНЫ
ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВIV.1. МЕМБРАННЫЕ ПРОЦЕССЫ
РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ

IV.1.1. ВИДЫ МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ

В последнее время повышается интерес к использованию мембранных процессов для решения важных народнохозяйственных проблем. Эти проблемы связаны с охраной окружающей среды, очисткой и утилизацией сточных вод, обессоливанием подземной и морской воды, концентрацией и очисткой различных растворов, соков, коллоидных веществ и эмульсий.

Мембранные процессы по природе движущей силы подразделяются на электромембранные, протекающие под действием электрических сил, и обратноосмотические, протекающие под действием внешнего давления. Основой электромембранных процессов является электродиализ — перенос ионов через ионообменные и нейтральные мембраны. В основе обратного осмоса лежит процесс переноса растворителя, например воды, через полупроницаемую мембрану под действием внешнего давления. Ниже рассматриваются процессы разделения жидких смесей обратным осмосом, реализуемые путем гиперфильтрации (низкомолекулярные смеси) и ультрафильтрации (макромолекулярные и коллоидные смеси).

На основе применения полупроницаемых мембран гиперфильтрацией выделяют из растворов растворенные вещества, размеры молекул которых имеют один порядок с размерами молекул растворителя и находятся приблизительно в пределах 10^{-4} — 10^{-3} мкм (1—10 Å). Ультрафильтрацией выделяют из жидких смесей молекулы или частицы, размеры которых примерно в 10 раз превышают размеры молекул растворителя и в верхнем пределе достигают 0,02 и даже 0,05 мкм. Частицы размерами 0,05—10 мкм выделяют микрофильтрацией на тонкопористых фильтрующих материалах. Указанные границы являются ориентировочными, так как мембранные процессы в сопредельных областях взаимозаменяемы.

Гипер- и ультрафильтрация являются родственными процессами, осуществление которых связано с применением полупроницаемых мембран и преодолением осмотического давления жидких смесей. Наряду с этим имеются и различия по размерам пор применяемых мембран и по величине внешнего

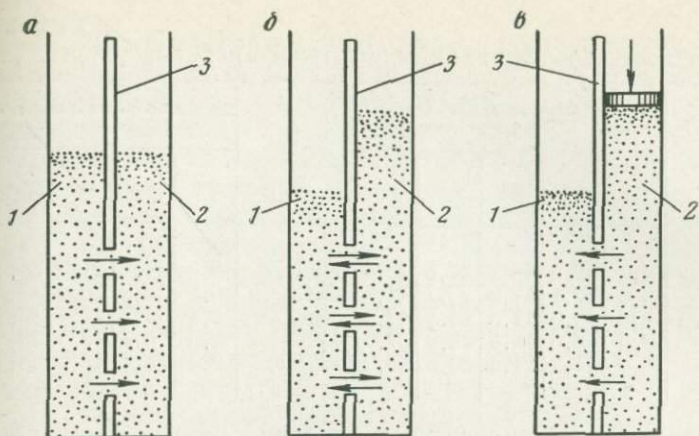


РИС. 20. СХЕМА ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО ОСМОСА:

a — начало осмотического переноса; *б* — равновесное состояние; *в* — обратный осмос (гиперфильтрация) под внешним давлением; 1 — пресная вода; 2 — соленая вода; 3 — мембрана

напора, необходимого для преодоления осмотического давления. Для гиперфильтрации характерным является внешнее давление 40—50 кгс/см², а для ультрафильтрации это давление обычно не превышает 5 кгс/см². При гиперфильтрации по сравнению с ультрафильтрацией более полно реализуется процесс обратного осмоса. Продуктами разделения раствора обратным осмосом являются: концентрированный раствор (концентрат) и растворитель (фильтрат), например вода.

Термин «обратный осмос» указывает на то, что этот процесс протекает в направлении противоположном осмосу. В процессе осмоса растворитель фильтруется через полупроницаемую мембрану в раствор под действием возникшего осмотического давления. При обратном осмосе, напротив, под действием внешнего давления, приложенного к раствору, растворитель отжимается из раствора и фильтруется через полупроницаемую мембрану (рис. 20).

Гиперфильтрацию применяют для разделения и очистки растворов веществ низкой молекулярной массы. В таких растворах осмотическое давление является существенным, например осмотическое давление морской воды, содержащей 3,5% солей, достигает 25 кгс/см². Кроме того, для преодоления гидравлического сопротивления мембраны и достижения скорости потока, приемлемой для промышленных условий, требуется приложить к раствору внешний напор, по величине превышающий осмотическое давление. Например, при разделении гиперфильтрацией водных растворов простых солей применяют внешний напор, превышающий осмотическое давление на 5—10 кгс/см². При высокой концентрации солей повышают и величину избы-

ОСМОТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПРОСТЫХ СОЛЕЙ

Соль	Осмотическое давление, кгс/см ² , при концентрации, моль/л					Соль	Осмотическое давление, кгс/см ² , при концентрации, моль/л				
	0,1	0,2	0,4	0,6	1,0		0,1	0,2	0,4	0,6	1,0
NaCl	4,6	9,2	18,2	27,5	46,5	K ₂ SO ₄	5,8	11,2	21,0	30,4	—
KCl	4,6	9,1	17,9	26,7	44,6	CaCl ₂	6,4	12,9	26,6	42,0	77,8
NaNO ₃	4,6	9,0	17,5	25,8	42,4	MgCl ₂	6,4	13,1	27,4	43,7	82,9
KNO ₃	4,5	8,6	16,5	23,8	37,6	CuSO ₄	2,8	5,1	9,5	13,8	23,1
Na ₂ SO ₄	5,9	11,2	21,0	30,3	48,0	MgSO ₄	3,0	5,6	10,5	15,4	26,1

точного напора. Осмотическое давление водных растворов простых солей довольно высокое и в соответствии с уравнением Вант-Гоффа возрастает пропорционально повышению концентрации и температуры раствора (табл. 20).

Методом ультрафильтрации разделяют растворы высокомолекулярных соединений, например полимеров и сложных органических веществ, а также коллоидов, пигментов и эмульсий. Ультрафильтрацию применяют для получения стерильных фильтратов и для разделения жидкостей в фармакологии и бактериологии и в других операциях прецезионного разделения веществ. Продуктами ультрафильтрации при разделении жидких смесей могут быть, например, концентрированный раствор ВМС или другого сложного вещества и фильтрат, содержащий низкомолекулярные вещества или чистый растворитель.

При разделении указанных жидкостей ультрафильтрацией требуется преодолеть сравнительно небольшое осмотическое давление. Например, осмотическое давление даже насыщенного раствора сахарозы не превышает 7 кгс/см². Осмотическое давление растворов ВМС значительно ниже. Поэтому необходимый напор для ультрафильтрации находится в пределах 1—5 кгс/см² и лишь в отдельных случаях его повышают до 7—10 кгс/см². Ультрафильтрационная мембрана в основном работает по механизму просеивания и разделяет растворы по размерам, форме и структуре частиц.

IV.1.2. О МЕХАНИЗМЕ СЕЛЕКТИВНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАН

Важным показателем качества разделительной мембраны является ее селективность, определяющая эффективность разделения раствора или очистки сточной воды. Селективность рассчитывается по формуле

$$S = \frac{C_1 - C_2}{C_1} 100\%, \quad (16)$$

где C_1 и C_2 — концентрация вещества соответственно в исходном растворе и фильтрате.

Качество мембраны определяется также ее проницаемостью по фильтрату л/(м²·ч), химической устойчивостью, механической прочностью и способностью противостоять уплотнению под действием высоких давлений.

Использование обратного осмоса для обессоливания воды впервые было предложено Ч. Е. Рейдом (1953 г.). С этого времени не ослабевает интерес к обратному осмосу как к новому процессу обессоливания воды и разделения жидких смесей. Потенциальная ценность обратного осмоса особенно повысилась в связи с открытием селективной проницаемости ацетатцеллюлозных мембран (1957—1959 гг.) [81]. В 1967 г. была пущена в эксплуатацию промышленная установка по обессоливанию воды обратным осмосом.

На первых этапах исследования мембранного разделения растворов для описания селективной проницаемости (разделительной способности) мембран была предложена теория просеивания, основанная на пористой модели мембраны. По теории просеивания селективная проницаемость мембраны определяется соотносительными размерами ее пор и молекул или ионов растворенного вещества. Эффект просеивания играет доминирующую роль в механизме разделительной способности ультрафильтрационной мембраны. Однако с позиций только эффекта просеивания возникли затруднения при объяснении механизма разделения низкомолекулярного раствора гиперфильтрационной мембраной.

В дальнейшем была выдвинута теория растворения и диффузии [21], основанная на модели непористой диффузионной мембраны. По этой теории молекулы воды или другого растворителя, проникающие в мембрану, образуют водородные связи с кислородом карбонильных групп ацетатцеллюлозы, что равносильно растворению их в мембране. Ионам и молекулам растворенного вещества закрыт доступ, так как они без водородной связи не могут входить в органическую матрицу полимера. Под воздействием внешнего напора водородные связи разрываются и освобожденные молекулы воды вытесняются, оставляя вакансии («дырки»), в которые проникают посредством водородных связей следующие порции молекул воды. Следовательно, молекулы воды под воздействием внешнего давления и разности концентраций диффундируют через мембрану путем разрыва и образования водородных связей (последовательного открытия и закрытия «дырок»).

Теория растворения и диффузии объясняет механизм переноса воды и через другие непористые мембраны, содержащие например гидроксильные группы, с которыми вода образует водородные связи. Рассмотренная теория может послужить предпосылкой при выборе материала для изготовления непористых

мембран. Однако модель непористой диффузионной мембраны является недостаточной для описания механизма селективной проницаемости пористой ацетатцеллюлозной мембраны. В данном случае все же более результативной оказалась пористая модель обратноосмотической мембраны, но с учетом специфических взаимодействий внутри пор, заполненных растворителем, например водой.

Для гиперфилтрации преимущественно применяют гидрофильные гелевые ацетатцеллюлозные мембраны. В водных растворах поверхностно-инактивных веществ и в том числе электролитов молекулы воды, обладая высокой сорбционной способностью по отношению к гидрофильной мембране, вытесняют из сорбционного слоя ионы и молекулы растворенного вещества. Поэтому внешняя и поровая поверхность погруженной в раствор гидрофильной мембраны покрывается сорбционным полимолекулярным слоем чистой воды. Связанная вода в этом слое частично или полностью утрачивает растворяющую способность.

Толщина слоя связанной воды зависит от гидрофильности мембраны и концентрации раствора, в который погружена мембрана. По Сурираюну, на разделе фаз ацетатцеллюлоза — вода толщина сорбционного слоя воды достигает нескольких десятков ангстрем [82]. Адсорбированный растворитель, заполнив поры, препятствует прохождению молекул растворенного вещества через поры мембраны. При этом допускается, что молекулы адсорбированного растворителя проходят через поры путем смещения от одного центра адсорбции к другому, но в процессе миграции молекулы полностью не отделяются от адсорбционной поверхности. Поэтому затраты энергии на миграцию растворителя в порах мембраны сравнительно небольшие. По Рейду, такой механизм селективной проницаемости ацетатцеллюлозных мембран является наиболее вероятным [21].

На основе термодинамики необратимых процессов показано, что поток воды (растворителя) через полупроницаемую мембрану возрастает почти пропорционально давлению, но при этом поток соли (растворенное вещество) увеличивается незначительно [21]. Возможно, по этой причине с повышением давления наблюдается существенное улучшение селективности мембраны. Повышению селективности способствует также и некоторое уменьшение размера пор мембраны с повышением давления.

IV.2. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ МЕМБРАНЫ

IV.2.1. ИЗОТРОПНЫЕ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ

Нитроцеллюлозные мембраны. Первые нитроцеллюлозные мембраны были изготовлены в 1906 г. Бехольдом, который предложил термин «ультрафилтрация».

Классическим материалом для получения гелевых мембран служит коллоидный эфироспиртовой раствор нитроцеллюлозы — коллодий. Пленкообразующим веществом является нитроцеллюлоза с содержанием азота 11%, которую предварительно очищают путем растворения примесей в этиловом спирте. В качестве препаратов нитроцеллюлозы употребляют и отработанные изделия из нее, например кинопленку и рентгенопленку. С кинопленки предварительно удаляют слой желатина путем намачивания в воде, подогретой до 60—65° С. Коллодий готовят также и на основе эфиров целлюлозы или регенерированной целлюлозы. Препараты очищенной целлюлозы растворяют в ацетоне или бутаноле с последующей дозировкой в качестве гелеобразователей этилового или пропилового спирта.

Микропористые гелевые мембраны представляют собою твердые коллоидные системы — пленки гелей, которые получают путем фазовой инверсии в процессе тиксотропного структурирования коллоидного раствора. В процессе структурирования мицеллы в отдельных точках соприкасаются друг с другом и образуют структуру, которая придает свойства твердого тела всему гелю. В ячейках сетчатой структуры заключена интермицеллярная жидкость. После испарения этой жидкости ячейки геля освобождаются и образуют сложную систему микропор. На этом свойстве гелей и основано получение ультрафильтрационных мембран.

Структура фильтрующих мембран связана со структурой коллоидных гелей. Гетерогенность структуры гелей определяет собой полидисперсную пористость фильтрующих пленок. Для приготовления микропористых мембран раствор коллодия разбавляют эфиром и алкоголем, содержимое выливают на шлифованное стекло, после равномерного распределения и испарения эфира пленку вместе со стеклом для фиксажа погружают в воду, через 5—10 мин ее снимают со стекла и употребляют в качестве фильтрующей мембраны.

Мембраны из исходного коллодия имеют очень малый размер пор и низкую проницаемость. Размер пор мембран изменяется в пределах от 0,002 до 3,5 мкм и регулируется концентрацией нитроклетчатки в растворе и введением в коллоидный раствор различных спиртов и эфиров. Чем длиннее углеродная цепь спирта, тем он сильнее пептизирует нитроцеллюлозу (благодаря возрастающей сорбции) и тем меньше размер пор получаемых фильтров. Введение некоторых эфиров (ацетоуксусного, малонового, уксусноэтилового), напротив, способствует коагуляции нитроцеллюлозы и увеличению размеров пор фильтра. Вообще применение сильных растворителей для разбавления коллодия уменьшает пористость, а добавка нерастворяющихся жидкостей, например воды, увеличивает размер пор получаемых мембран. При этом во избежание образования нерастворимых хлопьев в растворе не рекомендуется разбавлять коллодий непосредственно

водой, которую можно вводить только в виде водного раствора спирта крепостью 80—90%. При добавке к коллодию этилового эфира гликоля получают мембраны со средним диаметром пор 0,0012, уксусной кислоты 0,0055, гликоля 0,22, метилового спирта 0,96 и воды 3,6 мкм [22]. Нитроцеллюлозные мембраны, изготавливаемые на фабрике ультрафильтров в Мытищах, имеют следующие размеры пор:

№ фильтра	1	2	3	4	5
Средний диаметр пор, мкм	350	500	700	900	1200

Фильтрация через мембраны возможна при перепаде давления до 1,5—2,0 кгс/см². Под напором свыше 2,5 кгс/см² мембраны из нитроклетчатки деформируются. Химическая устойчивость мембран определяется устойчивостью целлюлозы и ее производных. В пределах рН=1—12 мембраны обычно не разрушаются. Органические растворители целлюлозы и ее производных разрушают и нитроцеллюлозные коллоидные мембраны. В термическом отношении коллоидные мембраны устойчивы до 100° С, при дальнейшем повышении температуры пористость мембран заметно снижается.

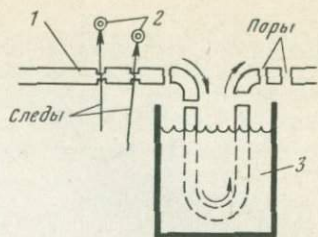
Прочные фильтрующие мембраны изготавливают на дренажной основе. В качестве такой основы применяют керамические и металлокерамические фильтрующие плитки и другие керамические изделия. Поры указанных фильтров насыщают раствором коллодия. После засорения фильтров нитроклетчатку выжигают и твердую основу вновь применяют для изготовления ультрафильтров. Для приготовления микропористых фильтров большого размера с достаточной механической прочностью пользуются текстильной дренирующей подложкой, которая покрывается тонкой пленкой коллодия. В качестве подложки применяют тонкую гладкую ткань или гладкую тонкую проволочную сетку.

Изотропные ультрафильтрационные мембраны на основе эфиров целлюлозы выпускают зарубежные фирмы «Миллипор», «Амикон», «Дюпон» и др. Общим недостатком изотропных мембран является сравнительно быстрая засоряемость их и закупоривание пор.

Тефлоновые мембраны. Для ультрафильтрации тефлоновые мембраны выпускает фирма «Миллипор» (ФРГ) размерами пор 0,2, 0,5 и 1 мкм в форме дисков и патронов. Последние предназначены для тонкой очистки больших объемов агрессивных жидкостей, а также для очистки органических растворителей. На рабочую поверхность патронных тефлоновых элементов наносится защитный фильтрующий слой из стеклянных микроволокон. Для получения стерильных фильтратов предназначены дисковые мембраны, которые можно стерилизовать паром в автоклавах при температуре 121° С. В Советском Союзе также осваивается производство тефлоновых мембран [23].

РИС. 21. СХЕМА ПОЛУЧЕНИЯ МЕМБРАН НУКЛЕОПОР:

1 — пленка диэлектрика (полимерная); 2 — бомбардировка α -частицами; 3 — травильная ванна



Мембраны нуклеопор. Нуклеопоры являются монопористыми мембранами с прямыми сквозными порами цилиндрической формы. Материалом для изготовления таких мембран служат поликарбонатные, полиэфирные и полипропиленовые пленки. Двухстадийный процесс приготовления мембран нуклеопор Портер иллюстрируется схемой, показанной на рис. 21 [84].

На первой стадии пленка диэлектрика, помещенная в ядерный реактор, бомбардируется α -частицами или протонами, которые, пронизывая пленку, оставляют следы поврежденного материала. Считается, что радиоактивные изотопы с энергией α -частиц 4—5 МэВ пригодны для облучения пленок толщиной до 10—15 мкм. На следующей стадии облученную пленку подвергают химической обработке, в процессе которой поврежденный материал растворяется и в пленке образуются прямые цилиндрические поры. Количество пор на единице поверхности регулируется продолжительностью облучения пленки и энергией радиоактивных частиц. Размер пор определяется температурой, концентрацией раствора и временем химической обработки (травления) пленки. Поры мембраны должны иметь приблизительно одинаковые размеры, допустимые отклонения не превышают 10%. Для отдельных мембран диаметры пор находятся в пределах от 0,1 до 8 мкм. Серийно выпускают мембраны с размерами пор 0,5 мкм. Общая пористость мембран нуклеопор меньше 10%, для сравнения укажем, что пористость целлюлозных мембран составляет порядка 70—80%. Однако по пропускной способности при сравнимой тонкости ультрафильтрации нуклеопоры превосходят целлюлозные мембраны.

Мембраны нуклеопор выпускаются фирмой «Дженерал Электрик» различных форм и в том числе в виде дисков диаметром до 293 мм. Малая толщина и эластичность таких мембран позволяют придавать им такие конфигурации, при которых другие мембраны разрушаются, а также использовать их при работе в условиях периодических пульсаций. Существенным преимуществом мембран с прямыми цилиндрическими порами является пригодность их для фракционирования частиц по крупности, например для фракционирования растворов высокомолекулярных соединений, а также для очистки и концентрирования вирусов и для других целей в современной технике переработки жидких смесей.

МИКРОПОРИСТЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ

Показатели	1-й образец	2-й образец
Толщина мембраны, мм	0,14—0,18	0,15—0,18
Предел прочности при растяжении, кгс/мм ²	4,5	11—13
Пористость, %	—	25—30
Герметичность, мм вод. ст.	450—500	800—1000
Диапазон рабочей температуры, °С	—60+500	—60+500
Тонкость фильтрации, мкм	5—6	2—3
Пропускная способность, м ³ /(м ² ·ч)	6,0	3,6
Способ регенерации	Ультразвук	Обратный поток

Мембраны с жесткой структурой. Из числа ультрафильтрационных мембран с жесткой структурой заслуживают внимания микропористые металлические и стеклянные мембраны.

Разработаны различные способы получения металлических мембран, например, путем спекания дисперсных металлических порошков сферической формы, полученных при разложении карбониллов металлов (см. гл. V). Высокопористые металлические мембраны получают из специальных сплавов путем возгонки или выщелачивания одного из компонентов сплава.

В Советском Союзе разработаны способы получения микропористых металлических мембран для тонкой очистки различных жидкостей и газов. Такие мембраны благодаря малой толщине и большому количеству пор на единице площади обладают большой пропускной способностью при высокой тонкости фильтрации. В табл. 21 приведена краткая характеристика двух образцов таких мембран [24].

Фильтрующие и механические свойства пористых мембран сохраняют стабильность после многократной регенерации пропускной способности. Ресурс работы мембран составляет 1000 ч.

IV.2.2. АНИЗОТРОПНЫЕ ГИПЕРФИЛЬТРАЦИОННЫЕ МЕМБРАНЫ

Получение мембран. Для гиперфильтрации требуются мембраны размерами пор 10—12 Å. Изотропные гелевые мембраны с такими размерами пор имеют малую пропускную способность, неприемлемую для промышленных условий. С. Лебом и С. Сурираном предложены анизотропные ацетатцеллюлозные мембраны [25].

Для изготовления анизотропной мембраны применяют коллоидный раствор из смеси ацетата целлюлозы, формамида и ацетона в соотношении соответственно 25, 30 и 45% с добавкой порообразователя, например перхлората магния. Ацетатцеллю-

дозный раствор при комнатной температуре наливают на стеклянную пластину или на другую подходящую поверхность из расчета образования слоя толщиной около 0,2 мм. Гелевую пленку подсушивают на стекле в течение 30 с. При испарении ацетона на поверхности пленки образуется очень тонкая оболочка субмикropористой структуры, препятствующая дальнейшему испарению ацетона из более глубоких слоев пленки. Для фиксации анизотропной структуры пленку со стеклом погружают в ледяную воду, при этом вымываются растворители и порообразователь и завершается формирование анизотропной мембраны. Последнюю вынимают из воды после отделения ее от стекла.

Анизотропная мембрана в целом является монолитной, но состоит из двух слоев: тонкого активного поверхностного слоя толщиной около 0,25 мкм размерами пор 10—12 Å и сравнительно крупнопористого подслоя толщиной 200—300 мкм размерами пор 0,1—1,0 мкм. Основную функцию разделения раствора выполняет поверхностный активный слой. Нижний сравнительно крупнопористый подслой служит дренажной подложкой для активного слоя и обеспечивает прочность анизотропной мембраны. Для упрочнения структуры мембраны ее подвергают термообработке в воде при температуре 85—89°С, близкой к температуре стеклования ацетатцеллюлозы. При этом вследствие небольшой усадки повышается селективность мембраны.

Тонкий активный слой анизотропной мембраны обеспечивает необходимую селективность и сравнительно высокую проницаемость благодаря очень большому количеству тончайших проходных пор на единице площади и незначительной толщине этого слоя. Нижний крупнопористый подслой, выполняя функцию дренажной подложки, почти не оказывает гидравлического сопротивления потоку жидкости. По ходу продвижения жидкости от активного слоя к дренажной подложке размеры пор увеличиваются, благодаря чему повышается устойчивость мембраны против засорения.

Идея тонкого активного слоя была положена в основу разработки композитной мембраны, которую формируют путем налива коллоидного раствора ацетатцеллюлозы на прочную микропористую подложку, из расчета получения очень тонкой активной пленки толщиной 0,04—0,08 мкм. При подсушке пленки на воздухе ацетон почти полностью испаряется с образованием активного слоя во всей толще пленки, связанной с дренирующей микропористой подложкой. Размер пор активной пленки — 10—12 Å. Композитные мембраны обрабатывают в том же порядке, что и мембраны анизотропные. Композитная и анизотропная мембраны имеют аналогичную структуру, но первая более устойчива против высоких давлений и лучше приспособлена для работы в различных условиях [84].

Изготовление анизотропных и композитных мембран возможно на основе нитроцеллюлозы и синтетических полимеров, на-

ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕМБРАН

Марка мембраны	Производительность, л/(м ² ·сут)	Селективность, %	Средний диаметр пор, Å
МГА-80	600	80	—
МГА-90	350	90	—
МГА-95	250	95	—
МГА-100	150	97,5	—
УАМ-50 М	29—58	—	<50
УАМ-100 М	58—230	—	75±25
УАМ-150 М	230—690	—	125±25
УАМ-200 М	504—1370	—	175±25
УАМ-300 М	920—2450	—	250±50
УАМ-500 М	>1730	—	>300

пример, виниловых полимеров, полиамидов, метакрилатных сополимеров и других полимерных материалов, более устойчивых в химическом и термическом отношении по сравнению с ацетатцеллюлозой. Однако по селективности и пропускной способности ацетатцеллюлозные мембраны значительно превосходят мембраны из перечисленных полимерных материалов и поэтому получили распространение.

Во ВНИИС разработаны для промышленного производства ацетатные мембраны: гиперфильтрационные — МГА и ультрафильтрационные — УАМ. Последние выпускаются в мокром виде (табл. 22). Пористость мембран $75 \pm 3\%$. Мембраны для промышленных установок имеют ширину 0,4 и 1,0 м и длину 20—25 м [26].

Мембраны из ацетатцеллюлозы недостаточно устойчивы в кислых и щелочных средах, в органических растворителях и подвержены атакам бактерий. Эти мембраны могут работать в пределах рН 4—7 при температуре не выше 60—70°С вследствие низкой температуры стеклования.

Сравнительно высокими физико-механическими свойствами обладают динамические гиперфильтрационные мембраны, изготавливаемые путем нанесения полупроницаемого активного слоя на поверхность микропористой подложки. В качестве подложки применяют фильтрующие элементы различной формы, например фарфоровые, спеченные из стеклянных порошков, углеродистые, металлокерамические, а также полиэлектролитные пленки и волокнистые материалы, закрепленные эпоксидной смолой. Для образования на поверхности микропористой подложки полупроницаемого активного слоя применяют коллоидные растворы гидроокислов цинка, алюминия, железа и других металлов, полиэлектролиты и даже тонкодисперсные глины. Динамические мембраны просты в изготовлении и способны самовосстанавли-

ваться путем дозировки материала активного слоя в очищаемую воду. Проницаемость динамических мембран достигает 500—600 л/(м²·ч) при селективности для солей до 90%.

Мембраны в виде полых волокон. Найлоновые и ацетатцеллюлозные полые волокна вырабатывают в виде трубок с проницаемыми стенками. Типичные мембраны из полых волокон имеют наружный диаметр 45 и внутренний 24 мкм. Вырабатывают волокна и с наружным диаметром до 100—200 мкм. При малом отношении наружного диаметра к толщине стенки полые волокна выдерживают высокое внешнее давление. Проницаемыми (рабочими) являются стенки полых волокон.

В мембранном элементе пучки полых волокон располагаются ориентированно (линейно). Исходный раствор прокачивают либо внутри волокон с переносом растворителя от внутренней к внешней поверхности волокна, либо прокачиваемый раствор протекает по внешней поверхности полых волокон и растворитель фильтруется во внутреннюю полость волокна и отводится в коллектор. В первом варианте раствор сравнительно быстро движется внутри волокон и смывает концентрат с их поверхности, что благоприятно влияет на проницаемость полых волокон. Однако при этом требуется предварительная тонкая фильтрация раствора, поступающего на разделительные мембраны из полых волокон. Во втором варианте по сравнению с первым прокачиваемый раствор движется с меньшей скоростью относительно внешней поверхности волокна и поэтому возрастает отрицательное влияние концентрационной поляризации на проницаемость стенок полых волокон.

Мембраны из полых волокон в большинстве являются изотропными и по удельной производительности по фильтрату они значительно уступают анизотропным ацетатцеллюлозным мембранам. Однако благодаря плотной укладке полых волокон получают очень большую рабочую поверхность на 1 м³ объема аппарата. Например, в трубе диаметром 35,6 см размещается 28 млн. волокон.

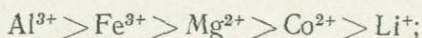
В СССР опытные партии полых волокон выпускает ВНИИ искусственного волокна.

Полые полимерные волокна ромайкон. Недавно разработаны полимерные полые волокна-трубки под названием ромайкон, предназначенные для ультрафильтрации [85]. Внутренний диаметр таких трубок находится в пределах 5,0—11,5 мм. На внутренней поверхности пористых стенок волокон сформирован активный тонкопористый слой толщиной около 0,1 мкм. Волокна ромайкон собираются в кассеты. Исходная жидкость прокачивается внутри волокон и очищается при фильтрации через активный слой. Пропускная способность фильтра 1,5—3,4 м³/(м²·сут). Восстановление пропускной способности засоренной мембраны производится путем прокачивания фильтрата в обратном направлении от внешней к внутренней поверхности пористых трубок

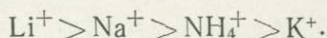
под давлением 1,4 кгс/см². Ультрафильтры с волокнами ромайкон рекомендуются для очистки жидкостей от тонкодисперсной взвеси.

IV.2.3. СЕЛЕКТИВНОСТЬ И ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ АНИЗОТРОПНЫХ МЕМБРАН

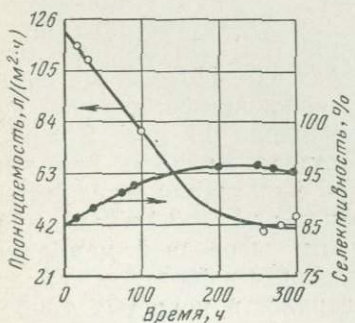
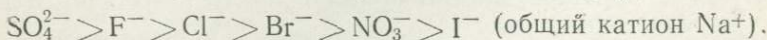
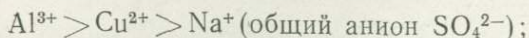
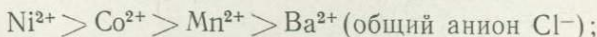
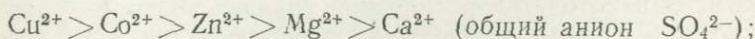
Селективность мембран. При разделении раствора обратным осмосом в течение процесса переноса свободной воды селективность мембраны поддерживается высокой. После завершения переноса свободной воды резко снижаются селективность и пропускная способность мембраны. Дальнейшее пребывание мембраны под воздействием давления, приложенного к раствору, сопровождается обезвоживанием мембраны и необратимой утратой ею селективных свойств. В процессе работы мембрана уплотняется, поэтому ее селективность повышается, а проницаемость снижается (рис. 22). Селективность мембраны зависит от ее диэлектрических свойств, химической активности (например, способность образовать водородную связь), структуры и дисперсности пор, а также от валентности и энергии гидратации ионов разделяемого раствора. По данным работы [86] селективность мембраны возрастает с увеличением валентности ионов, которые располагаются в следующий ряд в порядке убывания селективности:



для одновалентных ионов:



На основе энергии гидратации ионов в работе [86] приведены следующие ряды селективности:



Мембранное разделение растворов хлоридов и натриевых солей диссоциирующих органических кислот протекает с высокой селективностью. Эффективно протекает процесс мембранного разделения рас-

РИС. 22. ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ НА СЕЛЕКТИВНОСТЬ И ПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАНЫ

творов электролитов и неэлектролитов с молекулярной массой больше 150.

Низкая селективность наблюдается при разделении растворов перхлоратов, цианидов, тиоцианидов и растворенных в воде газов, а также слабодиссоциированных органических соединений с малой молекулярной массой. Селективность разделения органических соединений возрастает с увеличением их молекулярного веса и особенно при разветвленной структуре молекул. С высокой селективностью протекает мембранное разделение растворов полимеров и коллоидов.

Полимерные мембраны и в том числе ацетатцеллюлозные, обладая вязкоэластичными свойствами, под давлением уплотняются. После снятия давления вследствие остаточной деформации структура мембраны полностью не восстанавливается. Поэтому с увеличением давления повышается селективность мембраны, но при этом повышается и ее гидравлическое сопротивление.

При разделении растворов ацетатцеллюлозными мембранами селективность, рассчитанная по формуле (16), достигает 90% и выше. Даже при самых благоприятных условиях селективность не достигает 100%, так как мембраны почти всегда имеют дефектные сравнительно крупные малоселективные поры, снижающие селективность мембраны.

О расчете пропускной способности мембран. В литературе рассматриваются отдельные методы расчета пропускной способности разделительных мембран и выходов продуктов мембранных процессов.

В работе А. С. Майклса [87] указанные расчеты обратного осмоса основаны на модели диффузионного переноса растворителя, а ультрафильтрации — на модели молекулярного сита. С. Кимура и С. Сурираян [82] свои расчеты процесса обратного осмоса также связывают с механизмом диффузионного переноса растворителя через ацетатцеллюлозную мембрану. На основе диффузионного переноса рассмотрены и показатели работы мембран из полых волокон. Ю. И. Дытнерским и Р. Г. Кочаровым [27] предложен расчет обратного осмоса и ультрафильтрации на основе «эмпирических корреляций» в смысле привлечения экспериментально изученных показателей и зависимостей селективности и проницаемости мембраны от концентрации раствора и гидродинамических условий его разделения.

Перечисленные методы расчета предполагают экспериментальное определение исходных коэффициентов и выявление отдельных факторов, определяющих селективность и проницаемость мембран. Конечным результатом расчетов являются громоздкие математические соотношения, затрудняющие получение достоверных арифметических результатов. Наиболее разработанным в аналитическом отношении и наиболее сложным является

метод расчета Кимуры и Сурираяна, базирующийся на безразмерных критериях.

Удельная пропускная способность мембран, выраженная в л/(м²·ч), по данным замеров определяется по формуле

$$v_1 = \frac{v_0}{F \cdot t}, \text{ л/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \quad (17)$$

где v_0 — общий объем фильтрата, л, полученный в течение t часов; F — рабочая площадь мембраны, м².

Обратный осмос и ультрафильтрация протекают под воздействием разности давления по обе стороны мембраны. Выше было указано, что селективность обратноосмотической мембраны сохраняется приблизительно постоянной в течение периода переноса через мембрану свободной (негидратной) воды. Для этого основного периода пропускная способность мембраны приблизительно описывается линейным законом фильтрации

$$v_1 = \frac{K}{\mu} (\Delta P - \Delta \pi), \quad (18)$$

где K — константа, определяемая экспериментально; μ — вязкость фильтрата; ΔP — разность гидростатических давлений по обе стороны мембраны (потери напора); $\Delta \pi$ — разность осмотических давлений по обе стороны мембраны.

Причем

$$\Delta \pi = \pi_1 - \pi_2, \quad (19)$$

где π_1 — осмотическое давление раствора; π_2 — осмотическое давление фильтрата, содержащего растворимое вещество.

По уравнению Вант-Гоффа осмотическое давление

$$\pi = iRTC, \quad (20)$$

где $i = 1 + (\nu - 1)\alpha$ — осмотический коэффициент; α — степень диссоциации электролита; ν — общее число ионов, образующихся при диссоциации одной молекулы; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура; C — концентрация раствора, моль/л.

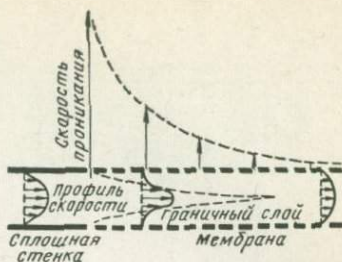
Уравнение (18) можно записать в следующем виде с учетом концентрационной поляризации мембраны:

$$v_1 = \frac{K (\Delta P - \Delta \pi)}{R_m + R_n}, \quad (21)$$

где R_m — гидравлическое сопротивление мембраны; R_n — дополнительное поляризационное сопротивление.

Концентрационная поляризация мембран. В процессе обратного осмоса в граничном слое, примыкающем к рабочей поверхности мембраны, существенно повышается концентрация раствора, что сопровождается ростом его осмотического давления и, следовательно, снижением эффективного напора. Явление концентрационной поляризации снижает пропускную способность мембраны и ее селективность (рис. 23). Концентрационную по-

РИС. 23. СНИЖЕНИЕ ПРОПУСКАЕМОЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБЧАТОЙ МЕМБРАНЫ ПО ЕЕ ДЛИНЕ ВСЛЕДСТВИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ



ляризацию устраняют путем разрушения граничного слоя. В лабораторных условиях применяют магнитные мешалки (см. рис. 25), а в промышленных установках прокачивают исходный раствор над поверхностью мембраны, иногда применяют устройства, турбулизующие поток раствора, что способствует энергичному разрушению концентрационного слоя.

Отрицательное влияние концентрационной поляризации усиливается при содержании в исходном растворе дисперсной взвеси. С целью устранения образования отложений применяют контрольную фильтрацию исходного раствора, что позволяет в несколько раз увеличить срок службы мембраны. Ультрафильтрацию нередко применяют для тонкой очистки растворов от дисперсной взвеси. В этом случае всегда образуются отложения на поверхности и в порах мембраны, которые удаляют путем подачи фильтрата с противоположной стороны мембраны. При промывке анизотропных мембран следует учитывать, что подача обратного потока фильтрата под большим напором может привести к расслоению мембраны — отрыву активного слоя от дренирующей подложки.

IV.3. АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ОБРАТНОГО ОСМОСА И ВОПРОСЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

IV.3.1. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

Мембранные модули. Для снятия характеристик разделительных мембран, а также для исследования их свойств и изучения влияния различных факторов на показатели их работы применяют лабораторные и полупромышленные установки.

На рис. 24 показана схема лабораторной установки с циркуляцией раствора в замкнутом цикле [27]. Для устранения явления поляризации мембраны в разделительной ячейке устанавливают магнитную мешалку (рис. 25). Раствор, выходящий из ячейки, в зависимости от его концентрации может быть концентратом или промпродуктом, который возвращается в цикл для дополнительного обогащения. Для ускорения процесса исследования вместо замкнутого цикла последовательно соединяют две

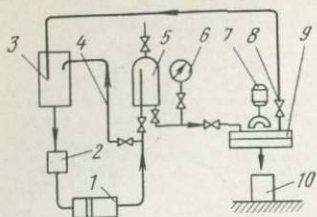


РИС. 24. СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ РАСТВОРА:

1 — плунжерный насос; 2 — фильтр; 3 — расходная емкость; 4 — байпасная линия; 5 — гидроаккумулятор; 6 — манометр; 7 — мешалка; 8 — дроссельный вентиль; 9 — разделительная ячейка; 10 — сборник фильтрата

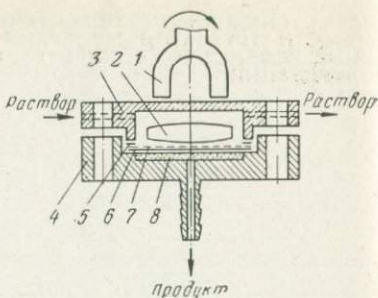


РИС. 25. СХЕМА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЯЧЕЙКИ С МАГНИТНОЙ МЕШАЛКОЙ:

1 — магнит; 2 — мешалка; 3, 4 — фланцы; 5, 6 — прокладки; 7 — мембрана; 8 — пористая подложка

или несколько разделительных ячеек, раствор через которые прокачивается одним плунжерным насосом. Диаметр лабораторных ячеек обычно находится в пределах 30—100 мм, толщина слоя раствора, протекающего через камеру ячейки, составляет 10—20 мм.

На ВДНХ СССР экспонировалось шесть типов экспериментальных гиперфильтрационных установок «Роса» производительностью от 0,1 до 10 м³/сут. Установки «Роса» изготовлены НПО «Компас». Полупроницаемые мембраны для этих установок синтезированы в НИИпластмасс [28]. Аппараты «Роса» рекомендуются для исследовательских и практических целей. Опытный завод АКХ им. М. Д. Панфилова также выпускает установки для гиперfiltrации УГ-1 и УГ-10 типа «фильтрпресс» для опреснения солоноватой воды производительностью по фильтрату соответственно 1 и 10 м³/сут.

В последнее время появились различные конструкции гипер- и ультрафильтрационных установок [27]. Например, в США и Японии работают гиперфильтрационные установки с мембранами, свернутыми в рулоны (рис. 26). Производительность такой установки, экипированной рулонными элементами, достигает 200 м³/сут по фильтрату. Гиперфильтрационные мембраны имеют сравнительно небольшую удельную пропускную способность. Поэтому конструкции промышленных установок разрабатывают с расчетом достижения наиболее плотной упаковки мембраны. Количественной оценкой компактности разделительной установки служит показатель плотности упаковки мембраны, выраженной в м² рабочей поверхности на 1 м³ объема аппарата. Резкий рост этого показателя достигнут в результате разработки разделительных мембран с полыми волокнами.

Удельная поверхность отдельных конструкций аппаратов многокамерных, трубчатых и с рулонным расположением мем-

РИС. 26. СХЕМА РУЛОННОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА:

1 — мембраны, свернутые в рулон; 2 — отвод пресной воды; 3 — подвод к мембране соленой воды; 4 — кожух; 5 — водонепроницаемая стенка; 6 — перфорированная труба для отвода отработанной воды

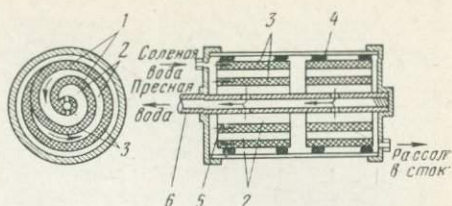
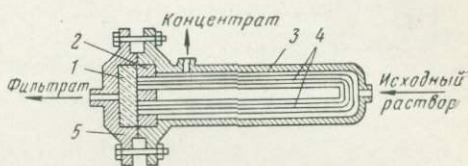


РИС. 27. СХЕМА МЕМБРАННОГО ЭЛЕМЕНТА С ПОЛЫМИ ВОЛОКНАМИ:

1 — подложка; 2 — решетка с закрепленными волокнами; 3 — корпус; 4 — трубка; 5 — крышка



браны составляет соответственно 60—300, 100—200 и 300—800 м²/м³. Удельная поверхность аппарата, экипированного мембраной с полыми волокнами, зависит от диаметра волокон и составляет 20 и даже 30 тыс. м²/м³. В фильтрующих элементах полым волокнам придается U-образная форма при закреплении их в одной трубной решетке, что упрощает конструкцию элемента (рис. 27). Например, фильтрующий элемент фирмы «Дюпон» производительностью 40 м³/сут обессоленной воды экипирован полыми волокнами с наружными диаметрами 45 и внутренними 24 мкм. В элементе размещается 28 млн. волокон с общей поверхностью 7850 м². При рабочем давлении 42 кгс/см² волокна служат в течение 5 лет. Из таких элементов диаметром 220 и длиной 1220 мм komponуют установки в соответствии с проектируемой производительностью. Стандартные установки, выпускаемые фирмой «Дюпон», имеют производительность от 5 до 1000 м³/сут.

Необходимость тонкой фильтрации сточной воды перед мембранами в виде полых волокон и затруднения, возникающие при обнаружении и замене поврежденных волокон, являются недостатками этого вида мембран.

В странах Западной Европы, США и Японии выпускают различные типы установок обратного осмоса (гипер- и ультрафильтрация).

Характеристики разделительных мембран зарубежных фирм приведены в работах [87, 88].

Схемы установок. Схему установки мембранных модулей обосновывают с учетом производительности и состава сточной воды и необходимой степени ее очистки или концентрации раствора. На рис. 28 приведены типовые схемы гиперфильтрационных установок [26]. Одноступенчатая схема (рис. 28, а), применяемая при небольшой производительности, не обеспечивает высокую степень очистки сточной воды и концентрирования

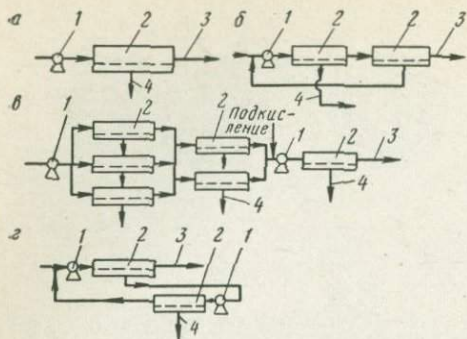


РИС. 28. СХЕМЫ РАБОТЫ ГИПЕРФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК:

а — одноступенчатая схема; б, в, г — многоступенчатые схемы; 1 — насос; 2 — гиперфильтрационный аппарат; 3 — выход концентрата; 4 — выход фильтрата

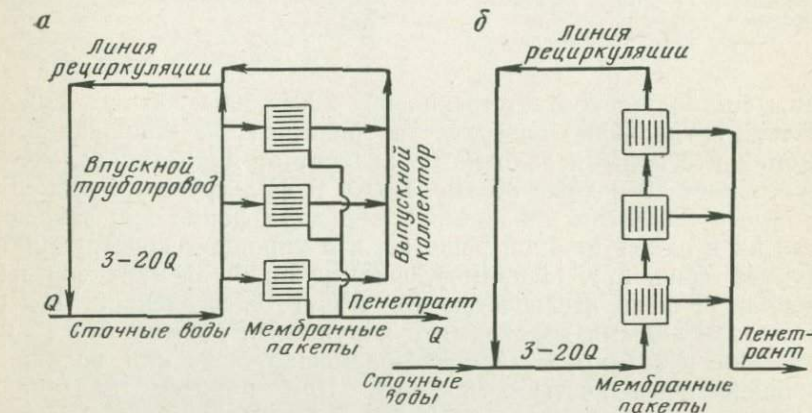


РИС. 29. СХЕМА ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ (а) И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ (б) СОЕДИНЕНИИ МЕМБРАНЫХ ПАКЕТОВ (МОДУЛЕЙ); Q — ОБЪЕМНАЯ СКОРОСТЬ ПОТОКА СТОЧНЫХ ВОД

раствора. При большой производительности применяют многоступенчатые установки (рис. 28, б, в и г). Причем схемы б и особенно в при многоступенчатой очистке сточной воды обеспечивают высокую степень концентрации вещества в концентрате, а в схеме г, работающей в замкнутом цикле, по фильтрату получают высокую степень очистки сточной воды.

Общим недостатком мембранных систем является возникновение концентрационной поляризации (образование устойчивого граничного слоя), снижающей проницаемость мембран. Отрицательное влияние поляризации мембраны особенно проявляется при очистке неомогенной сточной воды или другой жидкости.

Поляризацию снижают, например, путем смыва граничного слоя при увеличении линейной скорости потока вдоль поверхности мембраны до 0,9 м/с и более. При высокой скорости потока для обеспечения приемлемой степени концентрации применяют схемы гипер- и ультрафильтрации с замкнутым циклом с кратностью рециркуляции раствора до 20 и даже выше (рис. 29).

При эксплуатации мембранных установок принимаются меры по защите мембран от засорения осадками и биообрастаний. Например, при очистке жесткой воды для предотвращения це-

ментации мембраны кальцитом в сточную воду дозируют гекса-метафосфат натрия или другие полифосфаты в количестве до 20 мг на 1 л воды. Полифосфаты способствуют образованию сравнительно рыхлой структуры кальцита в граничном слое, который смывается продольным потоком сточной воды. В отдельных случаях для предотвращения выпадения кальцита сточную воду подкисляют до $pH=5,5 \div 6,0$ (см. рис. 28, в).

Для удаления из сточной воды различной взвеси, засоряющей мембраны, применяют предварительную (контрольную) фильтрацию перед гиперфильтрацией. Тонкость контрольной фильтрации зависит от типа мембраны. Перед мембранами в виде полого волокна требуется удалить из сточной воды частицы с размерами 1—10 мкм, а перед плоскими и рулонными мембранами — 10—25 мкм. Контрольная фильтрация повышает пропускную способность мембран и в несколько раз увеличивает срок их службы.

При очистке сточных вод, содержащих органические вещества, перспективными являются схемы, совмещающие биологическую конверсию с мембранным процессом. В биомембранной схеме мембрана задерживает биологические вещества и частицы органики, медленно усваиваемые и не усвоенные микроорганизмами. На рис. 30 приведена типовая схема биомембранной технологии очистки сточной воды [29]. В общепринятой технологии очистки воды, содержащей органику, лимитирующим фактором является малая скорость осаждения биологического материала.

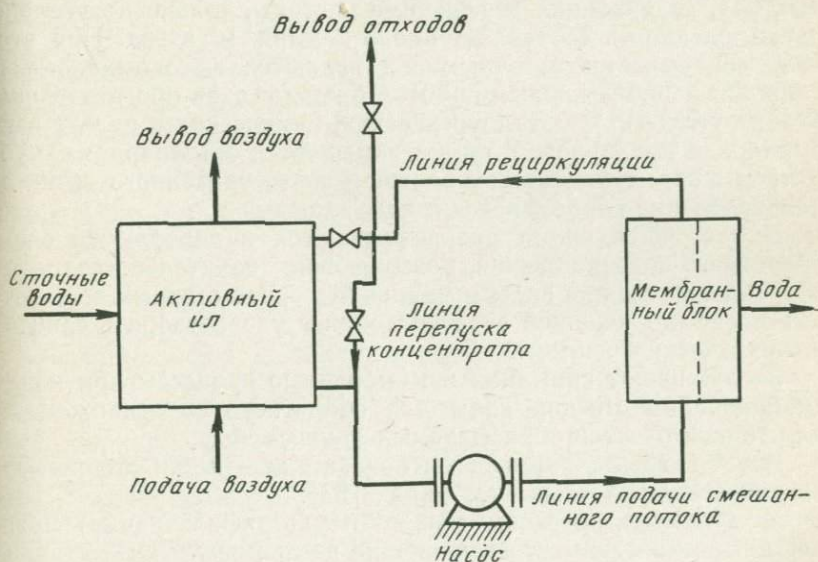


РИС. 30. СХЕМА БИОМЕМБРАНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

В биомембранной технологии этот фактор не имеет существенного значения. Причем по обе стороны мембраны возникает небольшое осмотическое давление и мембранный процесс протекает при небольшом давлении.

Выясняется целесообразность использования активированного угля в биомембранной технологии очистки сточной воды без участия активного ила. Активированный уголь адсорбирует органику и в том числе малые молекулы, которые не задерживает мембрана. Уголь предохраняет мембрану от засорения жирами и маслами и создает благоприятные условия для ее работы. Допускается, что в биомембранной системе уголь регенерируется биохимически. В данном случае можно применять ультрафильтранные мембраны с высокой проницаемостью по фильтрату от 5 до 25 м³/(м²·сут) при давлении до 7 кгс/см².

IV.3.2. К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ МЕМБРАН

Среди различных областей применения разделительных мембран особое место занимают очистка сточных вод и обессоливание (опреснение) подземной и морской воды.

Водопотребление в Советском Союзе ежегодно увеличивается приблизительно на 6% и в настоящее время превышает 30 млрд. м³ в год. Из этого количества около 65% используется промышленными предприятиями. При этом возрастает и количество сбрасываемых сточных вод. Например, количество сточных вод, содержащих взвешенные частицы, только по угольной промышленности составляет около 2 млрд. м³ в год. При этом 45% сбрасываемых сточных вод являются высокоминерализованными и 11,5% кислыми [30]. Объемы стоков обогатительных (кроме угольных), металлургических, химических и целлюлозно-бумажных предприятий также измеряются миллиардами кубометров в год. По существу большая часть указанного выше водопотребления сбрасывается в виде стоков.

В настоящее время разрабатываются и внедряются схемы оборотного водоснабжения, позволяющие значительно сократить потребление свежей воды и уменьшить сброс сточных вод, которые после надлежащей очистки должны удовлетворять санитарно-техническим нормам.

Заслуживают внимания и мембранные процессы при кондиционировании сточной воды для оборотного водоснабжения и для тонкой очистки сбрасываемых сточных вод.

В табл. 23 и 24 приведены показатели очистки сточных вод на ацетатцеллюлозных мембранах [27].

Мембранные процессы (гипер- и ультрафильтрация) позволяют извлечь ценные составляющие из промышленных стоков и в том числе соли тяжелых металлов. Например, гиперфильтрацией извлекают до 93% хрома из сточной воды гальванических

ОЧИСТКА СТОЧНОЙ ВОДЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО
ПРОИЗВОДСТВА ($P=87,5$ кгс/см²)

Сточная вода	Цветность, градусы		Окисляемость, мг/л		Селективность мембраны, %		Проницаемость, л/(м ² ·ч)
	исходной воды	фильтра	исходной воды	фильтра	по цветности	по окисляемости	
Смешанный поток	2130	10	320	15,2	99,5	95,4	20,1
Конденсаты выпарной станции	3210	17	610	47,2	99,4	92,4	19,1

Таблица 24

ОЧИСТКА СТОЧНОЙ ВОДЫ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Растворенные вещества	Содержание, мг/л		Селективность, %
	Сточная вода	Очищенная вода	
Хлориды	1075	18,5	98,5
Ионы железа	0,57	0,17	70,0
Нитраты	0,60	0,20	66,7
Моющие вещества	0,25	0,00	100
Число бактерий на 100 мл пробы	4800	4,00	~100

производств, при этом степень концентрации хрома приближается к 100 [31]. При давлении 30—35 кгс/см гиперфильтрацией извлекается в концентрат $K_2Cr_2O_7$, $CuSO_4$ и $ZnSO_4$ 96,5—99,0%. Ультрафильтрацию применяют для регенерации солей серебра из растворов в производстве фотоэмульсий. Обоснована целесообразность применения гипер- и ультрафильтрации для разделения неорганических и органических жидких смесей и для концентрации растворов в химической, нефтеперерабатывающей, пищевой и в других отраслях промышленности, а также в биологии и в медицине.

Обратный осмос (гиперфильтрация) получает все более широкое применение. Гиперфильтрационные установки по обессоливанию воды и очистки стоков работают в США, Японии, Канаде, Франции, Англии и в других странах. Например, в Японии уже в 1972 г. работало свыше 100 установок обратного осмоса, в том числе производительностью 3000 и 9500 м³ в сутки по объему очищенной воды [89]. В Канаде работают двухстадийные установки обратного осмоса для получения стерильной воды производительностью 1200 м³/сут. В 1975 г. за рубежом работало свыше 1000 установок обратного осмоса.

Повышенный интерес к мембранным методам опреснения морской воды проявляется в нефтедобывающих странах Персидского залива и в других районах, в которых ощущается острый недостаток пресной воды. Например, Саудовская Аравия осуществляет программу по сооружению мембранных опреснительных комплексов в промышленных и сельскохозяйственных районах страны [32].

Процесс обессоливания воды обратным осмосом в отличие от дистилляции протекает при обычной температуре и не сопровождается фазовыми превращениями. Аппаратурное оформление процесса является сравнительно простым и состоит из двух основных узлов — мембранного аппарата и насосного агрегата для нагнетания исходной воды или раствора. По расходу энергии обратный осмос выгодно отличается от других способов обессоливания воды. Например, в работе [33] указывается, что расход энергии на обессоливание морской воды составляет (кВт·ч/м³): дистилляцией 63,6; электродиализом 35,8 и обратным осмосом 3,7. Стоимость очистки воды обратным осмосом снижается с увеличением производительности установки и особенно припутном извлечении ценных составляющих. Затраты на очистку воды гипер- и ультрафильтрацией на крупных установках не превышают стоимость очистки распространенными методами.

При проведении гиперфильтрации возникает целесообразность рекуперации избыточного давления очищенной воды. При производительности по фильтрату свыше 2000 м³/сут считается целесообразным установка турбины с электрогенератором, а при меньшей производительности — энергообменников, позволяющих напор сбросного потока передать эквивалентному по расходу потоку исходной воды. При этом на 15—20% снижается себестоимость очистки воды. По расчетам фирмы «Дженерал Атомик» установка турбин с электрогенераторами целесообразна для станций производительностью свыше 6000 м³/сут.

Обратный осмос, как и другие способы очистки воды, имеет свои недостатки. Например, осуществление этого способа связано с применением высоких давлений со всеми вытекающими последствиями.

Результаты исследования и промышленные испытания мембранных процессов позволяют заключить, что обратный осмос (гипер- и ультрафильтрация) является экономичным и перспективным процессом для применения его в различных областях народного хозяйства.

КЕРАМИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ
ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

V.1. КЕРАМИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

V.1.1. ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Керамические и металлокерамические фильтры могут работать в обычных и жестких условиях и при соответствующем подборе материала вполне устойчивы против действия высоких температур, агрессивных сред и больших напоров. Такие фильтры благодаря жесткому закреплению частиц в пористом скелете и многослойному расположению пор обладают высокой задерживающей способностью по отношению к самой тонкой взвеси. В данном случае удовлетворяются требования, предъявляемые к фильтрующим материалам,— высокая проницаемость и тонкость фильтрации.

Керамические фильтры получают путем обжига или спекания силикатных (шамот, кварц), стеклянных, фарфоровых и других керамических порошков с добавками связующих или пластифицирующих материалов. В соответствии с этим для изготовления керамических фильтров применяют два вида материалов: наполнитель и связующее (связка). Наполнитель образует пористую основу, или скелет фильтра, а связка обеспечивает жесткую связь между отдельными зернами наполнителя.

При использовании в качестве наполнителя шамота, черепка, фарфорового боя или кварца связкой служит каолиновая глина и бентонит. Пластические свойства связки позволяют получать керамические фильтры путем формования и последующего обжига. Для изготовления фильтров на основе шамота в качестве связки применяют также и натриевое жидкое стекло с добавкой кремнефтористого натрия. Последний способствует коагуляции силиката натрия и повышает прочность склеивания зерен наполнителя гелем кремнекислоты. Шамотные фильтры на жидком стекле с добавкой кремнефтористого натрия отличаются водостойкостью и высокой механической прочностью. Фирма «Полизиус» (ФРГ) выпускает фильтрующие плиты из зернистого кварца с применением в качестве связующего синтетической смолы. Эти плиты более устойчивы против засорения и значительно прочнее пористых керамических плит, получаемых путем обжига.

Фильтрующие керамические элементы изготовляют в форме пластин, полых цилиндров и патронов с глухим дном.

Гладкие пористые пластины применяют для фильтрпрессов вместо быстро разрушающихся фильтротканей. Пластины имеют толщину 8—10 мм и прочность их достаточна (сопротивление изгибу 70—215 кгс/см²) для работы в фильтрпрессах под давлением до 8 кгс/см². Для малых фильтрпрессов до 500 мм применяют цельные пористые пластины, а для больших рекомендуется применение составных плит из нескольких секторов. В зависимости от крупности зерен шамотного наполнителя пластины изготовляют с размерами проходных пор от 15 до 60 мкм с проницаемостью для воды соответственно от 2,4 до 25 см³/см² в час при напоре 1 см рт. ст. и при толщине пластины 1 см.

Фильтрующие элементы патронных фильтров изготовляют из шамотно-бентонитовых масс путем прессования в форме пористых цилиндров-патронов с глухим днищем. В резервуаре для фильтрования располагается одна или несколько батарей фильтрующих патронов, соединенных с коллекторной трубой для сбора фильтрата. УКРНИИхиммашем (г. Харьков) разработана конструкция патронных керамических элементов, предназначенных для осветлительного и сгустительного фильтрования нейтральных и агрессивных суспензий преимущественно малоконцентрированных [34].

Хорошими фильтрующими свойствами обладают шамотные пористые элементы с минимальным количеством бентонитовой связки. Такое соотношение наполнителя и связки обеспечивает высокую проницаемость пористой керамики и позволяет в широких пределах варьировать размерами проходных пор от 5—7 до 300—500 мкм.

На проницаемость пористой керамики существенно влияет гранулометрический состав наполнителя (табл. 25).

Фильтрующую керамику по специальным заказам изготовляют предприятия по производству керамических изделий, например Славянский керамико-изоляторный комбинат (патронные

Таблица 25

ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАМОТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ
(ПО ДАННЫМ УКРНИИХИММАША)

Фракция шамота, мкм	Пористость, %	Средний размер пор, мкм	Коэффициент воздухопроницае- мости
150—70	39,6—40,2	50—58	3,84—3,96
190—70	42,7—45,2	65—80	4,02—6,37
290—190	43,0—45,2	94—107	13,4—18,9
400—290	42,6—42,9	152—165	44,0—44,8

элементы), Гжельское объединение по производству керамических изделий (бактериологические и другие фильтры для тонкой фильтрации), Кинешемский керамический завод (фильтрующие пластины) и другие промышленные объединения по производству керамических изделий различного назначения.

V.1.2. ФИЛЬТРУЮЩАЯ КЕРАМИКА ИЗ СТЕКЛА

Стеклянные фильтры получают путем прессования стеклянных порошков с последующим спеканием. Для получения фильтров с заданными размерами пор измельченное стекло рассеивают на фракции. Например, для фильтрующих шоттовских тиглей и воронок Бюхнера выпускают пористые пластинки из термостойкого стекла под номерами: 1, 2, 3 и 4 с размерами пор соответственно 100—120, 40—50, 20—30 и 5—10 мкм.

Для изготовления фильтров с высокими фильтрующими свойствами употребляют сферические гранулы из специальных стекол. Стеклянные шарики получают способами, основанными на свойстве частиц размягченного стекла принимать сферическую форму. Округлению частиц способствует поверхностное натяжение, для повышения которого в стекломассу добавляют TiO_2 или PbO в количествах до 50%, при этом возрастают прочность и термостойкость стекла. Например, во Франции стеклянные шарики получают путем разбрызгивания расплавленной стекломассы в нагретой камере. В ЧССР мелкие сферические гранулы получают в процессе окатывания стеклянного порошка во вращающихся барабанах. Для получения сферических гранул заданного размера соответствующие фракции стеклянного порошка смешивают с мелом и нагревают в печи до температуры размягчения. При этом стеклянные гранулы под действием поверхностного натяжения принимают сферическую форму. После охлаждения мел отмывают от стекла или растворяют его в соляной кислоте. При изготовлении стеклянных фильтров сферические порошки смешивают с парафином (3—6% по массе) или с поливиниловым спиртом, затем прессуют под давлением 1000—2000 кгс/см² и спекают при температуре около 800°С. Фильтры из специальных стекол обладают высокой проницаемостью и достаточной прочностью (табл. 26).

В различных отраслях промышленности и техники зарубежных стран фильтрующая керамика из стекла (фильтры из фриттованного стекла) находит широкое применение особенно в лабораторной практике и фармакологии. Такие фильтры используют в любых средах кроме плавиковой кислоты и горячих щелочей. Они устойчивы при температуре до 500°С. Фильтры из фриттованного стекла подразделяют на следующие классы по размерам открытых пор: 10—20, 20—40, 40—90, 90—150 и 150—200 мкм. Эти фильтры могут работать при перепаде давления не более 1 кгс/см². Фильтры имеют толщину от 3 до 5 мм. Фрит-

ХАРАКТЕРИСТИКА СТЕКЛЯННЫХ ФИЛЬТРОВ (ПРОНИЦАЕМОСТЬ ДАНА ПРИ ПЕРЕПАДЕ НАПОРА 60 СМ ВОД. СТ.)

Марка стекла	Прочность стекла на изгиб, кгс/см ²	Фракция, мкм	Температура спекания, °С	Размер пор, мкм		Воздухопроницаемость, м ³ /(м ² ·ч)
				максимальный	средний	
13	600	400	800	148	66	7,8
17	—	400	790	104	58	8,0
17	—	500	820	197	118	37,6
32А	1500	400	800	163	98	20,2

тованное стекло даже при малой величине напора обладает высокой пропускной способностью. Проницаемость засоренных фильтров восстанавливают путем противоточной промывки водой или кислыми растворами, например соляной или азотной кислоты.

В.2. МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В.2.1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОРИСТОЙ МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ И ЕЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Особенности металлокерамики. Фильтрующая металлокерамика по сравнению с другими фильтрующими средами имеет более высокую прочность, хорошо выдерживает резкие колебания температуры и надежно работает при высоких температурах и больших напорах. Пористая металлокерамика приобретает особое значение для тонкой очистки различных жидкостей и газов, когда фильтры должны обеспечить большую скорость фильтрации и высокую задерживающую способность по отношению к тонкой взвеси. Наряду с этим высокая механическая прочность металлокерамики полностью исключает засорение пор материалом фильтра и позволяет изготавливать фильтрующие элементы с тонкими стенками, что существенно снижает их гидравлическое сопротивление. Благодаря высокой электропроводности в металлокерамике не возникают электрокинетические явления, что также оказывает благоприятное влияние на ее проницаемость. Малое гидравлическое сопротивление и высокая задерживающая способность, обусловленная многослойным расположением пор, определяют эффективную работу металлокерамических фильтров.

Технология производства фильтрующей металлокерамики основывается на методах порошковой металлургии и включает следующие операции: получение металлического порошка, классификация порошка на фракции, формовка, прессование, спекание и контроль спеченных изделий.

Металлические порошки. Для изготовления фильтрующих элементов употребляют порошки из бронзы, латуни, никеля, монельметалла, титана, нержавеющей и обычной малоуглеродистой стали. Фильтры с высокой проницаемостью и достаточной задерживающей способностью по отношению к твердой взвеси получают из порошков с гладкими гранулами сферической формы. Фильтры из порошков с частицами в виде чешуек, дендритов и других несферических форм с шероховатой поверхностью хорошо спекаются, отличаются высокой прочностью и тонкостью фильтрации, но имеют сравнительно низкую проницаемость и сложность очистки их от засорений.

Порошки с гранулами сферической формы получают путем распыления проволоки из различных металлов на электрометаллизационных аппаратах. Экономичным является способ получения сферических порошков путем распыления струи расплавленного металла воздухом. Например, железный порошок, полученный этим методом, меньше окисляется и обходится значительно дешевле по сравнению с порошком из проволоки на металлизационном аппарате. При обкатке порошка в барабанной или конической мельнице увеличивается выход сферических гранул и с их поверхности почти полностью удаляется окалина. Для железных фильтрующих элементов рекомендуется получать порошки из низкоуглеродистой стали или железа армко. Фильтрующие элементы из конструкционной и тем более высокоуглеродистой стали при работе в нейтральной и щелочной средах подвержены внутренней коррозии и быстро выходят из строя.

Порошки с мелкими сферическими гранулами получают в процессе термической диссоциации карбониллов металлов в автоклавах, например, пентакарбонила железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$, тетракарбонил никеля $\text{Ni}(\text{CO})_4$ и кобальта $\text{Co}(\text{CO})_4$ и карбониллов других металлов. В институте Гипроникель разработаны способы получения различных марок карбонильных порошков.

Порошки для производства фильтрующих элементов, устойчивых в кислых средах и при высокой температуре, получают из титана и нержавеющей стали аустенитного типа, например марки Х17Н13М2. Титановые порошки по способу их получения подразделяют на магнийтермические и электролитические. Магнийтермический порошок марки ТГ-ЧМ из отсевов титановой губки размерами частиц 0,18—0,63 мм имеет губчатую структуру и вполне пригоден для производства титановых фильтров. Марки электролитических порошков титана ПТОМ, ПТМ и ПТС содержат фракции мельче 50 мкм в количестве соответственно 99, 72—79 и 54—56%.

Изготовление фильтрующей керамики. Металлокерамические фильтрующие элементы получают путем спекания рассмотренных выше порошков. Крупнопористые фильтры для улавливания твердой взвеси 8—10 мкм получают из порошков с гранулами 200—800 мкм, для среднепористых фильтров применяют порош-

ки 60—300 мкм и для тонкопористых 3—60 мкм, обеспечивающих тонкость фильтрации до 1 мкм и даже тоньше.

Применяют два основных способа получения металлокерамических фильтрующих элементов: метод свободной насыпки порошка с последующей вибрационной утряской формы и спеканием в камерных электрических печах и способ прессования порошков с получением брикетов заданной формы и размеров с последующим спеканием в электрических камерных печах или в высокочастотных вакуумных установках ЛГ-60. Фильтры из сферических гранул обычно получают по второму способу.

Прессовки металлокерамических фильтров имеют небольшую прочность на разрыв в пределах 1—2 кгс/см². В процессе спекания прессовок удаляется наполнитель и повышается прочность пористого элемента. Необходимая температура спекания составляет 0,7—0,8 от абсолютной температуры плавления металла порошка. Например, порошки из коррозионностойкой стали марки Х18Н10 спекают при 1200°С, время выдержки 3 ч, а порошки титана спекают при 1100°С в течение четырех часов [35, 36]. Для повышения качества фильтрующих элементов спекание их проводят в защитной среде, например, в атмосфере водорода или более дешевого конвертированного газа. Металлические порошки, взаимодействующие с водородом, спекают в среде аргона с предварительным вакуумированием контейнера с прессовками. Пористые тонкие титановые листы спекают в две стадии предварительно при температуре 750—820°С и окончательно при 880—920°С в атмосфере аргона.

Зарубежные металлокерамические фильтрующие элементы.

В экономически развитых странах металлокерамические фильтры находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности и техники для фильтрации жидкостей и газов.

Фильтрующие элементы из бронзовых сферических гранул изготовляют в ГДР, ЧССР, ФРГ, Франции и Японии. В ГДР бронзовые и медные фильтры выпускают в виде полых патронов диаметром до 120 мм, длиной до 400 мм и толщиной стенок 3—5 мм.

Фирмы США выпускают металлокерамические фильтрующие элементы из различных металлов и сплавов девяти классов и размеров для улавливания частиц от 100 до 1 мкм и в том числе титановые в виде полых цилиндров диаметром 180 и длиной 700 мм для монтажа фильтрующих патронов [37].

Японские фирмы «Ебара» и «Шокетзи Кинзоки», а также «Нитто Майкуро-Когие» выпускают фильтры с металлокерамическими фильтрующими элементами из порошков бронзы с содержанием 4—12% Sn, нержавеющей стали марок Х18Н9 и Х17Н13М2, а также из порошков никеля, монеля и серебра. Элементы из бронзы и нержавеющей стали имеют пористость соответственно 33—43 и 40—50% при прочности на разрыв 3—

10 и 1,4—2,5 кгс/мм² и прочность на сжатие 250—350 и 300—700 кгс/см². Тонкость фильтрации японских фильтров находится в пределах от 200 до 2 мкм. Фильтрующие элементы в основном выпускаются в форме цилиндров, конусов и дисков диаметром до 500 мм. Эллипсность готовых изделий не превышает 0,1 мм.

Фирмы США «Пэлл Филтрейшн», «Эйркрафт Пороус медиа» выпускают фильтрующие элементы, полученные путем непосредственного спекания густой металлической сетки или же путем спекания металлических сеток с тонкими порошками нержавеющей стали, жаропрочных сплавов и различных металлов. Предложены разные варианты получения сетчатых элементов. Например, фильтрующие элементы и газовые мембраны получают путем напрессования очень тонких порошков на металлическую сетку [38] или путем совместной прокатки порошка и сетки с последующим спеканием в защитной атмосфере [39]. По другому варианту при производстве трубчатых фильтрующих элементов тонкий металлический порошок смешивают с моноолефиновой смолой и наносят на металлическую сетку в виде тонкого слоя. После затвердевания слоя сетку сворачивают в трубу нужных размеров, помещают в контейнер и засыпают порошком глинозема. Контейнер нагревается в электрической печи в защитной атмосфере до температуры спекания порошка с сеткой, смола удаляется и образуется прочный трубчатый фильтрующий элемент [40].

Спеченные сетчатые элементы значительно превосходят металлокерамические порошковые по проницаемости и тонкости фильтрации, а также по прочности и пластичности. Сетчатые фильтрующие элементы из нержавеющей стали и жаропрочных сплавов выпускают в виде листов толщиной 0,4—3,2 мм с размерами до 1800×450 и 1400×600 мм, а также в виде труб и других форм. Высокими механическими и фильтрующими свойствами отличаются фильтры фирмы «Пэлл Филтрейшн» толщиной стенок 0,4—0,7 мм.

Несмотря на благоприятные механические, фильтрующие и антикоррозионные свойства, сетчатые спеченные фильтры вследствие высокой стоимости пока имеют ограниченную область применения.

Фильтрующие свойства. На проницаемость и тонкость фильтрации металлокерамического фильтра влияют величина открытой пористости, размеры и форма пор и его толщина. Пористость и размеры пор определяются гранулометрическим составом порошка и давлением прессования, а форма пор зависит от формы частиц. Влияние гранулометрического состава порошков на проницаемость металлокерамических фильтров иллюстрируется следующими данными. Если проницаемость фильтра из сферических частиц железного порошка 60—100 мкм принять за 1, то для фильтров из частиц 60—150 мкм проницаемость повышается до 1,2, а из частиц 200—300 мкм достигает 7—8. Гидравлическое

сопротивление металлокерамических фильтров растет с увеличением толщины стенок фильтра и скорости фильтрации (табл. 27).

В табл. 28 показано влияние зернистости электролитических порошков титана на размеры открытых пор и на проницаемость фильтрующих элементов. Последние получены путем гидростатического прессования порошков под давлением 1200 кгс/см² с последующим обжигом при температуре 1000°С [37].

Проницаемость и задерживающая способность керамических фильтров зависят не только от размеров частиц порошка, но и от формы (конфигурации) открытых пор. Фактор формы пор в спеченном фильтре в основном идентичен фактору формы исходных частиц. Для оценки формы частиц порошка предложен метод стереометрической металлографии [41]. Рассматривается двумерный фактор формы, показывающий, какая доля периметра фигуры охватывает равновеликий ей круг:

$$\Phi = \frac{P_k}{P_\phi}, \quad (22)$$

где P_k — периметр круга равновеликой площади рассматриваемой фигуры; P_ϕ — периметр рассматриваемой фигуры.

Таблица 27

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ БРОНЗОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ

Скорость фильтрации, л/(см ² ·мин)	Потери напора в кгс/см ² при толщине стенок, мм			
	1,5	2,25	3,0	3,75
15	0,35	0,30	0,50	0,78
30	0,70	0,85	1,40	1,75
45	1,00	1,60	2,10	2,80
60	1,40	2,10	2,80	3,60

Таблица 28

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВЫХ ФИЛЬТРОВ ИЗ ПОРОШКОВ РАЗНОЙ ЗЕРНИСТОСТИ (P=600 ММ ВОД. СТ.)

Фракции порошка, мм	Пористость, %	Диаметр пор, мкм		Воздухпроницаемость, м ³ /(м ² ·мин)
		максимальный	средний	
0,18—0,315	34,2	47	20	4,3
0,315—0,50	30,4	90	29	8,0
0,63—1,0	30,4	210	47	21,2

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИТАНОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Средний размер частиц, мм	Фактор формы частиц и пор	Давление прессования, кгс/см ²	Пористость, %	Диаметр основных пор, мкм	Отношение a/d	Воздухопроницаемость, м ³ (м ² ·мин)
0,14	0,63	1200	29,5	16	0,114	0,99
0,14	0,68	1400	28,0	14	0,100	0,88
0,215	0,72	1200	29,9	22	0,102	1,24
0,215	0,72	1400	29,2	20	0,093	1,05
0,283	0,80	1200	29,5	33	0,116	2,23
0,283	0,80	1400	28,8	29	0,102	1,61

Например, для фракций магнийтермического титанового порошка крупнее 0,18 мм фактор формы находится в пределах 0,80—0,87, а для фракций мельче 0,18 мм снижается до 0,63 [37].

Важными фильтрующими свойствами керамических фильтров являются проницаемость и тонкость фильтрации, которые в основном определяются размерами и конфигурацией проходных пор. В соответствии с геометрией фильтрации Сликтера при плотной укладке монодисперсных сферических частиц диаметром d размеры пор a определяются пропорцией

$$a = 0,155d, \quad (23)$$

следовательно, теоретическое отношение $a/d = 0,155$.

По данным измерений размеры проходных пор титановых фильтров из магнийтермического порошка находятся в пределах от 0,093 до 0,115 d , в среднем около 0,1 d . В табл. 29, составленной по данным [42], приведены фильтрующие свойства титановых фильтров в зависимости от размера частиц порошков, фактора формы и давления прессования.

Фильтры, спеченные из сферических гранул диаметром d , улавливают частицы взвеси размерами несколько меньше 0,1 d [42]. Например, титановые фильтры, полученные путем прокатки магнийтермического порошка размерами открытых пор 5,5—6,0 мкм, задерживают 96—98% взвеси диаметром частиц меньше 4 мкм [36].

Для получения наибольшего количества проходных отверстий на единицу площади предпочитают изготавливать наиболее тонкие фильтры с минимальным количеством замкнутых пор. Толщина металлокерамических фильтров в зависимости от крупности частиц и давления прессования изменяется от 1,0—1,5 до 4—5 мм, в среднем 2—3 мм. Было отмечено, что фильтры Пэйлла толщиной стенок 0,4—0,7 мм, а также фильтрующие элемен-

ты, полученные путем прокатки титановых порошков толщиной стенок 0,2—1,0 мм, обладают высокими фильтрующими свойствами.

V.3. ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

V.3.1. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

Пористую керамику и металлокерамику применяют для очистки различных жидкостей и газов и для фильтрации разбавленных суспензий в горнорудной, химической, нефтяной, металлургической, газовой, пищевой, микробиологической и в других отраслях промышленности.

Следует отметить, что фильтрующей керамике и металлокерамике свойственны и существенные недостатки, обусловленные трудностью съема отфильтрованных осадков и очистки пор от засорений, а также ограниченной возможностью экипировки жесткими фильтрующими элементами современных фильтров непрерывного действия. Поэтому пористую керамику и металлокерамику в отдельных случаях применяют для фильтрации концентрированных суспензий.

Применение фильтрующей керамики. Фильтрующая керамика хотя и не получила широкого распространения, но в особых условиях оказывается наиболее подходящей или даже незаменимой, например, для очистки зашламленной серной кислоты, селено-сульфитных растворов и для фильтрации других агрессивных суспензий.

Показана целесообразность замены фильтрпрессов, экипированных фильтробельтингом, более экономичными и удобными патронными керамическими фильтрами для фильтрации значительных объемов замутненных растворов сернистого алюминия [43].

Фильтрующую керамику применяют для монтажа забойных фильтров в водозаборных устройствах буровых скважин для очистки грунтовых вод от минеральных частиц. В данной области фильтрующая керамика потеснила менее надежные металлические дырчатые, навитые проволочные, сетчатые и другие фильтры прежних конструкций. Фильтрующая керамика постепенно внедряется и для очистки водопроводной воды в виде пористых труб и пластин [44].

Недостатком керамических фильтров являются затруднения, возникающие при удалении осадка с фильтрующей поверхности и при очистке засоренных пор. Регенерация проницаемости особенно затрудняется при засорении керамических фильтров глинистыми и другими труднорастворимыми веществами. Кроме того, фильтрующие элементы из керамики недостаточно прочны —

кромки их легко крошатся. Эти недостатки являются существенными и ограничивают широкое применение керамических фильтров для фильтрации минеральных суспензий.

У.3.2. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ МЕТАЛЛОКЕРАМИКИ

Стальная фильтрующая керамика. Фильтрующую металлокерамику в основном применяют в тех же областях промышленной техники, что и фильтрующую керамику. Однако металлокерамические фильтрующие элементы значительно превосходят керамические по своим фильтрующим и механическим свойствам и область применения их несравненно шире, чем керамических.

Металлокерамические элементы из коррозионностойких металлов и сплавов широко используют в фильтрах для очистки от механических примесей, кислых и других агрессивных жидкостей, а также газов при низкой и высокой температуре.

Фильтрующую металлокерамику выпускают в форме пластин, лент, цилиндров, патронов с глухим дном и других форм. Длина пористых листов, полученных спеканием свободно насыпанных порошков, достигает 1,5—2,5 м при ширине 300—400 мм [45].

Особое значение приобретает фильтрующая металлокерамика из порошков нержавеющей стали. На примере очистки загрязненной азотной кислоты показано, что хорошими антикоррозионными и фильтрующими свойствами обладает фильтрующая керамика из порошков нержавеющей стали марки Х17Н13М2. Последняя по указанным свойствам заметно превосходит марки сталей Х18Н9 и Х18Н9Т [46]. Фильтрующая керамика из стали марки Х17Н13М2 зернистостью 100 мкм выдерживает длительный контакт с азотной кислотой в жидкой и паровой фазах при повышенных температурах и поэтому рекомендуется для ее очистки. Получает распространение пористая и в том числе фильтрующая металлокерамика, изготавливаемая в виде лент путем прокатки металлических порошков на специальном стане [47]. Прокатка металлических порошков освоена на Выксунском металлургическом заводе и на других предприятиях. Например, методом прокатки выпускают ленты пористой нержавеющей стали (марка ПНС) и фильтрующей нержавеющей стали (марка ФНС). Этим способом возможно получение пористых лент из порошков титана и других металлов и сплавов. Пористые листы ФНС обладают удовлетворительными фильтрующими и механическими свойствами — прочностью и стойкостью к вибрационным, ударным и тепловым нагрузкам. В табл. 30 приведена характеристика листов ФНС, полученных путем прокатки порошков хромоникелевой стали марки Х18Н15 [4].

По данным работы [48] пористый прокат ПНС-5 размерами пор 7—13 мкм по тонкости фильтрации заметно превосходит распространенную капроновую фильтроткань арт. 56023. На-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРИСТЫХ ЛИСТОВ ФНС

Размер частиц порошка, мм	Толщина, мм	Пористость, %	Предел прочности на разрыв, кгс/см ²	Тонкость фильтрации, мкм
0,10—0,06	0,40	40—46	4—6	8
0,06—0,04	0,18	34—38	7—10	5
Менее 0,04	0,14	30—32	8—15	3

пример, наблюдалась почти одинаковая скорость фильтрации водных суспензий гидроокиси алюминия и нефелинового шлама через ПНС-5 и капроновую ткань. При этом в фильтрате ткани содержалось твердой взвеси 300—2700 мг/л, а в фильтрате ПНС-5 только 10—16 мг/л. Однако при фильтрации нагретых щелочных суспензий фильтрующие элементы из пористого проката оказались недостаточно устойчивы против коррозии.

Титановая фильтрующая керамика. Из металлокерамических фильтров особое значение приобретает титановая фильтрующая керамика. Титановые фильтрующие элементы обладают высокой коррозионной стойкостью и механической прочностью, обеспечивают достаточную тонкость фильтрации и отличаются большим сроком службы. Поэтому титановые фильтры находят широкое применение для тонкой фильтрации агрессивных суспензий и газов.

Титановые фильтры применяют в цветной металлургии для очистки серы, никелевого электролита и других агрессивных сред на комбинатах Медногорском, «Южуралникель», «Североникель», Норильском горно-металлургическом комбинате и на других предприятиях. Первоначально для указанных целей применяли фильтровальные ткани и керамические фильтры. В дальнейшем была выявлена несомненная экономическая и техническая целесообразность замены фильтровальных тканей и керамических фильтров титановыми.

Рассмотрим условия применения титановых фильтров на примере очистки больших объемов агрессивного никелевого электролита на комбинате «Североникель».

Электролит, содержащий взвеси гидратов и основных солей железа и кобальта, фильтруют на патронных титановых фильтрах. Для обеспечения надлежащей очистки электролита требуется тонкая фильтрация. При этом возникает необходимость фильтрации в две стадии.

Напорный титановый фильтр, сконструированный на комбинате «Североникель», имеет площадь фильтрующей поверхности 40 м² [49]. В корпусе размещается 56 патронов, каждый патрон по длине смонтирован из 10 полых титановых фильтрующих элементов наружным диаметром 120 мм, высотой 250 мм и толщиной стенки 25 мм.

Суспензия в корпус фильтра нагнетается насосами под давлением до 6 кгс/см². Кеки формируются на внешней поверхности патронов, а профильтрованный через пористую керамику внутрь патронов раствор поступает в общий коллектор фильтрата и отводится из фильтра в сборники очищенного электролита. Кеки с фильтрующей поверхности сбрасывают обратным потоком фильтрата или сжатым воздухом. Осадок выпускают из фильтров в виде сгущенной суспензии.

Фильтрующие элементы изготовлены путем гидростатического прессования пористого магнийтермического титанового порошка с последующим обжигом прессовок в глубоком вакууме в электрической печи при температуре 1000—1100° С [36]. Готовые фильтрующие элементы имеют пористость около 30% и размеры максимальных открытых пор 25—35 мкм.

При фильтрации малоцентрированной суспензии наряду с проявлением арочного эффекта частично проявляется и режим глубинной фильтрации, способствующий сравнительно быстрому засорению фильтра. Проницаемость керамики периодически три раза в месяц восстанавливают путем промывки горячим обратным раствором, подкисленным серной кислотой до концентрации 40—50 г/л, что обеспечивает выщелачивание засорений из пор фильтра. Титановая керамика служит около 5 лет.

Производительность керамических титановых фильтров зависит от дисперсности осадков, определяющих их проницаемость, и находится в пределах от 0,4 до 2,0 м³ раствора на 1 м² фильтрующей площади в час, что в несколько раз превышает производительность рамных фильтрпрессов, экипированных фильтровальной тканью. Для обеспечения высокой и стабильной производительности титановых фильтров необходимо поддерживать в определенных пределах рН раствора. Даже небольшое повышение рН среды с 5,4—5,5 до 5,7—5,9 резко снижает производительность фильтров вследствие возрастающего выхода гидратов основных солей, увеличивающих гидравлическое сопротивление фильтра.

За счет внедрения титановых фильтров получена значительная экономия. При этом повысилось качество катодного никеля благодаря получению более чистых растворов и устранено загрязнение атмосферы производственных помещений агрессивными аэрозолями фильтруемых растворов.

Наряду с отмеченными выше преимуществами металлокерамические фильтры, в том числе и титановые, имеют и недостатки: сложность регенерации проницаемости фильтров, засоренных труднорастворимыми веществами, ограниченные размеры фильтрующих элементов, которые лимитируются возможностью прессового и печного оборудования, сравнительно высокая стоимость фильтров, особенно коррозионностойких. Металлокерамические фильтры еще мало применяют для шламовой фильтрации.

ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТОНКОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

VI.1. СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

VI.1.1. ПОРИСТОСТЬ И СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ

Моно- и полидисперсная пористость. По структуре порового пространства фильтрующие материалы можно разделить на три вида: с модисперсными порами (монопористые), с полидисперсными порами (гетеропористые) и со смешанной пористостью. Монопористые материалы имеют приблизительно одинаковые размеры пор определенной конфигурации с равномерным их распределением. К ним можно отнести проволочные фильтросетки и фильтровальные ткани из синтетических моноволокон. Гетеропористые материалы пронизаны порами разных размеров и различной формы. К таким материалам относятся нетканые текстильные фильтрующие материалы, намывные фильтры из волокнистых и зернистых материалов, фильтровальные бумаги, коллоидные мембраны, а также керамические и металлокерамические фильтры. Промежуточное положение занимают фильтровальные ткани, нити которых скручены из множества элементарных волокон. Такие ткани имеют смешанную пористость. Переплетение основных и уточных нитей образует приблизительно монопористую систему проходных отверстий, а нити, скрученные из элементарных волокон, представляют собою гетеропористую структуру из межволоконных пор.

Измерение пористости. Пористость является неотделимым свойством фильтрующего материала, обуславливающим его проницаемость и тонкость фильтрации. В общем виде пористость фильтрующего материала ω определяется отношением объема пор v_n к общему объему материала v и выражается в долях единицы или в процентах

$$\omega = (v_n/v) 100, \quad \% \quad (24)$$

Пористость волокнистого фильтрующего материала рассчитывают по формуле

$$\omega = \left(1 - \frac{\gamma}{\delta}\right) 100, \quad \% \quad (25)$$

где γ — объемная масса сухого фильтрующего материала; δ — плотность вещества сухих волокон.

Однако при определении объемной массы фильтрующего материала возможны погрешности, так как при определении толщины материала трудно учесть его сжимаемость и шероховатость поверхности.

Экспериментально пористость фильтрующих материалов из бумаги, картона, нетканого текстиля и т. п. можно определить методом погружения их в бензин, который свободно проникает в поры и при этом не происходит набухание волокон в бензоле. Пористость по бензолу рассчитывают по формуле

$$\omega = \frac{m_{\text{п}} - m_{\text{с}}}{v \delta_1}, \quad (26)$$

где $m_{\text{с}}$ и $m_{\text{п}}$ — массы сухого и пропитанного образцов, г; δ_1 — плотность бензола, г/см³; v — объем фильтрующего материала, см³.

Причем

$$v = \frac{q}{\delta} + \frac{m_{\text{п}} - m_{\text{с}}}{\delta_1}, \quad (27)$$

где q — масса сухого образца фильтрующего материала, г; δ — плотность сухих волокон, г/см³ (плотность растительных волокон $\delta = 1,5$ г/см³).

На основании формул (26) и (27) получаем

$$\omega = \frac{(m_{\text{п}} - m_{\text{с}}) \gamma}{q \delta_1 + (m_{\text{п}} - m_{\text{с}}) \delta}. \quad (28)$$

В формуле (28) объем образца фильтрующего материала заменен его массой, которую определить значительно проще и точнее, чем его объем v в формуле (26).

В качестве пропитывающей жидкости вместо бензола можно употреблять менее токсичные этиловый спирт, керосин или диоксан.

Пористость жестких фильтрующих мембран также можно определить путем пропитывания их спиртом или водой в условиях разряжения и затем рассчитать по формуле (28). У коллоидной фильтрующей мембраны во влажном состоянии все поры заполнены водой и пористость ее рассчитывают исходя из массы влажной $m_{\text{п}}$ и сухой m мембраны по формуле

$$\omega = \frac{(m_{\text{в}} - m) \delta}{m} 100, \%, \quad (29)$$

где $m_{\text{в}}$ — масса влажная, г; m — масса сухая, г; δ — плотность сухого вещества мембраны, г/см³.

Толщину мембраны можно рассчитать по формуле

$$l = \frac{m_{\text{в}} - m + m/\delta}{F}, \text{ см}, \quad (30)$$

где F — площадь мембраны, см².

Толщина целлюлозных мембран при $\delta = 1,5 \text{ г/см}^3$

$$l = \frac{m_w - 0,334m}{F}, \text{ см.}$$

Непосредственно толщину мембран измеряют микрометром или окулярмикрометром под микроскопом. Толщину жестких фильтрующих элементов и фильтровальных тканей можно измерить стандартным микрометром, известным под названием индикатор, который имеет градуировки до 10 мкм и применяется для определения толщины бумаги. При измерении ткань во влажном состоянии помещают между двумя металлическими пластинками и при помощи верньера с пружинкой производят замер. По ГОСТ 20252—74 толщина фильтровальной ткани должна измеряться при удельной нагрузке 50 гс/см².

Структурная модель. При математическом описании фильтрующих свойств гетеропористых фильтрующих материалов допускают, что их открытые поры имеют цилиндрическую форму с постоянным поперечным сечением, а длину пор принимают равной или пропорциональной толщине мембраны. В последнем случае вводят коэффициент пропорциональности, учитывающий извилистость капилляров. Следовательно, в структурном отношении гетеропористые мембраны моделируют монопористыми мембранами с цилиндрической формой пор. По Л. С. Лейбензону, подобную модель пористого слоя называют «идеальным грунтом».

Идеализированная модель фильтрующего элемента при расчете определяет лишь условный диаметр пор, который является эквивалентным реальному только с точки зрения проницаемости. Условный диаметр пор не может служить характеристикой задерживающей способности гетеропористого фильтрующего элемента по отношению к дисперсной фазе.

VI.1.2. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕТЕРОПОРИСТЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При исследовании пористой структуры гетеропористых мембран преимущественно применяют косвенные методы, основанные на измерении: скорости фильтрации, давления для продавливания воздуха через поры мембраны, заполненные водой или другой жидкостью (метод Баруса — Бехгольда) и вдавливания ртути в поры мембраны (ртутная порометрия), и другие методы.

Скорость течения жидкости через идеализированную модель пористой среды при ламинарном режиме определяется по формуле Пуазейля

$$U = \frac{1}{8\eta} \cdot \frac{H}{l_k} \cdot r^2, \quad (31)$$

где U — средняя скорость течения жидкости вязкостью η по капилляру радиусом r и длиной l_k при потере напора H .

Между скоростью течения U жидкости в капилляре и средней скоростью фильтрации W через мембрану устанавливается соотношение

$$W = mU, \quad (32)$$

где m — открытая пористость мембраны в долях единицы.

После подстановки значения U из формулы (31) в выражение (32) с учетом размерностей в системе СГС получим

$$W = \frac{3,06 \cdot 10^3 m a^2 H}{\eta l}, \quad (33)$$

где a — эквивалентный диаметр открытой поры, см; H — напор г/см²; η — вязкость, сП; l — толщина мембраны, см.

С учетом размерностей в системе СИ получим

$$W = \frac{3,06 \cdot 10^2 m a^2 H}{\eta l}, \quad (34)$$

$$(W — м/с; a и l — м; \eta — Н \cdot с/м^2; H — Н/м^2).$$

Если измерена средняя скорость фильтрации W_0 , м/с, то по формуле (33) можно ориентировочно рассчитать средний a_c (эквивалентный) диаметр пор гетеропористой мембраны

$$a_c = 17,5 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{W_0 \eta l}{m H}}, \text{ мкм.} \quad (35)$$

По методу Баруса — Бехгольда размеры пор определяют по величине давления, необходимого для продавливания пузырьков газа через пропитанный жидкостью образец мембраны [50].

Жидкость, заполняющая капилляр при полном смачивании (краевой угол смачивания $\theta=0$) удерживается силами поверхностного натяжения $\pi a \sigma$. Для уравнивания сил поверхностного натяжения требуется приложить усилие, равное $\pi a^2 H \delta g / 4$.

При состоянии равновесия

$$\pi a \sigma = \frac{\pi a^2}{4} H \delta g. \quad (36)$$

Из уравнения (36) можно определить диаметр пор

$$a = \frac{4\sigma}{g\delta H}, \quad (37)$$

где σ — поверхностное натяжение жидкости, дин/см; g — ускорение свободного падения, см/с²; H — давление газа, см вод. ст.; δ — плотность жидкости, г/см³ (для воды $\delta=1$ г/см³).

Если давление воздуха измеряют ртутным манометром, то удобнее выразить H в мм рт. ст. и диаметр капилляра a в мкм. После подстановки значения $g=981$ см/с² и с учетом принятых размерностей формула (37) упрощается

$$a = \frac{30\sigma}{H}. \quad (38)$$

В системе СИ, выразив σ в мДж/м² и H в Н/м², получим

$$a = \frac{4080\sigma}{H} \quad (39)$$

Удобной для расчета размера пор является формула (38). Например, при испытании образца, насыщенного водой, пробурливание первых пузырьков зафиксировано при $H=40$ мм рт. ст. и выделение пузырьков по всей площади образца при $H=70$ мм рт. ст. Для воды при 20°С $\sigma=72,4$ дин/см.

Следовательно, максимальный размер пор мембраны по формуле (38)

$$a_{\max} = \frac{30 \cdot 72,4}{40} = 54,3 \text{ мкм}$$

и наименьший размер пор при расчете по этой же формуле $a_{\min}=31$ мкм. Методом давления пробурливающих пузырьков определяют размеры пор в интервале от 5 до 300 мкм.

Тонкопористые образцы при порометрическом исследовании насыщают жидкостью с небольшим поверхностным натяжением. Например, этиловый спирт при 20°С имеет $\sigma=22$ дин/см. При расчете по формуле (38) получим, что поры с размерами 5 мкм раскрываются в спирте при $H=132$ мм рт. ст., а в воде при $H=435$ мм рт. ст.

При порометрическом исследовании ультрафильтров поры размерами меньше 1 мкм даже в спирте раскрываются при очень высоком напоре. В данном случае пропрессовывают жидкость с большим поверхностным натяжением в другую не смешивающуюся с первой жидкостью с меньшим поверхностным натяжением. Например взаимно насыщенные вода — бутиловый спирт на разделе фаз имеют $\sigma=1,58$ дин/см. При измерении мембрана насыщается одной жидкостью, например бутиловым спиртом, а вторая жидкость (вода) заливается сверху слоем 3—6 мм. В течение измерения мембрана должна соприкасаться с двумя фазами. При этих условиях по формуле (39) поры диаметром 0,1 мкм раскрываются при напоре

$$H = \frac{4080\sigma}{a} = \frac{4080 \cdot 1,58}{0,1} = 6446 \text{ Н/м}^2 (0,64 \text{ кгс/см}^2).$$

В воде поры 0,1 мкм раскрываются при $H=2,95$ МН/м² (29,5 кгс/см²).

При проведении порометрических измерений распространение получил метод вдавливания ртути в пористый элемент. Для ртутной порометрии предложены специальные поромеры, например ртутный поромер П-3М и другие установки [51]. В основе расчета размеров пор по данным измерений вдавливания ртути находятся те же соотношения, что и для метода продавливания пузырьков газа. В процессе измерения последовательно повышают давление и фиксируют количество проникшей в поры

РАЗМЕР ПОР И ТОНКОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ

Размер пор d , мкм	Размер частиц d' , прошедших через фильтр, мкм	$\frac{d}{d'}$	Размер пор d , мкм	Размер частиц d' , прошедших через фильтр, мкм	$\frac{d}{d'}$
142	58	2,4	24,7	10	2,4
90	38	2,3	9,6	4	2,4
43	18	2,4			

образца ртути. По этим данным строят кривую распределения пор по размерам. К недостаткам ртутной порометрии следует отнести необходимость применения очень высоких давлений для раскрытия тонких пор, что сопровождается деформацией отдельных видов мембран. Следует также учитывать, что токсичность ртути создает неблагоприятные условия для исполнителя работы.

Рассмотренные косвенные методы порометрии не обеспечивают получение достаточных сведений об истинных размерах и структуре пор. Выше уже подчеркивалось, что схематизация порового пространства мембраны позволяет получить лишь эквивалентные диаметры пор, которые несут недостаточную информацию о тонкости фильтрации данной мембраны. Однако по данным работы [45] на примере металлокерамических фильтрующих элементов обнаруживается корреляция между максимальными размерами пор и тонкостью фильтрации (табл. 31).

В данном случае отношение максимального размера пор, раскрытых в воде, к максимальному размеру частиц, прошедших через фильтр, сохраняет постоянное значение в широком диапазоне изменения размеров пор.

VI.1.3. О ПОРИСТОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Хлопковые и филаментные синтетические фильтровальные ткани имеют открытую пористость, образованную пересечением основных и уточных нитей, и межволоконную (внутреннюю) пористость самих нитей. Проницаемость таких тканей обусловлена обоими видами пористости.

Открытую пористость ткани находим на основании уравнения (11). Открытая пористость тканей и сеток с прямоугольными формами пор

$$m_{\text{п}} = (1 - P_o d_o) (1 - P_y d_y) \quad (40)$$

и с квадратными порами

$$m_{\text{к}} = (1 - P_o d_o)^2, \quad (41)$$

где P_o и P_y — количество нитей на 1 см соответственно по основе и утку; d_o и d_y — диаметры соответственно основных и уточных нитей.

Филаментные нити получают путем скручивания элементарных волокон. В процессе скручивания создаются условия для плотной укладки волокон в нити. Поэтому наиболее вероятной является гексагональная укладка волокон. При плотной гексагональной укладке доля объема нити, занятого волокнами, составит

$$\varphi_m = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} = 0,91. \quad (42)$$

В реальных нитях доля объема, занятого волокнами, φ_n меньше φ_m . При $\varphi_n = \varphi_m$ волокна в нити укладываются настолько плотно, что между ними почти не образуется проходных зазоров. Чем ниже коэффициент крутки, тем рыхлее располагаются волокна в нити и тем больше разность $\varphi_m - \varphi_n$. При неизменном диаметре d волокон зазоры между ними (ширина пор) также возрастают с увеличением разности $\varphi_m - \varphi_n$ или с ростом отношения φ_m/φ_n .

Нетрудно показать, что средняя величина пор a_n внутри нити (величина зазоров между волокнами) определяется формулой

$$a_n = d \left(\sqrt{\frac{\varphi_m}{\varphi_n}} - 1 \right) \quad (43)$$

или с учетом (42)

$$a_n = d \left(\frac{0,96}{\sqrt{\varphi_n}} - 1 \right). \quad (44)$$

Следовательно, размер пор нити d_n определяется диаметром волокон d , из которых скручена нить, и степенью заполнения ее волокнами (φ_n). По данным измерений, выполненных Л. Г. Ширинкиным, пористость филаментных нитей из синтетических волокон колеблется в широких пределах, приблизительно от 15 до 37%, соответственно степень заполнения нити волокнами $\varphi_n = 0,85 - 0,63$. Волокна в крученых нитях укладываются значительно плотнее, чем в нетканых фильтрующих материалах. Например, в тонковолокнистых нетканых фильтрах типа ФП значение $\varphi_n = 0,02 - 0,03$.

Проходные зазоры между волокнами в крученых нитях синтетических тканей обычно не превышают 4—5 мкм (табл. 32).

Капроновая (арт. 56007) и фторлоновая ткани имеют значительные размеры открытых пор и более высокую открытую пористость по сравнению с другими тканями. Проницаемость таких тканей в основном обусловлена открытой пористостью, а проницаемость нитей имеет подчиненное значение. В тканях с уплотненным переплетением, но со значительными зазорами между элементарными волокнами, напротив, проницаемость определяется главным образом проницаемостью нитей (полипропиленовая ткань арт. 23273-а и лавсановая арт. 23186). Ткани с уплотненным переплетением из пряжи с высоким коэффициентом

КОЭФФИЦИЕНТЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРИСТОСТИ
ФИЛАМЕНТНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Ткань и артикул	Толщина, мм	Число нитей на 1 см		Диаметр нитей, мкм		Диаметр волокон, мкм	Пористость, %		Размер пор, мкм	
		основы	утка	основы	утка		открытая	нитей	открытых	внутри нитей (ширина)
Капрон, 56007	0,30	28	25	300	350	20	2,0	26,8	50—57	2,4
Капрон, 22338	0,82	18	11	550	600	20	0,3	28,3	30—9	2,6
Лавсан, 23186	0,65	22	16	437	600	20	0,2	37,4	25—18	4,0
Лавсан, 56049	0,59	20	12	500	180	20	—	14,8	—	0,70
Полипропилен, 23273-а	0,41	35	16	285	625	30	—	31,8	—	4,5
Фторлон, 22295	0,13	44	34	200	200	6	3,8	18,8	94—27	0,5

том крутки имеют малую проницаемость. Например, лавсановая ткань арт. 56049 с уплотненным переплетением и с незначительными зазорами между волокнами (0,7 мкм) отличается высокой задерживающей способностью, но имеет недостаточную проницаемость и сравнительно быстро засоряется.

VI.2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ
МОНОПОРИСТЫХ СЕТОК И ТКАНЕЙ

VI.2.1. КРУПНОПОРИСТЫЕ СЕТКИ

Закон ламинарного течения жидкости через капилляры можно применить при ориентировочных расчетах проницаемости сеток и тканей из моноволокна с малыми поперечными размерами проходных отверстий (мелкопористые сетки). Однако этот закон неприменим, если поперечные размеры проходных отверстий сетки являются значительными по сравнению с их длиной (крупнопористые проволочные сетки и ткани с ослабленными переплетениями). При ориентировочной оценке проницаемости крупнопористых материалов можно воспользоваться методом, применяемым в гидравлике при рассмотрении процесса истечения жидкости через отверстия тонкостенных сосудов.

Скорость истечения жидкости из отверстий тонкостенных сосудов

$$W = \mu\lambda\sqrt{2gH}, \quad (45)$$

где μ — коэффициент расхода ($\sim 0,97$); λ — коэффициент, учитывающий шероховатость проволоки или моноволокна; H — потеря напора при фильтрации воды, см вод. ст. (г/см^2); g — ускорение свободного падения (981 см/с^2).

Скорость фильтрации, отнесенная ко всей площади сетки,

$$W_0 = \theta m W, \quad (46)$$

где θ — коэффициент, учитывающий сжатие струи при течении воды через отверстия сетки ($\sim 0,8$); m — открытая пористость сетки.

На основании формул (45) и (46) после замены θ , g и μ их численными значениями получим

$$W_0 = 34 \lambda m H^{0,5}. \quad (47)$$

Величина пористости тканей и сеток рассчитывается по формулам (40) и (41). Надежная величина коэффициента шероховатости для определенного типа сетки или ткани может быть определена экспериментально.

VI.2.2. МЕЛКОПОРИСТЫЕ ТКАНИ И СЕТКИ

Для фильтрации минеральных суспензий преимущественно применяют мелкопористые ткани. Теоретическая проницаемость мелкопористых тканей рассмотрена в работе [8]. Открытые поры мелкопористых тканей и проволочных сеток имеют преимущественно щелевидную форму. Скорость течения жидкости по щелевидному пространству, ограниченному параллельными стенками, определяется из следующего дифференциального уравнения гидродинамики ламинарного потока:

$$\frac{d^2 W_x}{dx^2} = - \frac{H}{\eta l}. \quad (48)$$

Вследствие внутреннего трения скорость W_x отдельных слоев жидкости, движущихся параллельно стенкам, является функцией их расстояния x от этих стенок. Уравнение (48), выражающее эту функцию, получается из условия равновесия силы, обусловленной внутренним трением, которая тормозит движение слоя жидкости, и силы гидростатического давления (напор H), которая действует ускоряющим образом на этот же слой жидкости. Равенство этих сил при условии ламинарного потока и приводит к уравнению (48). После интегрирования этого уравнения получаем соотношение для скорости слоя жидкости на расстоянии x от стенки при ширине или раскрытии щели, равных 2β :

$$W_x = - \frac{H}{2\eta l} (x^2 - 2\beta x). \quad (49)$$

Скорость движения отдельных слоев жидкости повышается параболически от нуля для пристеночного слоя до максимальной величины в плоскости симметрии щели, причем W_x достигает максимального значения W_{\max} при $x = \beta$, следовательно

$$W_{\max} = \frac{H\beta^2}{2\eta l}. \quad (50)$$

Из гидравлики известно, что средняя скорость движения жидкости между параллельными стенками при параболическом законе изменения скорости зависит от максимальной скорости и потока в центре

$$W = \frac{2}{3} W_{\max} \text{ и } W = \frac{H\beta^2}{3\eta l}. \quad (51)$$

Скорость фильтрации, отнесенная ко всей площади ткани,

$$W_0 = \frac{m\lambda H\beta^2}{3\eta l}, \quad (52)$$

где H — потери напора, дин/см²; η — вязкость фильтруемой жидкости, Пз.

Необходимо учесть, что в формулах, определяющих движение жидкости в щелевидных отверстиях, гидравлический радиус r находится из соотношения

$$r = \beta_0/2,$$

где β_0 — полная ширина (раскрытие) щели. Это равенство справедливо только при большой длине щели по сравнению с ее раскрытием. Действительно, при любой длине щели

$$r = \frac{\beta_0 b}{2\beta_0 + 2b}, \quad (53)$$

где b — длина щели.

При $b \gg \beta_0$ можно принять $r = \beta_0/2$, но при сравнительно небольшом отношении b/β_0 следует ввести поправку, значение которой можно определить из уравнений (51)

$$r = \frac{b}{\beta_0 + b} \cdot \frac{\beta_0}{2} = \alpha \frac{\beta_0}{2}, \quad (54)$$

где $\alpha = b/(\beta_0 + b)$ является поправочным коэффициентом или коэффициентом формы. Значение α находится в пределах от 0,5 (квадратные отверстия) до 1 при бесконечной длине щели:

b/β_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α	1/2	2/3	3/4	4/5	5/6	6/7	7/8	8/9	9/10	10/10

Скорость течения жидкости по щелевидному руслу пропорциональна квадрату гидравлического радиуса, поэтому и величина поправочного коэффициента α в расчетных формулах скорости и проницаемости должна возводиться в квадрат.

На основании формулы (52) и с учетом рассмотренной поправки получим

$$W_0 = \frac{8,1 \cdot 10^9 \lambda m H \alpha^2 \beta_0^2}{\eta l}, \quad (55)$$

где W_0 — скорость фильтрации, см/с; H — потери напора, гс/см²; η — вязкость, сП; β_0 — полное раскрытие щели ($\beta_0 = 2\beta$), см.

VI.2.3. ГРАНИЧНЫЕ РАЗМЕРЫ ОТКРЫТЫХ ПОР

Формулы, определяющие скорость фильтрации жидкости через крупнопористые и мелкопористые фильтрующие материалы, имеют существенные различия. Пределы применимости этих формул можно приблизительно установить путем их сравнения. Это сравнение упрощается применительно к материалам с цилиндрическими порами. Проницаемость мелкопористых материалов при $H=1$ гс/см² и $\eta=1$ сП для воды при 18—20°С в соответствии с формулой (32)

$$W_1 = \frac{3,06 \cdot 10^3 m a^2 \lambda}{l} \quad (56)$$

и крупнопористых также при $H=1$ гс/см² в соответствии с формулой (47)

$$W_1 = 34 \lambda m. \quad (57)$$

Приравняв правые части формул (56) и (57), получим соотношение, при котором расчетная проницаемость мелко- и крупнопористых фильтрующих элементов становится равнозначной:

$$a_2^2 = l/90, \quad (58)$$

где a_2 — граничный диаметр поры, см; l — толщина пористого элемента, см.

Формула (58) может служить ориентировочным критерием для деления фильтрующих элементов на мелко- и крупнопористые. При $a^2 > l/90$ элемент крупнопористый, а при $a^2 < l/90$ — мелкопористый. Из соотношения (58) также следует, что граничные размеры открытых пор возрастают с увеличением толщины фильтрующего элемента. Например, при толщине элемента 0,5; 1 и 2 мм граничные размеры пор по соотношению (58) равны соответственно 0,22; 0,32 и 0,45 мм.

VI.2.4. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

МЕЖДУ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ И СТРОЕНИЕМ ТКАНЕЙ И СЕТОК

Ориентировочные функциональные зависимости, оценивающие влияние отдельных элементов строения тканей и сеток на их проницаемость, рассмотрены в работе [8]. Раздел этой работы, посвященный анализу указанных зависимостей, опубликован И. В. Пискаревым [52].

При определении раскрытия β_0 щелевидных или прямоугольных пор тканей возможны три варианта.

Прямоугольные поры ткани ориентированы по направлению основы $P_o > P_y$ (уточные нити расположены реже основных)

$$\beta_0 = a_y = (1 - d_o P_o) / P_o. \quad (59)$$

Прямоугольные поры ориентированы по направлению утка, основные нити расположены реже уточных

$$\beta_0 = a_0 = (1 - d_y P_y) / P_y. \quad (60)$$

Поры ткани квадратные: $P_0 = P_y$ и $d_0 = d_y$,

$$\beta_0 = a_0 = a_y = (1 - d_0 P_0) / P_0. \quad (61)$$

Длина поры по направлению движения жидкости определяется толщиной ткани и приблизительно равна общей толщине нитей или проволок основы и утка $l = d_0 + d_y$. После подстановки в формулу (55) значений l и β_0 из выражений (59), (60), (61) и m из формулы (40) получаем уравнения, описывающие скорость фильтрации (проницаемость) через тонкопористые ткани и сетки из моноволокна и проволоки в зависимости от основных элементов их строения:

поры ориентированы по направлению основы

$$W_0 = \frac{8,1 \cdot 10^3 (1 - d_0 P_0)^3 (1 - d_y P_y) H \lambda \alpha^2}{P_0^2 (d_0 + d_y) \eta_0}; \quad (62)$$

поры ориентированы по направлению утка

$$W_0 = \frac{8,1 \cdot 10^3 (1 - d_0 P_0) (1 - d_y P_y)^3 H \lambda \alpha^2}{P_y^2 (d_0 + d_y) \eta_0}; \quad (63)$$

изодиаметричные квадратные поры

$$W_0 = \frac{8,1 \cdot 10^3 (1 - d_0 P_0)^4 H \lambda}{2 d_0 P_0^2 \eta_0}, \quad (64)$$

где W_0 — скорость фильтрации, отнесенная ко всей фильтрующей площади, см/с; d_0 и d_y — диаметры нитей соответственно основы и утка; P_0 и P_y — количество нитей на 1 см соответственно основы и утка; λ — коэффициент шероховатости для проволоки и моноволокон $\sim 1,0$ и для филаментных нитей $\sim 0,8$ — $0,9$; η_0 — вязкость жидкости, сП (для воды при 18 — 20°C $\eta_0 = 1$ сП).

При $H = 1$ гс/см² при $\eta_0 = 1$ сП уравнения (62), (63) и (64) описывают теоретическую проницаемость тканей из моноволокон и проволоки, а также проницаемость открытых пор тканей из филаментных нитей с очень высоким коэффициентом крутки. Нити с малым коэффициентом крутки проницаемы, и, кроме того, под воздействием фильтрационного напора сплющиваются, при этом возрастает застимость ткани и суживаются ее открытые поры (см. рис. 6).

На основании формулы (55), которая является более общей, можно рассчитать размеры пор тканей и сеток по измеренной опытным путем скорости фильтрации W_0

$$\alpha \beta_0 = 1,1 \cdot 10^{-2} \left(\frac{W_0 \eta l}{m \lambda H} \right)^{1/2}, \text{ см.} \quad (65)$$

Применительно к филаментным тканям с кручеными нитями при расчете по формуле (65) определяется не действительный, а некоторый эквивалентный или гидравлический размер пор с учетом пористости волокнистых нитей.

Величина открытой пористости или скважности тканей и металлических сеток при одинаковых размерах проходных отверстий зависит от диаметра нитей или проволоки, из которых соткана ткань или сетка. Скважность квадратной сетки (ткани) $m = (1 - Pd)^2$ быстро снижается с увеличением диаметра d нити и плотности P расположения нитей. Чем толще нить, тем меньше проходных пор на единице площади и тем ниже скважность и проницаемость ткани (сетки). При этом возрастает и толщина ткани, что также снижает ее проницаемость при сохранении постоянных размеров проходных пор. Высокая проницаемость и тонкость фильтрации сочетается в фильтрующих элементах малой толщины с большим количеством мелких пор на 1 см².

VI.2.5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Важными свойствами фильтрующих материалов являются их проницаемость по отношению к дисперсионной среде и задерживающая способность по отношению к дисперсной фазе. Эти свойства определяют пригодность фильтрующего материала для разделения суспензии или очистки запыленного газа путем фильтрации.

Для измерения воздухопроницаемости тканей применяют прибор ЦНИИшерсти и его усовершенствованную модификацию универсальный прибор УПВ (рис. 31), изготовленный заводом «Текстильприбор» (г. Москва).

Для определения водопроницаемости фильтровальных тканей по ГОСТ 20252—74 рекомендуется пользоваться прибором типа *FF-13*, схема которого приведена на рис. 32.

Для проведения испытаний от образца ткани вырезают по диагонали четыре пробы в виде кругов диаметром 150 мм (одну для настройки прибора и три для оценки испытания). Во избежание осыпания кромок края проб оплавливают паяльником или обмазывают клеем БФ-2. Перед испытанием пробы выдерживают в воде при температуре $20 \pm 2^\circ \text{C}$ в течение 24 ч. Затем пробу вынимают из воды, отжимают излишнюю влагу между слоями хлопчатобумажной ткани или фильтровальной бумаги и направляют ее в испытательную головку прибора *FF-13* так, чтобы между водой и пробой не оставался воздух.

Сосуд Мариотта 5 устанавливают в нижнее положение и наполняют водой. Рукоятку 2 переводят в положение «Открыто». После заполнения испытательной головки 3 водой рукоятку переводят в положение «Закрыто». Водосливную трубку 1 соединяют с мерным цилиндром. Открывают рукоятку и вручную пе-

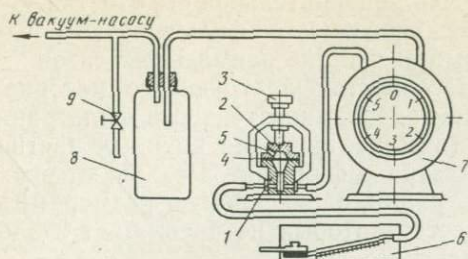


РИС. 31. ПРИБОР УПВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТИ ТКАНЕЙ:

1 — стакан; 2 — крышка; 3 — винт; 4 — образец ткани; 5 — отверстия; 6 — микроманометр; 7 — газовые часы; 8 — ресивер; 9 — кран

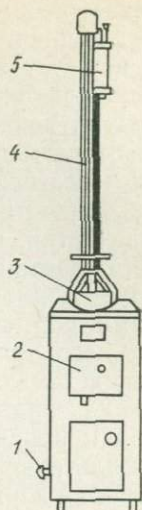


РИС. 32. ПРИБОР FF-13 ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

ремещают сосуд Мариотта в положение, соответствующее 150 мм вод. ст. по манометру 4, и одновременно включают секундомер. По истечении 30 с рукоятку переводят в положение «Закрыто» и измеряют количество воды, собранной в мерном цилиндре. Сосуд Мариотта фиксируют на указанном уровне, затем снова переводят в нижнее положение, наполняют водой и приступают к испытанию следующей пробы. При испытании пробы необходимо сохранять постоянное давление водяного столба. Результаты испытаний первой пробы при подсчете исключают.

Определяют среднее арифметическое результатов испытаний трех проб. К количеству воды, собранной в мерном цилиндре, необходимо прибавить 55 мл воды, оставшейся в испытательной головке. Водопроницаемость W выражают в л/(м²·с) и рассчитывают по формуле

$$W = \frac{v_c + 0,055}{St}, \quad (66)$$

где v_c — количество воды, прошедшей через пробу, л; S — площадь пробы, м² (для прибора FF-13 $S=100 \text{ см}^2=0,01 \text{ м}^2$); t — время просачивания воды через пробу, равное 30 с.

VI.3. ЗАДЕРЖИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

VI.3.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОНКОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ

При недостаточной задерживающей способности фильтра снижается качество и эффективность фильтрации. В данном случае при фильтрации суспензий фильтрат получается замутненным

и возникает необходимость дополнительной его очистки. Недостаточная задерживающая способность фильтрующего элемента весьма нежелательна и при очистке запыленных газов.

Задерживающую способность фильтрующего материала характеризуют показателем абсолютной тонкости фильтрации, выраженным размерами (в мкм) наиболее крупных частиц, прошедших через поры фильтра в фильтрат. Различают еще номинальную тонкость фильтрации, определяемую размерами самых крупных частиц, количество которых не превышает 2% общего количества частиц в фильтрате.

Следует учитывать, что на тонкость фильтрации наряду с размерами пор существенно влияют структура фильтрующего элемента, его толщина, электростатические свойства и другие факторы, а также агрегативная устойчивость суспензии, поступающей на фильтрацию. Влияние размера пор на тонкость фильтрации прослеживается при исследовании металлокерамических фильтрующих элементов. Выше уже отмечалось, что обнаруживается корреляция между размерами пор металлокерамического фильтра и тонкостью фильтрации (см. табл. 31). В процессе работы металлокерамических фильтров не возникают электростатические явления и поэтому они не влияют на тонкость фильтрации.

При исследовании фильтрующих свойств пористых листовых материалов из порошков нержавеющей стали, титана, никеля и нихрома [53] установлено, что определяющее влияние на тонкость фильтрации оказывают пористая структура фильтра и особенно максимальный размер пор.

Однако для других фильтрующих материалов не обнаруживается четкая зависимость между размерами пор и тонкостью фильтрации. Фильтрующие элементы из волокнистых материалов имеют поры, превышающие по размеру улавливаемые частицы. В начале фильтрации частицы при соприкосновении с волокнами меняют направление своего движения и при утрате скорости создаются условия прилипания их к волокнам. Повышенная толщина слоя пористого материала, сложенного из тонких волокон, усиливает его задерживающую способность. Эти факторы наряду с ситовым эффектом играют существенную роль в механизме задерживающей способности фильтрующего материала.

Например, задерживающая способность ткани в начале фильтрации зависит от размеров и формы пор, а также от ее толщины и наличия ворса. Ворсистые ткани обладают более высокой задерживающей способностью к твердой взвеси по сравнению с гладкими тканями при одинаковых размерах и форме пор. Задерживающая способность зависит и от знака электростатического заряда, который приобретает пористый материал при фильтрации. При одноименных зарядах твердой взвеси и волокон фильтроткани задерживающая способность ее понижается,

а при разноименных зарядах эта способность повышается. При одноименных зарядах частицы взвеси отталкиваются от волокон ткани, а при разноименных они прилипают к противоположно заряженным волокнам (рис. 33).

Фильтрация суспензий может протекать по двум основным режимам: фильтрация с образованием осадка и глубинная фильтрация с закупоркой пор фильтра. Первый режим фильтрации является характерным для шламовой фильтрации при сравнительно высокой концентрации твердой взвеси в суспензии. При этом в процессе фильтрации над порами фильтроткани частицы осадка образуют сводики, препятствующие проникновению отдельных частиц в толщу ткани и попаданию их в фильтрат (арочный эффект). Второй режим наблюдается при фильтрации малоцентрированных дисперсных суспензий, например, при контрольной фильтрации растворов. В этом случае отдельные тонкие частицы проникают в проходные отверстия фильтроткани и закупоривают их, что и является характерным для режима глубинной фильтрации.

Обычно фильтрация суспензий протекает по смешанному режиму. В начальный момент процесс протекает по режиму глубинной фильтрации с постепенной закупоркой пор фильтра, а затем переходит к фильтрации с образованием осадка. Глубинная фильтрация способствует быстрому засорению ткани и других фильтрующих материалов. Путем подбора наиболее подходящей фильтроткани для разделения данной суспензии можно существенно ограничить развитие глубинной фильтрации.

Задерживающая способность фильтрующего материала или тонкость фильтрации определяется экспериментально. В отдельных случаях применяют косвенные методы для определения

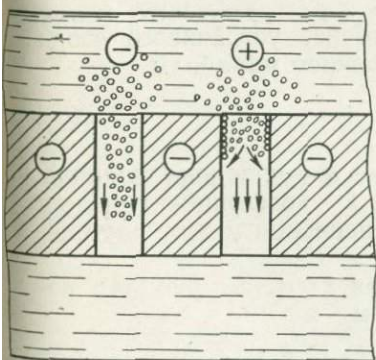


РИС. 33. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ ПОРЫ МАТЕРИАЛА С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМИ ЗАРЯДАМИ

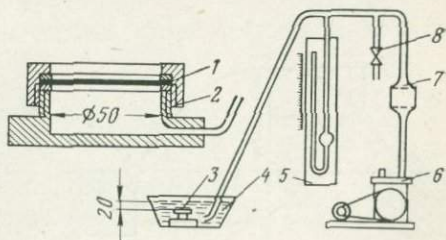


РИС. 34. ПРИБОР ПОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА ПОР И ВЕЛИЧИНЫ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ БУМАГ

тонкости фильтрации. Например, по ГОСТ 20806—75 рекомендуется определять тонкость фильтрации бумажных фильтров БМФ по величине их герметичности на приборе ПОР (рис. 34).

Образец бумаги 1 зажимают гайкой 2 в корпусе зажимного устройства 3 и помещают в емкость 4 с бензином Б-70 на глубину 20 мм от поверхности образца. Компрессором 6 и зажимом 8 постепенно создают давление воздуха в системе. Для удаления паров влаги из воздуха служит осушитель 7. Давление, при котором от поверхности образца отделяется первый пузырек, фиксируют по манометру 5. Результаты испытаний выражают герметичностью P , выраженной в Па, и тонкостью фильтрации T в мкм, которую рассчитывают по формуле

$$T = 164100P^{-1,24}. \quad (67)$$

На этом приборе можно определять и максимальный размер пор фильтрующего материала.

VI.3.2. МОДЕЛИ СВОДИКОВ НАД ОТКРЫТЫМИ ПОРАМИ

При определении теоретического количества твердой фазы, проникающей в фильтрат при режиме шламовой фильтрации, можно исходить из идеализированных моделей образования сводиков над открытыми порами фильтроткани или другого фильтрующего материала. Ниже рассматриваются модель «разгружающего сводика» и модели «структурные» из шарообразных частиц, образующих сводики над открытыми порами пористого материала.

Разгружающие сводики. На основании теории сыпучих тел в первом приближении можно принять, что при формировании осадка над порами фильтрующего материала образуются разгружающие сводики. Причем параболическая форма сводика по М. М. Протодыяконову является наиболее устойчивой (рис. 35). В данном случае осадок, заключенный в разгружающем сводике, попадает в фильтрат. Форма наиболее устойчивого свода сыпучего материала описывается уравнением параболы

$$y = \frac{x^2}{af}, \quad (68)$$

где a — половина ширины поры; f — коэффициент трения или сцепления между частицами.

При $x=a$ (см. рис. 34) получаем

$$h = a/f. \quad (69)$$

Если сечение поры имеет форму круга, то рассматриваемый сводик является куполо-

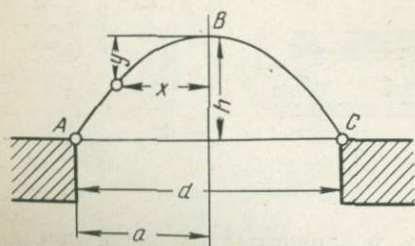


РИС. 35. СХЕМА ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ФОРМЫ СВОДИКА

образным, объем которого равен половине объема цилиндра, имеющего то же основание и ту же высоту:

$$v_k = 0,5\pi a^2 h. \quad (70)$$

После подстановки значения h из формулы (69) в формулу (70) и замены $a = d/2$, находим

$$v_k = \frac{\pi}{16f} d^3, \quad (71)$$

где v_k — объем разгружающего сводика; d — диаметр круглой поры.

При квадратной форме поры объем разгружающего куполообразного сводика приблизительно равен половине объема соответственной призмы

$$v_n = \frac{b_n^3}{4f}, \quad (72)$$

где b_n — размер поры.

Формулы (71) и (72) показывают, что количество твердой взвеси, проникающей в фильтрат, прямо пропорционально размеру открытой поры в кубе. Между тем скорость фильтрации жидкости через пористую мембрану в соответствии с уравнением (33) прямо пропорциональна размеру поры в квадрате. Поэтому с увеличением размера пор фильтрующего элемента мутность фильтрата возрастает значительно быстрее, чем скорость фильтрации.

Для расчета степени замутнения фильтрата необходимо рассчитать объем осадка, проникающего в фильтрат за один цикл фильтрации. С учетом формулы (69) приведенная высота слоя осадка, проникающего в фильтрат, отнесенная ко всей площади фильтра,

$$h_\phi = md/4f, \quad (73)$$

где m — открытая пористость фильтрующего элемента, доли единицы (от общей площади фильтрации).

Относительное количество осадка, проникающего в фильтрат,

$$\varphi_o = \frac{h_\phi}{h} 100, \% \quad (74)$$

где h — общая толщина слоя осадка на фильтре.

После подстановки значения h_ϕ из формул (73) и (74) получим

$$\varphi_o = \frac{md}{4fh} 100, \% \quad (75)$$

Объем фильтрата в зависимости от количества твердого в суспензии, поступившей на фильтрацию,

$$v_{\Phi} = \frac{q(R - R_w)}{\gamma} \quad (76)$$

и количество твердого, проникшего в фильтрат,

$$q_{\Phi} = \Phi_0 q, \quad (77)$$

где q — количество твердого, поступившего на фильтрацию в течение одного цикла на единицу площади фильтра; R — отношение Ж:Т в пульпе; R_w — Ж:Т в кеках; γ — плотность жидкой фазы пульпы.

Концентрация твердого в фильтрате определяется на основании формул (76) и (77)

$$a_{\Phi} = \frac{q_{\Phi}}{v_{\Phi}} 100 = \frac{\Phi_0 \gamma}{R - R_w}, \quad \% \quad (78)$$

После подстановки значения Φ_0 из выражения (71) в уравнение (74):

$$a_{\Phi} = \frac{m d \gamma}{4 f h (R - R_w)}, \quad \% \quad (79)$$

Кроме того,

$$h = \frac{v_1}{A (R - R_w)}, \quad (80)$$

следовательно

$$a_{\Phi} = \frac{m d \gamma A}{4 f v_1}, \quad (81)$$

где v_1 — объем фильтрата, полученный с единицы площади фильтра за один цикл фильтрации; A — объемная масса осадка на фильтре.

Из формулы (81) следует, что содержание твердого в фильтрате прямо пропорционально пористости и размерам проходных отверстий фильтрующего материала и обратно пропорциональна коэффициенту трения сцепления между частицами и толщине слоя осадка или объему фильтрата за один цикл фильтрации. Чем больше объем фильтрата, полученный за один цикл фильтрации, тем меньше будет его замутненность при данном разбавлении пульпы.

Структурные модели сводиков. Рассмотрим упрощенные (идеализированные) модели сводиков над открытыми порами из шарообразных частиц. Схематические разрезы такого рода моделей приведены на рис. 36. В простейшем случае образования сводика (рис. 36, а) из четырех частиц, подошедших к открытой поре, одна частица проникает в фильтрат и три частицы образуют сводик. При образовании сводика из пяти частиц в фильтрат проникают две частицы (рис. 36, б) и при сводике из семи

частиц в фильтрат проскакивают три частицы (рис. 36, а) и т. д. Указанные количества частиц располагаются в одной плоскости сводиков. Общее количество частиц в сводиках будет больше. Но при этом пропорционально возрастает и общее количество частиц, проскочивших в фильтрат.

Относительное количество частиц, проскочивших в фильтрат, определяется следующим отношением:

$$\varphi_1 = \frac{n_{\Phi}}{n_{\Phi} + n_c} 100, \% , \quad (82)$$

где n_{Φ} — число частиц, проскочивших в фильтрат; n_c — число частиц в сводике.

При однорядном движении частиц в открытой поре независимо от числа частиц в сводике соблюдается равенство

$$n_{\Phi} = \frac{n_c - 1}{2} . \quad (83)$$

После подстановки значения n_{Φ} из формулы (83) в формулу (82) получим

$$\varphi_1 = \frac{n_c - 1}{3n_c - 1} 100, \% . \quad (84)$$

При образовании сводика из трех частиц в фильтрат проникает 25%, а при сводике из семи частиц степень выноса повышается до 30% частиц от числа их в суспензии, израсходованной для образования первого слоя осадка на поверхности фильтра. При большом количестве частиц в сводике $n_c \geq 1$ предельная степень выноса частиц из первого слоя осадка в фильтрат достигает 33,3%.

Приведенные выше соотношения определяют степень выноса частиц из первого слоя осадка при движении их в открытой поре в один ряд. При значительных размерах поры и малых размерах частиц последние могут двигаться в поре в два или даже в три ряда.

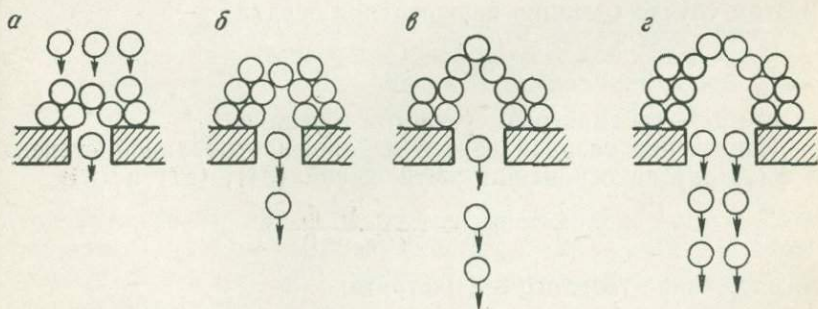


РИС. 36. УПРОЩЕННЫЕ МОДЕЛИ СВОДИКОВ НАД ПОРАМИ ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

По аналогии с предыдущими рассуждениями для случая движения частиц в поре в два ряда (рис. 36, *г*) получается следующее соотношение, определяющее степень выноса частиц в фильтрат из первого слоя осадка в зависимости от числа частиц в сводике:

$$\varphi_1 = \frac{n_c - 2}{2n_c - 2} 100, \% \quad (85)$$

и при движении частиц в поре в три ряда

$$\varphi_1 = \frac{3(n_c - 3)}{5n_c - 9} 100, \% \quad (86)$$

При выводе приведенных выше формул в соответствии с условиями образования сводиков над открытыми порами принято, что при однорядном движении частиц в порах сводик заклинивается одной частицей, при двухрядном движении — двумя и при трехрядном — тремя частицами. Предельная степень выноса частиц в фильтрат из первого слоя осадка на фильтре при однорядном движении частиц в порах составляет 33,3%, при двухрядном — 50% и при трехрядном — 60%.

VI.3.3. ЗАМУТНЕННОСТЬ ФИЛЬТРАТА

Общее извлечение твердого из профильтрованной суспензии в фильтрат определяется следующим отношением:

$$\varphi_0 = \varphi_1/n, \quad (87)$$

где φ_1 — по-прежнему степень выноса частиц из первого слоя осадка; n — число слоев осадка на фильтре.

Причем

$$n = h/h_1, \quad (88)$$

где h — общая толщина слоя осадка; h_1 — толщина первого слоя осадка на фильтре.

При фильтрации наиболее вероятным является однорядное движение частиц, проникающих в фильтрат через поры фильтра. В этом случае толщина первого слоя осадка

$$h_1 = \frac{n_c - 1}{2} d_1, \quad (89)$$

где d_1 — средний размер частиц в осадке.

Извлечение твердой взвеси из профильтрованной суспензии в фильтрат на основании соотношений (84), (87) и (89)

$$\varphi_0 = \frac{(n_c - 1)^2 \cdot d_1}{2h(3n_c - 1)} \quad (90)$$

и содержание твердого в фильтрате:

$$a_{\Phi} = \frac{(n_c - 1)^2 \gamma d_1}{2h(R - R_w)(3n_c - 1)}. \quad (91)$$

Формулы (90) и (91) включают количество частиц n_c , образующих разгружающие сводики над открытыми порами. Замутненность фильтра возрастает с увеличением числа частиц в сводике и снижается с увеличением толщины слоя осадка на фильтре. В формуле (91) замутненность фильтра не зависит в явной форме от размеров открытых пор фильтрующего элемента. Однако эта зависимость несомненно имеется. С увеличением размера пор возрастает и количество частиц n_c для построения сводиков, при этом увеличивается и замутненность фильтра. Степень выноса (суффозия) частиц в фильтр из первого слоя осадка при двух- и трехрядном движении частиц через поры фильтра определяется формулами (85) и (87). Причем толщина первого слоя осадка при двухрядном движении частиц составляет

$$h_1 = \frac{n_c - 2}{2} d_1 \quad (92)$$

и при трехрядном

$$h_1 = \frac{n_c - 3}{2} d_1. \quad (93)$$

В соответствии с формулами (92) и (93) получаем соотношение, определяющее содержание твердого в фильтрате при двухрядном движении частиц через поры фильтра,

$$a_\phi = \frac{\gamma d_1 (n_c - 2)^2}{4h (R - R_w) (n_c - 1)} 100, \% \quad (94)$$

и при трехрядном движении частиц

$$a_\phi = \frac{3\gamma d_1 (n_c - 3)^2}{2h (R - R_w) (5n_c - 9)} 100, \%. \quad (95)$$

Двухрядное движение частиц в порах возможно при условии $3d > d_1 > 2d$ и трехрядное движение — при $4d > d_1 > 3d$. В первом случае размер поры фильтрующего материала должен превышать в 2—3 раза, а во втором — в 3—4 раза размеры частиц суспензии.

При двухрядном движении частиц в порах минимальное количество частиц для построения сводика в одной плоскости составит $n_c = 2 \cdot 2 + 2 = 6$ и минимальное содержание твердой взвеси в фильтрате на основании (94)

$$a_{\min} = \frac{4\gamma d_1}{5h (R - R_w)} 100, \%. \quad (96)$$

При трехрядном движении частиц минимальное количество частиц для сводика в одной плоскости $n_c = 2 \cdot 3 + 3 = 9$ и в соответствии с формулой (95) находим минимальное содержание твердого в фильтрате

$$a_{\min} = \frac{3\gamma d_1}{2h (R - R_w)} 100, \%. \quad (97)$$

Следовательно, при трехрядном движении частиц замутненность фильтрата приблизительно в два раза превышает замутненность при двухрядном движении и в шесть раз превышает замутненность при однорядном движении частиц в порах фильтрующего материала. Отношение размера пор фильтрующего материала к размеру частиц суспензии оказывает решающее влияние на замутненность фильтрата. С увеличением указанного отношения замутненность фильтрата быстро возрастает.

Из формулы (81), полученной на основе модели разгружающего сводика, следует, что замутненность фильтрата находится в прямой зависимости от пористости фильтрующего элемента и размеров его пор. Причем

$$f = \frac{m(3n_c - 1)}{2(n_c - 1)^2}. \quad (98)$$

Величина коэффициента трения или сцепления между частицами, в свою очередь, находится в зависимости от числа n_c этих частиц в сводике над порой фильтра. В громоздких сводиках с большим количеством частиц величина коэффициента сцепления понижается. Поэтому громоздкие сводики неустойчивы и могут разрушаться.

VI.3.4. О КРИТИЧЕСКОМ ОТНОШЕНИИ Ж:Т В СУСПЕНЗИИ

Если в суспензии расстояние между частицами превышает их размеры, то создаются неблагоприятные условия для образования сводиков над открытыми порами, а следовательно, и для режима шламовой фильтрации (см. рис. 36). В монодисперсной суспензии среднестатистическое расстояние между частицами кубической l_k , шарообразной $l_{ш}$ и промежуточной $l_{п}$ форм описывается соответственно следующими формулами:

$$l_k = d(\sqrt[3]{\beta} - 1); \quad (99)$$

$$l_{ш} = d(\sqrt[3]{\beta(1 - m)} - 1); \quad (100)$$

$$l_{п} = d\left(\sqrt[3]{\beta\left(\frac{2 - m}{2}\right)} - 1\right), \quad (101)$$

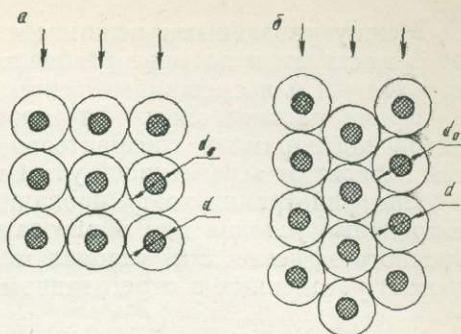
где $m = v/v_{п}$, причем $v_{п}$ — объем суспензии и v — объем дисперсионной среды, заключенной между внешними сферами за пределами диаметра сферы d_0 (рис. 37), в среднем $m = 0,37$; β — отношение объема суспензии к объему содержащейся в ней твердой фазы:

$$\beta = \frac{\gamma + \delta R}{\gamma}, \quad (102)$$

где δ и γ — плотности соответственно твердой и жидкой фаз; R — отношение Ж:Т в суспензии.

РИС. 37. СХЕМЫ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ МОНОДИСПЕРСНОЙ СУСПЕНЗИИ:

a — коридорное; *b* — шахматное



Так как образование сводиков нарушается при $l > d$, то для определения граничного отношения $\text{Ж} : \text{Т}$ в суспензии, при котором нарушается режим шламовой фильтрации, нужно в формулы (99), (100) и (101) подставить значение $l = d$. После указанной подстановки получим формулы, позволяющие определить, разумеется, ориентировочно, критические отношения $\text{Ж} : \text{Т} = R_k$ в суспензиях, при которых становится маловероятной реализация арочного эффекта в процессе фильтрации.

Для частиц кубической формы

$$R_k \geq 7 \frac{\gamma}{\delta}; \quad (103)$$

для шарообразных частиц

$$R_m \geq \frac{m+7}{1-m} \cdot \frac{\gamma}{\delta}; \quad (104)$$

для частиц промежуточной формы

$$R_n \geq \frac{m+14}{2-m} \cdot \frac{\gamma}{\delta}. \quad (105)$$

Например, при плотности твердой фазы $\delta = 3$ и жидкой $\gamma = 1,0$ критические отношения $\text{Ж} : \text{Т}$ в суспензиях, рассчитанные по формулам (103), (104) и (105), имеют следующие значения для частиц соответственно кубической, шарообразной и промежуточной форм: $R_k \geq 2,33 : 1$; $R_m \geq 3,9 : 1$ и $R_n \geq 2,94 : 1$. При этих отношениях $\text{Ж} : \text{Т}$ среднестатистические расстояния между частицами превышают их размеры, что понижает вероятность перекрытия (заклинивания) сводика частицей, движущейся по направлению центральной оси сводика (см. рис. 36). Такая частица либо застрянет в поре, закупорив ее, либо проникнет в фильтрат, если размер поры больше размера частицы. В обоих случаях режим фильтрации с образованием осадка нарушится и соответственно установится режим глубинной фильтрации с постепенной закупоркой пор фильтрующего материала.

Между указанными режимами фильтрации резкой границы не существует, и по мере разбавления пульпы устанавливается переходный или смешанный режим фильтрации.

Кроме рассмотренных факторов, условия образования сводиков над порами и, следовательно, режим фильтрации во многом зависит от агрегативной устойчивости суспензии.

При фильтрации коагулированных суспензий создаются благоприятные условия для образования сводиков и проявления арочного эффекта. Эти условия менее благоприятны при фильтрации устойчивых в агрегативном отношении суспензий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И СЕТОК

VII.1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные показатели. Важными свойствами фильтрующих материалов являются проницаемость, тонкость фильтрации и устойчивость по отношению к засорениям и агрессивным средам. Проницаемость фильтровальной ткани в совокупности со слоем осадка определяет скорость фильтрации и, следовательно, производительность фильтра. Задерживающая способность ткани по отношению к дисперсной фазе пульпы (тонкость фильтрации) контролирует качество фильтрата в смысле содержания в нем твердой взвеси. Устойчивость ткани против засорения и агрессивной среды обуславливает срок ее службы и стабильную производительность фильтра.

При испытании фильтрующих свойств тканей измеряли скорость фильтрации, концентрацию твердой взвеси в фильтрате и прилипаемость (адгезию) осадка к волокнам ткани.

Фильтровальная установка. Опыты по фильтрации проводили на фильтровальной установке, состоящей из трех основных узлов (рис. 38). Узел замера и сбора фильтрата включает систему кранов, и стеклянные трубки, смонтированные на деревянной панели, а также бюретки и цилиндры. Градуировка бюреток выполнена снизу вверх от 0 до 75 мл с интервалами 0,2 мл. При этом можно, не прерывая опыта, переключать поток фильтрата во вторую бюретку и брать пробы фильтрата. Для приема значительных объемов фильтрата служат цилиндры с градуировкой снизу вверх.

Узел замера и стабилизации вакуума включает ртутный манометр или манометр другого типа, ресивер, стабилизатор разрежения и вакуум-насос. Стабилизатор позволяет регулировать величину разрежения в пределах от 100 до 700 мм рт. ст. и в течение опыта с достаточной точностью поддерживать постоянную величину вакуума.

Узел термостатирования пульпы включает фильтровальный бачок, термостат для нагрева воды и подачи ее в выносной термостат. Термостат снабжен стеклянным тройником и резиновой грушей, с помощью которых вода засасывается из термостата и затем уже самотеком поступает в термостат. Скорость циркуляции воды регулировали зажимом и контролировали при помощи

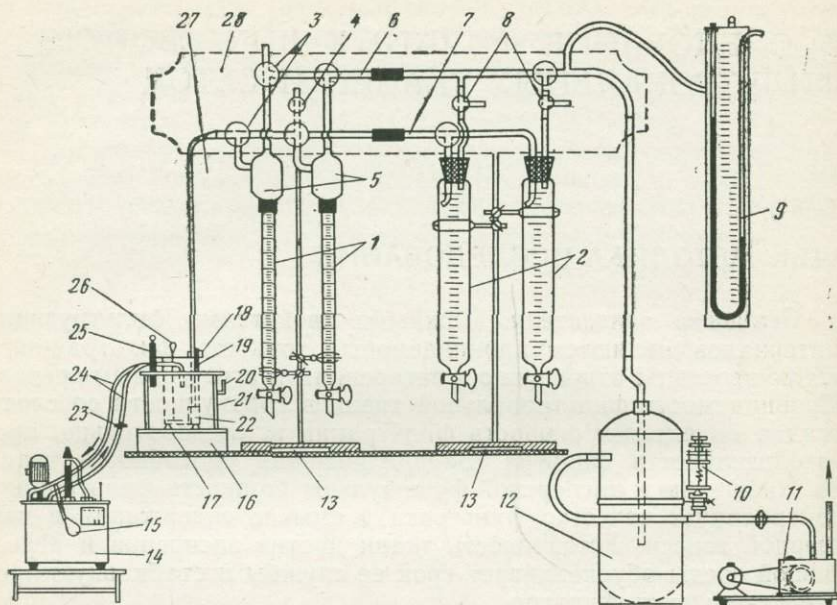


РИС. 38. СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ ФИЛЬТРОВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ:

1 — мерная бюретка из термостойкого стекла; 2 — мерный цилиндр, объемом 0,5 л; 3, 8 — трехходовые краны; 4 — двухходовой кран; 5 — сепаратор фильтрата; 6 — линия вакуума; 7 — линия прохождения фильтрата; 9 — ртутный вакуумметр; 10 — стабилизатор разряжения; 11 — вакуумный насос; 12 — ресивер; 13 — штатив; 14 — термостат; 15 — резиновая груша; 16 — подложка; 17 — теплоизолирующий слой; 18 — закрепление фильтровальной рамки; 19 — фильтровальный бачок; 20 — водомерное стекло; 21 — выносной термостат; 22 — фильтровальная рамка; 23 — винтовой зажим; 24 — резиновый шланг; 25 — термометр; 26 — мешалка; 27 — вакуумный шланг; 28 — монтажная панель

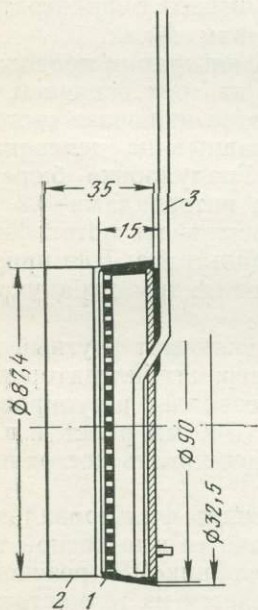


РИС. 39. ФИЛЬТРОВАЛЬНАЯ РАМКА:

1 — корпус рамки; 2 — съемная обойма; 3 — латунная трубка диаметром 5 мм

водомерного стекла на термостате. Термостатирование требовалось при фильтрации нагретой пульпы.

Пульпы фильтровали по методу бокового подсоса при вертикальном расположении фильтрующей поверхности. Фильтрующим элементом служила фильтровальная рамка со съемной обоймой (рис. 39). Фильтрующая площадь рамки 60 см². Употреблялась рамка и с фильтрующей площадью 140 см². На перфорированную основу рамки укладывали дренирующую подложку (сетку) и затем фильтровальную ткань, которую закрепляли обоймой. Выступающие концы ткани обрезали и неплотности герметизировали пластилином или эпоксидной смолой, если температура пульпы превышала 40° С.

При проведении опыта по фильтрации (см. рис. 38) включали вакуум-насос, устанавливали необходимую величину разрежения. Затем к шлангу 27 присоединяли фильтровальную рамку и опускали ее в бачок 19 с подготовленной пульпой, закрепляли зажимом 18 и поворотом крана 3 полость рамки одновременно сообщали с вакуумом и с бюреткой для сбора и замера фильтрата. Момент появления фильтрата в бюретке фиксировали по секундомеру. Схема позволяла в любой момент направить поток в другую бюретку или в цилиндр и слить фильтрат из первой бюретки, не прерывая опыта.

Опыты проводили с периодическим перемешиванием пульпы для предотвращения ее расслаивания. Пользовались ручной мешалкой, состоящей из перфорированной пластины, к которой перпендикулярно припаивалась стальная проволока. При перемешивании во время опыта мешалку несколько раз плавно перемещали во время опыта вдоль вертикальной оси бачка. Ровная поверхность кека, параллельная фильтрующей основе рамки, подтверждала правильность выбранного режима перемешивания.

В конце опыта фильтровальную рамку вынимали из пульпы и кек подсушивали под вакуумом в течение предварительно установленного времени (0,5—1,5 мин) с последующей отдувкой его сжатым воздухом при давлении 70—80 мм рт. ст. Фильтрат подсушки принимали в отдельный сосуд.

Скорость фильтрации рассчитывали путем деления полученного объема фильтрата на продолжительность фильтрации и фильтрующую площадь. По скорости фильтрации можно судить о проницаемости ткани в совокупности с первым слоем осадка.

Содержание твердой взвеси в фильтрате. Задерживающую способность фильтровальных тканей и сеток по отношению к дисперсной фазе пульпы (тонкость фильтрации) определяли по концентрации этой фазы в фильтрате.

Мутность фильтрата определяли с помощью электрофотолориметра ФЭК-М путем сравнения оптической плотности раствора ализаринрота с замутненным фильтратом и находили ее (в мг/л) по градуировочному графику. Для построения графика

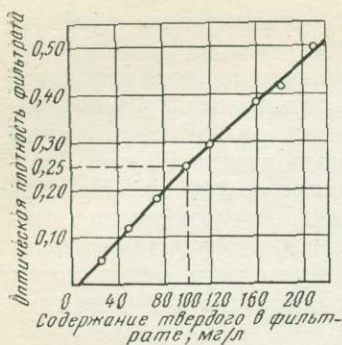
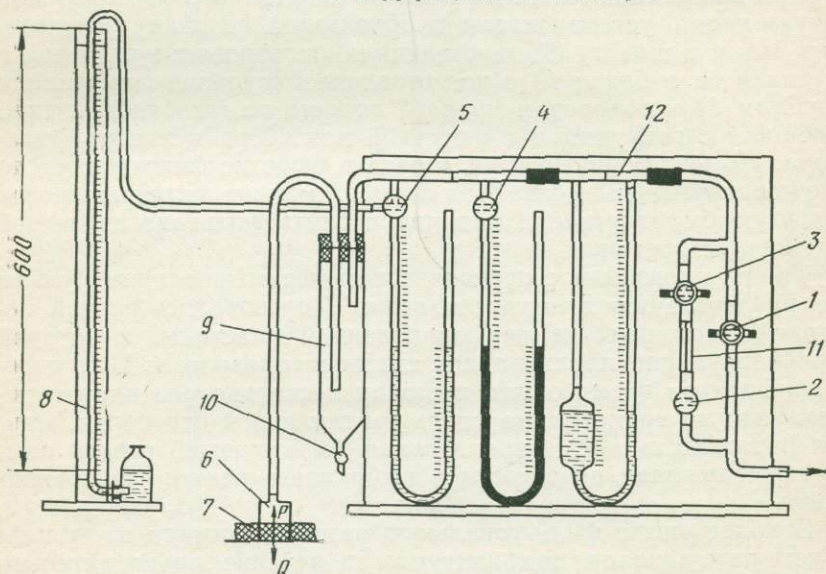


РИС. 40. ГРАДУИРОВОЧНЫЙ ГРАФИК ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАМУТНЕННОСТИ ФИЛЬТРАТА НА ФЭК-М

РИС. 41. СХЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АДГЕЗИИ КЕКА С ТКАНЬЮ:

1, 3 — винтовые зажимы; 2, 4, 5, 10 — двухходовые краны; 6 — патрон для отрыва кека; 7 — слой кека; 8 — водяной манометр; 9 — буферный сосуд для сброса воздуха из патрона в момент продавливания кека; 11 — капилляр; 12 — расходная диафрагма конструкции Гинцветмета с дифференциальным манометром



приготавливали стандартные растворы с определенным содержанием твердой взвеси из тонких фракций пульпы, которые сравнивали с раствором ализаринрота. На рис. 40 в качестве примера показан градуировочный график для определения замутненности фильтрата, полученного при фильтрации красного шлама. Пробы фильтрата с высокой концентрацией взвеси разбавляли дистиллированной водой и для анализа отбирали аликвотную часть в количестве 5 мл.

Данные по замутненности фильтрата, полученные с помощью ФЭК-М, были проверены весовым методом. Проверка показала, что при условии быстрой подготовки испытуемого раствора к опыту (установке кюветы в прибор) и снятия отсчета (совмещение нуля) получаемые на ФЭК-М результаты совпадают с данными тщательно проведенного весового метода анализа.

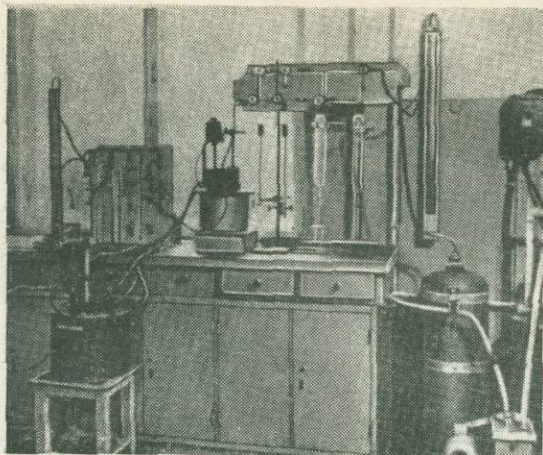


РИС. 42. ОБЩИЙ ВИД ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Адгезия осадков и засоряемость ткани. Прочность прилипания осадка к волокнам ткани может служить характеристикой ее засоряемости при фильтрации: чем прочнее прилипает осадок к волокнам ткани, тем быстрее она засоряется и утрачивает проницаемость. Прилипаемость осадка (адгезию) оценивали величиной силы отрыва ткани, отнесенной к единице площади контакта и выраженной в г/см^2 . Силу прилипания осадка к поверхности ткани измеряли на сконструированном приборе — адгезиометре, совмещенном с прибором для определения воздухопроницаемости тканей. Схема прибора и общий вид установки показаны на рис. 41 и 42.

Измерения производили в следующем порядке. Адгезиометр с перекрытыми зажимами и краном присоединяли к вакууму фильтровальной установки. Датчиком служил стальной патрон с отшлифованными стенками, который присоединяли к адгезиометру резиновым шлангом при открытом кране, фильтровальную раму с кеком располагали горизонтально. Затем патрон в вертикальном положении продавливали через слой кека (рис. 43). Придерживая патрон пальцами левой руки, правой закрывали кран и открывали кран. Следили за поднятием столба жидкости в манометре. Уровень жидкости в манометре повышался до тех пор, пока не происходил отрыв кека от поверхности ткани, а затем столб жидкости уходил вниз. Далее, не отключая вакуума, выводили патрон из общего слоя кека с тем, чтобы оторвавшаяся часть кека оставалась в патроне. После отключения патрон снаружи обтирали и взвешивали вместе с кеком. При известном весе патрона чистый вес q оторванного

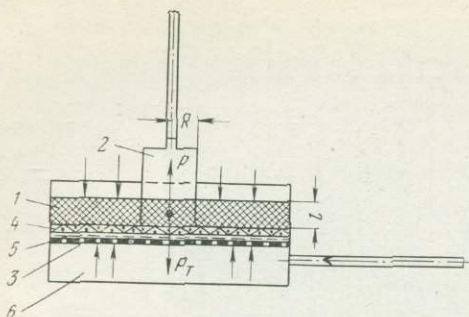


РИС. 43. СХЕМА ОТРЫВА КЕКА ОТ ТКАНИ: 1 — слой кека; 2 — патрон; 3 — дренажная основа фильтровальной рамки; 4 — фильтровальная ткань; 5 — подложка из металлической сетки; 6 — полость рамки

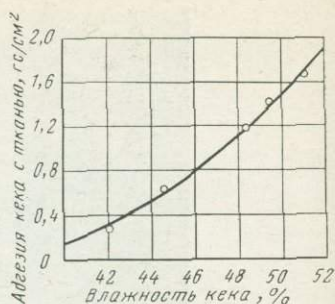


РИС. 44. ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ КЕКА НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО АДГЕЗИИ К ФИЛЬТРОТКАНИ (КАПРОНОВАЯ ТКАНЬ АРТ. 56007)

кека вычисляли по разности. Площадь отрыва кека F равна площади поперечного сечения патрона в свету ($F=6,15 \text{ см}^2$).

Силу прилипания (адгезию) кека к фильтровальной ткани рассчитывали по формуле

$$P_a = \frac{0,1\delta H - q}{F}, \text{ г/см}^2, \quad (106)$$

где H — высота столба жидкости в манометре при отрыве кека, мм; δ — плотность жидкости; q — чистый вес оторванного кека в патроне, г; F — площадь отрыва, см^2 .

Применение водяного манометра вместо ртутного позволяет повысить точность измерений. Для получения воспроизводимых результатов измерений требуется соблюдение определенных условий. С помощью зажима ограничивали скорость подъема столба воды в манометре в пределах 2—3 мм/с. В сравниваемых опытах набирали слои кеков определенной толщины (контроль по объему фильтрата). Величина адгезии зависит от влажности кеков, поэтому время подсушки кеков под вакуумом контролировали по секундомеру в пределах 0,5—2 мин в зависимости от консистенции кеков из данной пульпы. Величина силы прилипания кеков к фильтровальной ткани снижается с понижением их влажности при увеличении продолжительности подсушки. Например, при фильтрации красных шламов кеки непосредственно после набора имеют очень высокую влажность — до 50—51%, при этом обнаруживается прочное прилипание кеков к волокнам капроновой ткани. Прочность прилипания кеков снижается по мере их подсушки под вакуумом (рис. 44).

Для уменьшения влияния силы сцепления кека с поверхностью патрона его внутренняя полость расточена на конус, начиная с 2 мм от среза патрона. Такая конструкция патрона позволяла четко фиксировать момент отрыва кека от ткани бла-

годаря тому, что при отрыве кек не закрывал отверстие в верхней части патрона и, находясь внизу патрона, свободно обтекался током воздуха.

VII.2. ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ТКАНЕЙ ИЗ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

VII.2.1. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика исследованных пульп. Исследование фильтрующих свойств различных тканей проводили на примере фильтрации пульп из несульфидных (слабоминерализованных) и сульфидных руд, а также щелочных пульп байеровских (красных) шламов и железорудных магнетитовых концентратов.

Несульфидные пульпы получены из золотосодержащих руд. Пульпа I получена из слабоминерализованной силикатной руды Балейского рудного поля. Жильные минералы в руде представлены кварцем, полевыми шпатами, кальцитом, каолинитом, серицитом и гидрослюдами с примесями гранодиорита и песчаников. Содержание рудных минералов (пирит, антимонит, арсенопирит и др.) не превышает 1—1,5%. Руду измельчали до 97% класса — 74 мкм.

Пульпа II получена из руды Куранахского рудного поля, измельченной до 96% класса — 150 мкм. Руда представлена песчано-глинистым материалом и обломками калишпатовых метасоматитов, песчаников и карбонатных пород. В руде содержится около 30% лимонитовой глины и около 5% весьма дисперсного минерала — монтмориллонита.

Сульфидные пульпы представлены пробами пульп флотационных концентратов обогатительной фабрики Норильского ГМК: пульпа III — фабричным коллективным медно-никелевым концентратом, содержащим пирротин, петландит, халькопирит, кубанит, и несульфидные примеси (габбро-диабазы, пикриты, порфириты, песчаники); пульпа IV — пирротино-петландитовым никелевым концентратом, содержащим в подчиненных количествах пирит, халькопирит, кубанит, миллерит и несульфидные примеси. Жидкая фаза пульпы насыщена известковой щелочью (~0,10% CaO).

Пульпа V представлена пробой красных (байеровских) шламов — остаток после выщелачивания тургайских бокситов. Жидкая фаза пульпы является щелочным алюминатным раствором с каустическим отношением $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1,78$ (концентрация щелочи 16 г/л по Na_2O). Твердая фаза в основном состоит из окислов железа и алюмосиликатов и содержит около 92% фракции — 50 мкм. Проба пульпы V отобрана в глиноземном цехе Павлодарского алюминиевого завода.

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ФИЛЬТРОТКАНЕЙ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЛЬПЫ
КРАСНЫХ ШЛАМОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ткань и артикул	Масса 1 м ² , г	Толщина ткани, мм	Скорость фильтра- ции, мм/мин	Мутность фильтрата, г/л	Адгезия кека с тканью, гс/см ²	
Капроновая:						
56007	104	0,21	3,35	3,23	0,27	
56027	237	0,49	3,20	0,29	4,36	
22208	106	0,23	3,26	1,97	0,52	
23254	281	0,64	3,46	9,75	0,22	
23260	524	1,35	3,38	3,76	0,75	
24173	390	0,79	3,28	0,70	5,23	
24282	94	0,20	3,30	0,44	3,88	
24299	434	0,86	3,38	2,89	0,63	
24301	84	0,18	3,16	1,72	0,62	
56035	478	1,60	3,32	8,19	0,39	
Хлориновая:						
40	568	1,28	3,46	6,95	1,86	
86006	364	0,79	3,64	7,54	1,16	
Нитроновая:						
81a	274	1,27	3,58	29,85	0,96	
182a	338	1,17	4,28	15,50	1,41	
Лавсановая:						
24	572	1,48	3,82	19,33	0,91	
181a	498	1,48	3,28	10,31	1,10	
23331	348	0,63	3,06	0,20	3,61	
24291	94	0,18	2,92	2,06	1,92	
24292	136	0,26	3,09	0,25	3,03	
21710/3	331	0,59	2,86	0,36	3,14	
Полипропиленовая:						
23273	98	0,25	3,25	1,65	1,38	
24294	111	0,32	3,04	0,62	1,87	
24295	77	0,21	3,04	1,57	1,56	
24296	98	0,27	3,03	2,12	1,17	
Фторлон	22295	141	0,17	3,00	0,25	1,77
Фильтродиагональ	2074	625	2,12	2,68	1,20	7,60
Сетки стальные						
N52	2500	1,10	10,52	150,50	0,08	
Венгер- ская	1950	0,63	3,30	19,20	0,38	

Примечание. Толщина и масса испытанных образцов ткани приведены по данным измерений.

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ХЛОПКОВОЙ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ
ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ИССЛЕДУЕМЫХ ПУЛЬП

Показатели	Виды пульп			
	I	II	III	IV
Скорость фильтрации, мм/мин	2,50	0,20	8,70	13,50
Содержание твердого в фильтрате (мутность), г/л	0,96	1,08	0,49	0,41
Сила отрыва осадка от поверхности ткани (адгезия), гс/см ²	9,29	5,60	8,50	7,90

Результаты замеров фильтрующих свойств. Пульпы фильтровали через отдельные виды тканей по описанной выше методике при соблюдении постоянных условий. В табл. 33 приведены результаты испытаний фильтротканей при фильтрации пульпы красного шлама при следующих постоянных условиях: вакуум $P=500$ мм рт. ст., температура $50-51^{\circ}\text{C}$, отношение $Ж:T=2,4:1$, $C_{Na_2O}=16$ г/л, толщина слоя кеков $h=10$ мм, подсушка под вакуумом — 1 мин, влажность кеков 42—43%. В табл. 33 приведены также результаты измерения массы и толщины испытанных тканей. Фильтрующие свойства и физико-механическая характеристика этих тканей рассмотрены выше (см. табл. 7).

При исследовании тканей на примере фильтрации пульп I, II, III и IV для удобства сравнения их фильтрующих свойств в качестве эталона сравнения приняты фильтрующие свойства хлопковой фильтродиагонали (табл. 34).

В табл. 35 и 36 приведены результаты измерений фильтрующих свойств различных тканей по сравнению с фильтродиагональю, фильтрующие свойства которой приравнены 1. По данным табл. 34 можно рассчитать фильтрующие свойства испытанных синтетических тканей. Например, для ткани арт. 56007 при фильтрации пульпы I по данным табл. 34 и 35 скорость фильтрации, мутность фильтрата и засоряемость ткани (адгезия) соответственно равны: $2,50 \times 1,15 = 2,88$ мм/мин; $0,96 \times 1,56 = 1,51$ г/л и $9,29 \times 0,52 = 4,83$ гс/см².

VII.2.2. СРАВНЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ИСПЫТАННЫХ ОБРАЗЦОВ ТКАНЕЙ

В соответствии с основными требованиями, которым должна удовлетворять фильтровальная ткань при проведении испытаний образцов тканей, определяли их проницаемость совместно со слоем осадка (скорость фильтрации), задерживающую способность по отношению к дисперсной фазе пульпы (тонкость

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ
ПО ОТНОШЕНИЮ К ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ
ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕСУЛЬФИДНЫХ ПУЛЬП I И II

Ткань и артикул		Скорость фильтрации		Мутность фильтрата		Засоряемость ткани	
		I	II	I	II	I	II
Хлопковая	2074	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Капроновая:							
	56007	1,15	—	1,56	—	0,52	—
	56027	1,00	—	0,58	—	0,61	—
	22208	1,05	0,93	0,07	0,91	0,55	0,37
	23254	1,00	0,96	1,41	3,40	0,29	0,33
	23260	1,10	0,90	0,55	3,64	0,59	0,42
	24173	1,32	—	2,10	—	0,80	—
	24282	1,05	0,92	0,11	0,46	0,69	0,55
	24299	1,05	0,93	0,05	1,14	0,48	0,41
	24301	1,10	0,92	0,09	0,83	0,59	0,46
	56035	1,25	1,06	0,81	3,80	—	0,32
Лавсановая:							
	24	1,10	1,04	0,41	8,10	—	0,38
	181a	1,20	1,22	0,23	3,84	0,42	0,53
	23331	1,20	0,80	0,24	0,27	1,18	1,19
	24291	1,15	0,95	0,18	0,73	0,61	0,53
	24292	1,17	0,94	0,10	3,12	1,10	0,79
	21710/3	1,17	—	0,67	—	1,05	—
	56038	1,62	0,97	1,20	1,08	0,42	0,33
	56050	1,00	0,97	0,30	0,62	1,00	0,60
Полипропиленовая:							
	23273	1,00	0,84	0,17	0,83	0,26	0,34
	24294	1,05	0,87	0,23	0,52	0,27	0,55
	24295	1,20	0,88	0,30	1,14	0,23	0,72
	24296	1,00	0,94	0,33	0,62	0,20	0,68
Нитроновая:							
	81a	1,21	1,01	0,24	3,02	0,40	0,44
	182a	0,96	0,93	0,17	4,15	0,49	0,47
Хлоридная:							
	40	1,16	0,98	2,70	3,95	0,28	0,76
	86006	1,24	0,95	3,20	2,08	0,30	0,58
Фторлоновая	22295	1,31	—	2,40	—	0,35	—

Таблица 36

ФИЛЬТРУЮЩИЕ СВОЙСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ
ПО ОТНОШЕНИЮ К ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ
ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ СУЛЬФИДНЫХ ПУЛЬП III И IV

Ткань и артикул	Масса 1 м ² , г	Толщина ткани, мм	Скорость фильтра- ции		Мутность фильтрата		Засоряе- мость ткани		
			III	IV	III	IV	III	IV	
Хлопковая	2074	625	2,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Капроновая:									
	55007	104	0,21	1,02	0,79	1,73	4,20	0,27	0,38
	22208	106	0,23	1,00	0,78	3,70	3,42	0,29	0,39
	23254	281	0,64	0,99	0,79	11,60	6,20	0,22	0,28
	23260	524	1,35	1,10	1,00	8,90	11,40	0,39	0,39
	24173	390	0,79	0,90	0,88	7,20	8,20	—	—
	24282	94	0,20	0,99	0,80	2,14	2,50	0,59	0,66
	24299	434	0,85	0,98	0,84	9,30	10,40	0,36	0,30
	24301	89	0,18	0,95	0,80	6,50	3,62	0,32	0,57
	56035	477	1,60	1,14	0,90	6,60	10,80	0,28	0,33
Лавсановая:									
	24	572	1,48	0,94	0,86	8,80	—	—	—
	181a	498	1,48	1,08	0,87	12,40	13,20	0,13	0,47
	23331	347	0,63	0,94	0,85	—	—	—	—
	24291	94	0,18	0,88	0,89	3,40	4,22	0,50	0,33
	24292	137	0,26	0,89	0,70	0,75	1,74	0,57	0,52
	21710/3	331	0,59	0,82	0,78	4,81	6,10	0,68	0,78
	56038	—	—	0,82	0,85	3,82	4,12	0,44	0,41
	56050	—	—	0,81	0,85	1,60	1,63	0,58	0,56
Полипропиленовая:									
	23273	98	0,25	1,06	0,81	3,30	5,00	0,37	0,31
	24294	112	0,32	1,00	0,81	2,42	2,94	0,48	0,43
	24295	77	0,21	1,00	0,83	5,12	4,64	0,56	0,40
	24296	98	0,27	1,05	0,85	3,68	6,20	0,31	0,48
Нитроновая:									
	81a	274	1,27	1,04	0,96	13,60	8,60	0,13	0,26
	182a	338	1,17	0,84	0,84	3,26	9,40	0,22	0,33
Хлориновая:									
	40	568	1,28	1,18	1,41	15,52	15,10	0,46	0,39
	86006	364	0,79	1,13	1,02	22,60	11,40	0,25	0,51
	ПЦ-130	711	1,00	1,20	1,43	40,02	61,00	0,25	0,27
Фторлоновая	22295	141	0,17	1,10	0,75	1,61	3,80	0,47	0,40

фильтрации) и устойчивость против засорения. Механическая прочность и устойчивость тканей в агрессивных средах были рассмотрены выше (см. гл. I).

Фильтрующие свойства образцов фильтротканей испытывали на примерах фильтрации минеральных суспензий различных по вещественному и гранулометрическому составам дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Фильтрация красных шламов. Красные шламы глиноземного производства являются тонкодисперсными суспензиями. По данным дисперсионного анализа, выполненного по методу Н. А. Фигуровского, I и II пробы шлама содержали соответственно 51,65 и 50,53% фракции тоньше 2,5 мкм. В тонких фракциях шламов обнаружены лимонит, гетит, каолинит, галлуазит, слюды, рутил и другие дисперсные минералы. Жидкая фаза пульпы красных шламов представлена щелочным (каустическим) алюминатным раствором. Последний отделяют путем сгущения и фильтрации в нагретом состоянии.

Из данных, приведенных в табл. 33, следует, что при фильтрации указанных пульп испытанные образцы отдельных фильтротканей значительно не различаются по скорости фильтрации, но обнаружены существенные различия по мутности фильтрата и по засоряемости (адгезия кеков). Сравнительно плотные ткани, например капроновые арт. 56027 и 24173 и лавсановые арт. 23331 и 24292, выдают чистые фильтраты (мутность в пределах 0,2—0,7 г/л) и наряду с этим незначительно уступают менее плотным тканям по скорости фильтрации (см. табл. 33). Однако перечисленные ткани по сравнению с другими испытанными образцами менее устойчивы против засорения. Применение таких тканей оправдывается в случаях, когда чистоте фильтрата придается особое значение.

Например, капроновая ткань арт. 56027 массивнее и прочнее ткани арт. 56007 и обеспечивает получение более чистых фильтратов, но уступает ткани арт. 56007 по засоряемости. Поэтому если при фильтрации важно получить чистый фильтрат, целесообразно применить арт. 56027. Если же замутненность фильтрата не имеет существенного значения, то, напротив, возникает целесообразность применения ткани арт. 56007, более устойчивой против засорения.

Величина адгезии осадка к фильтроткани по мере ее засорения в процессе работы постепенно возрастает, но затем этот рост уже не фиксируется при определении адгезии по указанной выше методике. Это объясняется тем, что по мере засорения ткани адгезия осадка достигает и даже превышает силы прилипания частиц осадка друг к другу. В данном случае экспериментально определяется не адгезия осадка к ткани, а когезия, характеризующая силы прилипания (сцепления) между частицами или слоями осадка. При отрыве кек расслаивается и часть его остается на поверхности ткани.

Из числа испытанных тканей (см. табл. 33) были отобраны 6 образцов тканей, показавших наиболее высокие фильтрующие свойства. Эти образцы были подвергнуты дальнейшему испытанию с целью выяснения изменения их фильтрующих свойств в процессе работы. Для каждого образца были измерены показатели фильтрации в течение 24 циклов. Пульпу фильтровали при следующих условиях: отношение Ж:Т=4:1, температура 70°С, концентрация щелочи 68,8 г/л по Na₂O и алюмината 68,6 г/л по Al₂O₃, продолжительность фильтрации 6 мин и подсушка кеков на фильтре 1 мин. Относительные показатели фильтрации для 6 образцов ткани приведены в табл. 37. Наряду с замерах засорения тканей шламом фиксировали также и кристаллизацию продуктов распада алюминатного раствора на волокнах тканей (инкрустация тканей). В качестве эталона сравнения принята капроновая ткань арт. 56007, фильтрующие свойства которой приравнены 1.

Высокую тонкость фильтрации обеспечивают полипропиленовые ткани, волокна которых в наименьшей степени инкрустируются продуктами распада метастабильного алюминатного раствора. Удовлетворительными фильтрующими свойствами обладает и капроновая ткань арт. 22208.

Фильтрация несulfидных и sulfидных пульп. При фильтрации несulfидных пульп (пульпы I и II) через капроновые ткани арт. 56035, 24173, 56007 и лавсановые арт. 56038, 23331 и 181-а скорость фильтрации возрастает на 20—30% по сравнению с фильтрацией этих пульп через хлопковую фильтродиагональ (см. табл. 33). К тому же прилипаемость осадков (адгезия) к перечисленным тканям в несколько раз меньше, чем к фильтродиагонали, что служит показателем их высокой устойчивости против засорения. Отдельные виды тканей из синтетических волокон обладают высокими фильтрующими свойствами. Напри-

Таблица 37

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ

Ткань и артикул	Скорость фильтрации	Влажность кеков	Мутность фильтрата	Адгезия кека с тканями	Инкрустация тканей
Капроновая:					
56007	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
56027	0,97	1,03	0,16	4,33	0,99
22208	0,95	0,99	0,63	1,33	0,99
24299	0,98	0,99	0,65	1,79	1,14
Полипропиленовая:					
23273	0,93	0,99	0,39	1,94	0,42
24296	0,93	0,98	0,43	1,84	0,44

мер, лавсановая ткань арт. 56038 и капроновая арт. 56035 при фильтрации несulfидных пульп по скорости и тонкости фильтрации, а также по устойчивости против засорения значительно превосходят не только фильтродиагональ, но и многие синтетические ткани.

Далеко не все варианты синтетических тканей из числа испытанных повышают производительность фильтров по сравнению с фильтродиагональю. Например, скорости фильтрации сульфидных пульп (пульпы III и IV) (см. табл. 36) через синтетические ткани и фильтродиагональ мало отличаются друг от друга. Основное преимущество синтетических тканей обусловлено тем, что сила прилипания к ним отфильтрованных осадков в несколько раз меньше, чем в хлопковой ткани (см. табл. 33, 34 и 36). Благодаря этому синтетические ткани значительно превосходят хлопковые по устойчивости против засорения и по полноте съема осадка с их поверхности. Поэтому синтетические ткани поддерживают стабильную производительность фильтра в течение более длительного периода работы по сравнению с хлопковыми тканями. Фильтры, экипированные синтетической и хлопковой тканями, в начальный период работы могут иметь одинаковую производительность, но синтетическая ткань обеспечивает более высокую среднюю производительность фильтра за весь период работы и более полный съем кеков по сравнению с хлопковой быстро засоряющей тканью.

Ворсистые и штапельные ткани прочнее удерживают осадок на своей поверхности, чем ткани из гладкого филаментного волокна и тем более из моноволокна. Сила прилипания осадка возрастает с увеличением плотности переплетения ткани. Имеют значения и знаки зарядов, которые несут частицы осадка и волокна ткани. Ткань меньше засоряется при слабом прилипании осадка к ее волокнам, но сила прилипания должна быть достаточной, чтобы предотвратить преждевременное сползание осадка с поверхности ткани.

Тонкость фильтрации. Этот показатель характеризует качество фильтрации и ориентировочно оценивается по содержанию твердой взвеси в фильтрате. Количественной оценкой тонкости фильтрации служит также максимальный размер частиц, перешедших в фильтрат через фильтрующий материал. Например, указывают тонкость фильтрации 1, 3, 5 мкм и более.

Некоторые синтетические фильтроткани не обеспечивают достаточную тонкость фильтрации. Например, фильтраты с высокой концентрацией твердого получены при фильтрации через капроновые ткани арт. 23254, 22208, 23260, некоторые лавсановые и особенно через нитроновые и хлориновые ткани (см. табл. 33, 35 и 36). На способность ткани задерживать дисперсную фазу влияют ее толщина, плотность и ворсистость, а также отношение Ж:Т в пульпе, дисперсность, агрегативная устойчивость пульпы и знаки зарядов, которые несут волокна ткани и

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЛЬТРАЦИИ КРАСНОГО ШЛАМА ЧЕРЕЗ ЛАТУННЫЕ СЕТКИ
С КВАДРАТНЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ. ПОСТОЯННЫЕ УСЛОВИЯ:
ВАКУУМ 500 ММ РТ. СТ., ОТНОШЕНИЕ Ж : Т В ПУЛЬПЕ 2,25 : 1,
ТЕМПЕРАТУРА 18—19° С, ТОЛЩИНА СЛОЯ КЕКОВ 10—12 ММ)

Размер открытой поры, мкм	Число пор на 1 см длины	Скорость фильтрации, мм/мин	Содержание твердого в фильтрате, г/л	Адгезия, гс/см ²
55,5	180	3,62	24,0	2,18
71,4	150	3,50	25,8	1,96
125	30	4,32	50,0	1,64
167	65	5,15	73,5	1,01
200	50	7,07	137,0	0,64
Ткань капроновая арт. 56007	—	2,83	3,3	1,37

взвешенные частицы. Выше было показано, что количество твердой взвеси, проникающей в фильтрат, пропорционально размеру открытой поры в кубе [формулы (71) и (72)], а скорость фильтрации жидкости пропорциональна размеру открытой поры в квадрате [формула (33)]. Поэтому с увеличением размера открытых пор фильтроткани мутность фильтрата возрастает значительно быстрее, чем скорость фильтрации. Это положение иллюстрируется также данными по фильтрации красного шлама через латунные сетки (табл. 38). С увеличением размера квадратных отверстий сеток содержание взвеси в фильтрате растет быстрее, чем скорость фильтрации. Например, при увеличении размера отверстий с 55 до 200 мкм скорость фильтрации возрастает в два раза, а содержание твердого в фильтрате в четыре раза, что находится в соответствии с формулой (33).

Капроновая ткань с открытыми порами размерами $\sim 15 \times 40$ мкм по скорости фильтрации немного уступает сетке с отверстиями 55 мкм, но в 7 раз превосходит ее по задерживающей способности (табл. 38).

По тонкости фильтрации или задерживающей способности относительно твердой взвеси синтетические ткани с гладкими волокнами уступают хлопковым ворсистым тканям при равных размерах открытых пор. Например, при фильтрации силикатной пульпы I синтетические ткани пропускают более мутный фильтрат по сравнению с фильтродиагональю (см. табл. 35). Только плотные синтетические ткани (арт. 24282, 24294, 24296, 23331) превосходят фильтродиагональ по тонкости фильтрации. При фильтрации пульпы II с содержанием дисперсной лимонитной глины по задерживающей способности хлопковая фильтродиагональ, напротив, заметно уступает синтетическим тканям. В данном случае синтетические ткани обеспечивают получение более чистых фильтратов. Волокна синтетических тканей приобретают

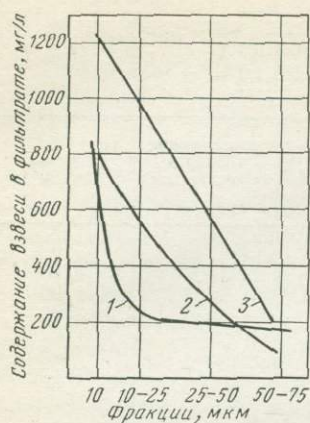


РИС. 45. ЗАВИСИМОСТЬ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТКАНЕЙ ОТ ДИСПЕРСНОСТИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ:

1 — фильтродиагональ; 2 — бязь на мешковине; 3 — вискозное волокно

значительные отрицательные заряды, а частицы лимонитной глины — положительные, благодаря чему возрастает задерживающая способность таких тканей по отношению к твердой взвеси. Между тем частицы силикатной пульпы I и волокна тканей несут одноименные отрицательные заряды и поэтому фильтраты получаются более замутненными (см. рис. 33).

С увеличением степени дисперсности твердой фазы пульпы задерживающая способность тканей снижается и мутность фильтрата возрастает (рис. 45). В данном случае также ворсистая фильтродиагональ полнее задерживает тонкие фракции (кривая 1), чем вискозное полотно с гладкими волокнами (кривая 2) при одинаковых размерах открытых пор. Задерживающая способность тканей снижается и с увеличением отношения Ж : Т в пульпе, поступающей на фильтрацию (табл. 39).

Из данных табл. 39 следует, что с увеличением разбавления пульпы увеличивается и мутность фильтрата. Основное количество твердой взвеси проникает через поры ткани в начальный период фильтрации до образования первого слоя осадка. В по-

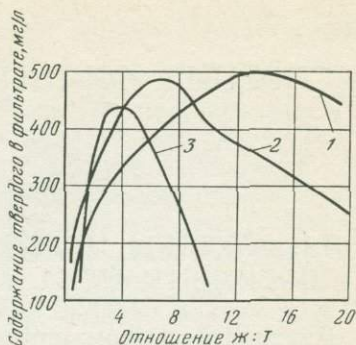
Таблица 39

ВЛИЯНИЕ РАЗБАВЛЕНИЯ КВАРЦЕВО-ГЛИНИСТОЙ ПУЛЬПЫ НА ЗАДЕРЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ТКАНЕЙ. ДИСПЕРСНАЯ ФАЗА СОДЕРЖИТ 90% КЛАССА —45 МҚМ

Ткань и артикул	Отношение Ж : Т в пульпе			
	1,5 : 1	3 : 1	6 : 1	10 : 1
Содержание твердого в фильтрате, мг/л				
Фильтродиагональ, 2074	120	270	380	460
Бязь техническая	580	960	—	740
Бязь на мешковине	170	360	480	400
Вискозное полотно	130	420	370	50
Капроновая, 56007	190	280	340	410
Капроновая, 1520	200	330	370	450
Хлориновая, 86006	250	510	2800	5200

РИС. 46. ЗАВИСИМОСТЬ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТКАНЕЙ ОТ РАЗБАВЛЕНИЯ КВАРЦЕВО-СУЛЬФИДНОЙ ПУЛЬПЫ:

1 — фильтродиагональ; 2 — бязь на мешковине; 3 — вискозное полотно



следующий период образующийся осадок принимает на себя функцию фильтрующей среды и фильтрат получается чистым. С увеличением плотности исходной пульпы ускоряется образование первого слоя осадка и более полно проявляется арочный эффект, благодаря чему понижается концентрация твердой взвеси в фильтрате. Выше на примере упрощенных моделей были рассмотрены условия образования сводиков над порами ткани, при этом обнаруживается некоторое критическое отношение Ж:Т в пульпе, при котором образование сводиков над порами становится маловероятным. С увеличением отношения Ж:Т в пульпе режим фильтрации с образованием осадка нарушается и в зависимости от соотношения размеров частиц пульпы и открытых пор ткани устанавливается либо режим фильтрации с закупоркой, либо происходит процеживание пульпы через фильтроткань. В связи с этим кривые, описывающие изменение мутности фильтрата в зависимости от разбавления пульпы, проходят через максимумы (рис. 46). Появление максимумов на кривых указывает на изменение режима фильтрации. Восходящие ветви кривых соответствуют режиму фильтрации с образованием осадка, а нисходящие — фильтрации с закупоркой пор ткани. По мере разбавления пульпы все большее развитие получает режим фильтрации с закупоркой, что обуславливает снижение содержания твердого в фильтрате и падение скорости фильтрации.

Фильтрация с закупоркой не обнаруживается при употреблении перхлорвиниловой ткани с гладкими волокнами и значительными размерами пор. В этом случае кривые мутности фильтрата с увеличением разбавления пульпы круто поднимаются и лишь позднее выполаживаются без образования максимумов, что свидетельствует о процеживании пульпы через поры ткани.

ЗАСОРЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

VIII.1. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ
ЗАСОРЕНИЕ ТКАНЕЙ

Важным фактором, определяющим устойчивость фильтроткани против засорения, является сила прилипания (адгезия) осадка к ее поверхности (см. гл. VII). При этом имеют значение структура (размеры и форма открытых пор), ворсистость и толщина ткани, а также сорбционная способность ее волокон. Последняя зависит от смачиваемости волокна и знака зарядов, которые приобретают волокна и частицы суспензии при фильтрации. Существенно влияют на засорение ткани степень дисперсности и форма частиц суспензии и ее агрегативная устойчивость. Фильтроткани интенсивно засоряются и при фильтрации метастабильных растворов. При этом кристаллы выделяются из растворов в зоне вакуума, закрепляются на волокнах и закупоривают проходные поры. Фильтровальные ткани засоряются под влиянием многих факторов, которые контролируются как свойствами самих тканей, так и свойствами фильтруемых суспензий.

Заряды на волокнах тканей. На поверхности волокон фильтротканей вследствие избирательной сорбции одноименных ионов из раствора образуется двойной электрический слой. При фильтрации воды или раствора на межфазной поверхности возникает электрокинетический потенциал. Различие знаков электростатических зарядов, возникших на поверхности волокон и частицах дисперсной фазы суспензии, является одной из причин прилипания осадка к волокнам ткани и ее засорения. Возникновение одноименных зарядов на волокнах и частицах, напротив, ослабляет прочность прилипания и предотвращает засорение ткани, но при этом снижается ее задерживающая способность по отношению к дисперсной фазе (см. рис. 33).

Заряды на природных волокнах. Хлопковое волокно, погруженное в воду, поглощает гидроксильные ионы (гидролитическая сорбция) заряжается отрицательно относительно водной среды. Отрицательный заряд хлопковых волокон усиливается в щелочной среде и понижается в кислой. Электрокинетический потенциал целлюлозы в растворе едкого натра уже при концентрации 0,0002 Н достигает максимального значения — 53 мВ. Дальнейшее увеличение концентрации щелочи вследствие сжатия диффузного слоя ионов снижает потенциал волокон. В кис-

лой среде ионы водорода нейтрализуют отрицательные заряды целлюлозы.

Неорганические и органические электролиты в основном аналогично влияют на потенциал целлюлозы. Из раствора электролита целлюлоза больше поглощает анионов, чем катионов, и с повышением концентрации потенциал целлюлозы сначала растет, а затем вследствие сжатия диффузного слоя снижается. Существенно увеличивают отрицательный заряд волокон многовалентные анионы, а многовалентные катионы, напротив, уже при небольших концентрациях разряжают волокна и даже сообщают им положительный заряд. Анионы солей жирных кислот, ксантогенатов и других анионоактивных ПАВ также сгущаются вблизи поверхности волокон и увеличивают их отрицательный заряд.

Заряды на синтетических волокнах. Синтетические волокна являются диэлектриками. Например, удельное сопротивление капрона составляет $2 \cdot 10^{14}$ Ом·см. При трении воздушносухих волокон на их поверхности возникают электростатические заряды. Знак заряда зависит от природы волокна и материала, с которым оно соприкасается. Например, полиамидные волокна в контакте со стеклом и силикатами приобретают отрицательные заряды, но они заряжаются положительно при соприкосновении с хлопком, сталью, резиной и лавсаном. Лавсановые и хлоридные волокна в контакте со всеми перечисленными телами приобретают отрицательные заряды.

Синтетические волокна, погруженные в воду или в раствор электролита, так же как и хлопковые, приобретают отрицательные заряды. Механизм возникновения зарядов на поверхности волокон определяется их сорбционными свойствами и электролитической активностью полярных групп полимерных цепей. Заряды возникают как в результате специфической адсорбции ионов из раствора, так и вследствие диссоциации ионогенных групп. Поверхность волокон заряжается и при ориентации дипольных молекул воды относительно полярных групп полимеров. При этом электрокинетический потенциал волокон достигает значительной величины. Например, в воде нитроновые и виолоновые волокна имеют ζ -потенциалы соответственно 80 и 125 мВ.

При понижении рН среды ионы водорода нейтрализуют отрицательные заряды и ζ -потенциал волокон быстро снижается. Многовалентные катионы и катионоактивные ПАВ также снижают потенциал волокон вследствие сжатия диффузного слоя ионов. При фильтрации воды или раствора через слой синтетических волокон возникает потенциал протекания, величина которого прямо пропорциональна потере напора (рис. 47) [54]. Кривые, описывающие зависимость величины потенциала от концентрации щелочного электролита, имеют максимумы (рис. 48). С повышением концентрации величина потенциала синтетических волокон быстро возрастает, но затем вследствие сжатия диффузного слоя ионов рост потенциала замедляется, а при

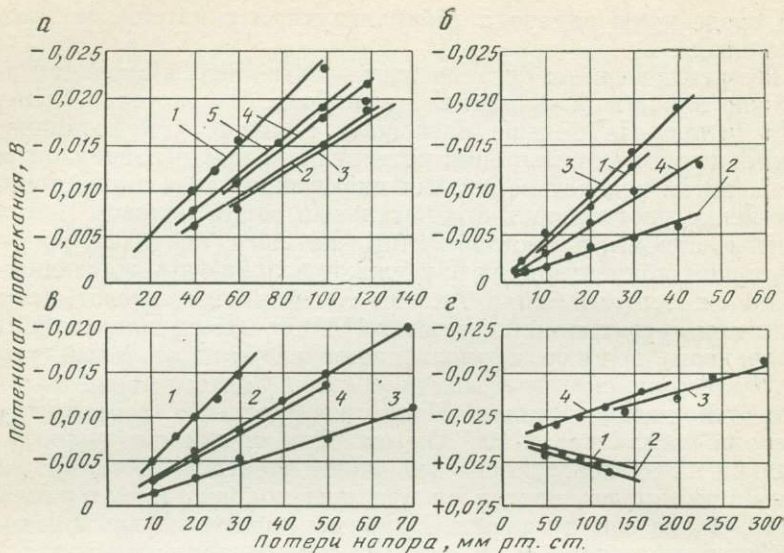


РИС. 47. ПОТЕНЦИАЛ ПРОТЕКАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОТЕРИ НАПОРА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ФТОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ ЧЕРЕЗ ВОЛОКНИСТЫЕ МЕМБРАНЫ ПРИ КОНЦЕНТРАЦИИ, МГ/Л:

1 — 6,5; 2 — 13; 3 — 51,4; 4 — 130; 5 — 180; а — капрон; б — полипропилен; в — лавсан; г — фторлон

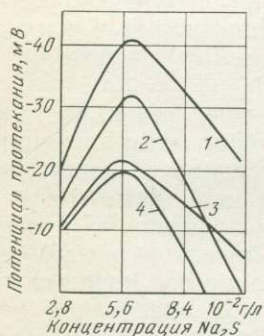


РИС. 48. ПОТЕНЦИАЛ ПРОТЕКАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ФИЛЬТРУЕМОГО ЩЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ЧЕРЕЗ МЕМБРАНЫ ИЗ ВОЛОКОН:

1 — лавсана; 2 — капрона; 3 — полипропилена; 4 — хлопка

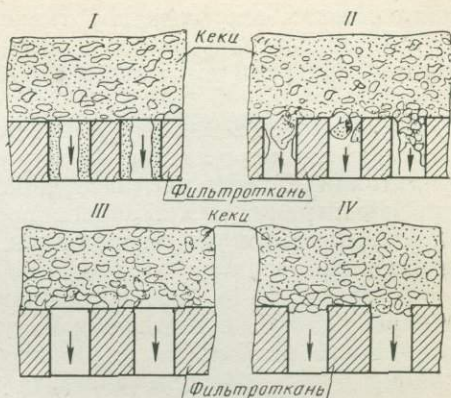
дальнейшем повышении концентрации щелочи снижается вплоть до нулевого значения. Многовалентные катионы втягиваются в двойной слой и также снижают электроотрицательный потенциал волокон.

Электрически заряженная поверхность раздела твердой и жидкой фаз участвует в переносе тока и обуславливает возникновение поверхностной проводимости. Вследствие поверхностной проводимости возрастает электропроводность разбавленных растворов, заполняющих поры фильтрующей среды. Поверхностная проводимость снижает потенциал течения и электрокинетический потенциал фильтротканей и других фильтрующих материалов.

Влияние материала дренажной подложки. На барабанных и дисковых вакуум-фильтрах фильтровальная ткань находится в

РИС. 49. ВИДЫ ЗАСОРЕНИЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ:

I — пристеночные инкрустирующие засорения; II — закупоривающие засорения; III — арочные отложения; IV — переход арочных отложений в закупоривающие засорения



контакте с перфорированными стальными листами. Железо в технической воде сильно поляризуется и приобретает положительный заряд. Ткань с отрицательными зарядами прилипает к поверхностям стального листа и перезаряжается. Поэтому частицы суспензии, несущие отрицательные заряды при фильтрации, прочно прилипают к положительно заряженным волокнам ткани и засоряют проходные поры.

По данным работы [55] потенциал поверхности стального сектора диска при длительном пребывании в технической воде достигает 500 мВ, а винипластового не выше 200—250 мВ. Последний меньше поляризуется в воде, так как является диэлектриком. На примере работы дисковых фильтров показано, что фильтроткань меньше засоряется на винипластовых секторах дисков, чем на стальных. В условиях фильтрации магнетитовых пульп (железорудные концентраты) капроновая фильтроткань на стальных секторах дисков служит 650 ч, а на винипластовых 880 ч. При этом средняя удельная производительность дискового вакуум-фильтра с винипластовыми секторами дисков в течение 600 ч работы составляет 0,58 т/(м²·ч), а со стальными секторами — 0,39 т/(м²·ч).

Виды засорений. Засоряющие отложения по характеру их связи с волокнами можно разделить на следующие группы: арочные или сводообразные, гарнисажные или пристеночные, защемленные или закупоривающие, смешанные (рис. 49).

Арочные отложения являются типичным для режима шламовой фильтрации с образованием осадка. Арочный эффект наблюдается при фильтрации концентрированных и коагулированных пульп, когда агрегированные частицы отлагаются на поверхности ткани с образованием рассмотренных выше сводиков над открытыми порами. Эти отложения обычно непрочны связаны с волокнами ткани и сравнительно легко удаляются при смене осадка и при продувке пор ткани.

Гарнисажные или пристеночные отложения возникают при кристаллизации из метастабильных растворов различных веществ с последующей цементацией их на поверхности волокон

и на стенках открытых пор тканей. Цементирующие гарнисажные отложения быстро повышают гидравлическое сопротивление ткани и затрудняют снятие с фильтра отфильтрованных осадков.

Защемленные или закупоривающие отложения являются характерными для режима фильтрации с закупоркой (глубинная фильтрация). Этот вид засорений наиболее полно проявляется при фильтрации малоцентрированных суспензий, например при контрольной фильтрации растворов или воды с целью их кондиционирования.

В процессе фильтрации можно наблюдать смешанный вид засорений, когда повышенное сопротивление ткани является следствием нескольких видов засорений. Например, при фильтрации пульп, подщелачиваемых известью, наряду с образованием арочных засорений формируются пристеночные, или гарнисажные засорения кальцита. Арочные засорения при неудовлетворительном съеме осадка могут постепенно переходить в более устойчивые защемленные или закупоривающие засорения.

Цементация засорений. При фильтрации многих пульп происходит цементация засоряющих примесей, которые закрепляются на волокнах и в открытых порах фильтровальных тканей. Вследствие цементации засорений ткани твердеют, становятся хрупкими и выходят из строя. Такие засорения сильно повышают гидравлическое сопротивление тканей и затрудняют съем отфильтрованных осадков.

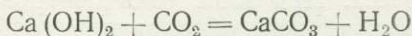
Явление цементации при засорении тканей обусловлено физико-химическими процессами, протекающими при упрочнении вяжущих веществ, и сопровождается дегидратацией, коагуляцией и кристаллизацией засоряющих примесей. Цементирующие отложения в качестве вяжущего вещества могут содержать карбонаты, гидроалюмосиликаты, сульфаты и силикаты натрия и кальция, а также окислы и гидроокислы железа и алюминия и вещества органического происхождения. Особую роль в процессе образования цементирующих отложений в порах и на волокнах тканей играют карбонат и двухкальциевый силикат кальция. Быстро цементируют ткани гидроалюмосиликаты натрия и сульфаты кальция. Образованию цементирующих отложений способствуют щелочная среда и метастабильное состояние фильтруемых растворов. При фильтрации нейтральных пульп сильное влияние на засорение тканей оказывает состав воды или раствора, употребляемых для приготовления пульпы и промывки осадков.

VIII.2. ЦЕМЕНТАЦИЯ ТКАНЕЙ КАРБОНАТАМИ

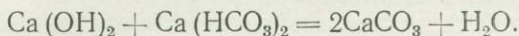
Цементация карбонатом кальция. Цементирующие отложения с карбонатной основой образуются в порах и на волокнах ткани при фильтрации пульп, подщелачиваемых известью. Уси-

ленно отлагается кальцит на волокнах тканей и при поступлении в полость фильтрующих элементов воды с высокой бикарбонатной жесткостью. Кальцитом цементируется и значительное количество механически задержанных примесей. Выделению кальцита способствует вакуум, нарушающий равновесие углекислоты в растворе.

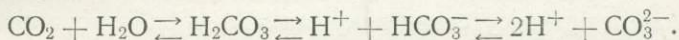
Карбонат кальция образуется в пульпах при взаимодействии известковой щелочи с углекислотой воздуха, растворенной в пульпе



и при разложении щелочью бикарбоната кальция, поступающего в процесс с жесткой водой

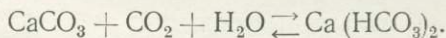


В растворах углекислых соединений устанавливается динамическое равновесие



Изменение углекислотного или щелочного режима среды неизбежно нарушает установившееся равновесие, что влечет либо отложение карбонатов, либо их растворение. При $\text{pH}=8,4$ углекислота в растворе присутствует только в форме HCO_3^- . В пределах $\text{pH} 5-8,4$ углекислота находится в виде HCO_3^- и H_2CO_3 . При $\text{pH}>5$ HCO_3^- разлагается по схеме $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$. В щелочной среде ($\text{pH}>8,4$) присутствуют HCO_3^- и CO_3^{2-} , причем с увеличением щелочности HCO_3^- разлагается ($\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-}$) и в присутствии катионов кальция или других катионов щелочноземельных металлов происходит осаждение карбонатов.

Углекислота в зависимости от ее концентрации и pH среды может осаждать кальцит или, напротив, растворять его с образованием бикарбоната



Из рассмотрения константы равновесия этой реакции

$$K = \frac{[\text{HCO}_3^-]^2}{[\text{CO}_2]}$$

следует, что концентрация $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в растворе зависит от концентрации CO_2 в этом растворе. Вакуум нарушает углекислотный режим, так как вследствие падения парциального давления углекислоты снижается ее растворимость. В зоне фильтровальной ткани величина вакуума достигает максимального значения, что влечет за собой резкое снижение концентрации CO_2 в растворе и разложение $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ с выделением карбоната кальция.

Процесс осаждения карбоната кальция в порах и на волокнах ткани проходит через следующие стадии:



Отдельные стадии такого ступенчатого процесса протекают с определенной скоростью. Лимитирующей является стадия образования центров кристаллизации, которая определяет скорость всего процесса. При этом роль центров кристаллизации выполняют волокна тканей, обладающие сорбционной способностью. Чем выше сорбционная способность волокон данной ткани, тем быстрее она цементируется кальцитом. Волокна фильтротканей, особенно хлопчатобумажных, отличаются значительной сорбционной способностью по отношению к щелочам. Сгущение щелочи вблизи поверхности волокон также способствует разложению бикарбоната и непосредственному взаимодействию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с углекислотой по приведенным выше реакциям. Поэтому даже и при отсутствии вакуума в зоне фильтровальной ткани имеются благоприятные условия для выделения кальцита и кристаллизации его на волокнах ткани. Например, при употреблении воды с бикарбонатной жесткостью для отдувки кеков с поверхности рамных фильтров ткань сравнительно быстро цементируется кальцитом и при отсутствии вакуума при просачивании воды через поры ткани.

В табл. 40 приведены химические составы дисперсной фазы пульпы и цементирующих осадков, образовавшихся при ее фильтрации в порах хлопчатобумажной фильтродиагонали и капроновой ткани арт. 56020. Жидкая фаза цианистой пульпы содержала 0,04—0,05% NaCN и 0,01—0,015% CaO .

Из данных табл. 40 следует, что в засорениях содержится около 60% CaCO_3 , на основе которого и образовались сцемен-

Таблица 40

ХИМИЧЕСКИЕ СОСТАВЫ ПУЛЬПЫ И ЗАСОРЕНИЙ
В ПОРАХ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Компоненты	Содержание, %		Содержание (мг/л) в солянокислой вытяжке засоренной ткани	
	в твердом пульпы	в засорениях	хлопчатобумажной	капроновой
CaO	0,63	34,30	2450,0	2050,0
MgO	1,07	1,93	27,5	7,7
SiO ₂	70,67	14,50	37,2	24,5
Al ₂ O ₃	14,28	17,51	54,0	38,7
Fe ₂ O ₃	1,75	1,30	140,0	45,0
П. п. п.	—	29,93	—	—

тированные осадки в порах ткани. В процессе кристаллизации кальцитом было цементировано и значительное количество дисперсных алюмосиликатов.

Карбонатные цементированные осадки, засоряющие хлопчатобумажную и капроновую ткани, имеют аналогичный состав. Но капроновая ткань меньше засоряется по сравнению с хлопчатобумажной. При фильтрации пульпы, подщелачиваемой известью, хлопковая фильтродиагональ сохраняет проницаемость в течение 15—18 сут, а капроновая (арт. 56007) 25—30 сут работы. В порах засоренной фильтродиагонали задерживается примесей около 240 г/м², а в капроновой 135—140 г/м². Однако лавсановая фильтровальная ткань арт. 56038 по своим фильтрующим свойствам и в том числе по устойчивости против засорения карбонатными отложениями заметно превосходит капроновую ткань арт. 56007.

При фильтрации пульп разного вещественного и гранулометрического составов при наличии известковой щелочи или при употреблении неумягченной воды бикарбонатного класса фильтровальные ткани обычно засоряются осадками, цементированными карбонатом кальция. Например, при фильтрации магнетитовой пульпы (Ингулецкий ГОК) капроновая ткань в течение 18 сут работы засоряется осадками в количестве 180 г/м², цементированными солями жесткости [55]. В осадках содержатся гидроокислы железа и алюминия (92,4 г/м²), магнетит (85,3 г/м²) и карбонаты кальция и магния (8,8 г/м²) в эквивалентах окиси кальция и магния.

Интенсивность засорения тканей зависит и от частоты смены циклов фильтрации. На барабанных и дисковых фильтрах с кратковременными циклами фильтрации (2—5 мин) ткань засоряется быстрее, чем на фильтрах рамного типа с длительными циклами (2—4 ч). Например, при фильтрации пульп, аналогичных по щелочности и вещественному составу, хлопковая фильтродиагональ на барабанном фильтре служит 15—18 сут, а на рамном 3—4 мес.

Наблюдаются случаи зарастания системы трубок фильтров и трубопроводов осадками, цементированными карбонатом кальция. Такие осадки в виде гарнисажей на стенках трубок фильтра для стока фильтрата постепенно разрастаются и увеличивают гидравлическое сопротивление дренажа, что может снизить производительность фильтра.

Засорение сульфатами. Цементированные засорения на основе труднорастворимых сульфатов образуются при фильтрации пульп, содержащих сульфаты кальция или бария. При фильтрации пульп, содержащих $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, наблюдается явление гипсования фильтроткани. Гипс сорбируется целлюлозными волокнами. Поэтому хлопчатобумажные ткани сравнительно быстро загипсовываются и утрачивают проницаемость. В рудных пульпах небольшое количество гипса образуется при взаимодействии

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ с продуктами окисления сульфидов. Гипс в отдельных пульпах может присутствовать и в виде природного минерала, способствующего засорению ткани. Сравнительно устойчивыми против гипсования являются резиновые фильтровальные сетки, вследствие их меньшей сорбционной способности по отношению к гипсу, а также ткани из синтетических волокон, например лавсановые.

При фильтрации баритовых пульп ткани меньше засоряются. Хлопчатобумажная фильтродиагональ при фильтрации пульпы, содержащей барит, работает в течение 10—15 сут без замены. Барит по сравнению с гипсом меньше засоряет поры ткани цементирующими отложениями.

VIII.3. СИЛИКАТНЫЕ ЦЕМЕНТИРУЮЩИЕ ЗАСОРЕНИЯ

Засорение тканей в кислой среде. Цементирующие засорения фильтротканей на силикатной основе образуются при фильтрации кислых и щелочных суспензий, содержащих растворимые и нерастворимые силикаты и коллоидную кремнекислоту.

В состав отложений на силикатной основе входят различные формы силикатов и свободной кремнекислоты, а также окислы кальция, алюминия, железа и других металлов. Характерным для этих отложений является образование гелеобразных пленок на поверхности волокон ткани, представляющих собою гидрогели различных силикатов и в том числе кремнекислоты. Эти пленки появляются в результате коагуляции коллоидных силикатов на поверхности волокон фильтроткани. В дальнейшем при взаимодействии указанных пленок с солями кальция и других металлов и вследствие их частичного обезвоживания происходит перекристаллизация пленок и дальнейший их рост. Взаимное прораствание кристаллов упрочняет и цементирует пленку. Цементации силикатных пленок способствует обменное поглощение катионов. Например, обменное поглощение катионов алюминия, железа и кальция способствует понижению влажности пленки и прочному свертыванию (цементации) коллоидных дисперсий осадка в порах и на поверхности волокон ткани.

Интенсивное засорение фильтровальных тканей гелеобразными осадками наблюдается при фильтрации пульп, содержащих значительное количество коллоидных дисперсий при метастабильном состоянии жидкой фазы. Характерной в этом отношении является фильтрация кислой пульпы после выщелачивания серной кислотой титанистого железняка при производстве двуокиси титана. Метастабильное состояние растворов метатитановой кислоты способствует быстрому засорению ткани. Аналогичное явление наблюдается при фильтрации кислых пульп после выщелачивания сернокислым раствором цинковых обожженных концентратов. В данном случае большую роль иг-

рает коллоидная кремнекислота, гелеобразные осадки которой закупоривают проходные поры тканей.

На засоряемость фильтротканей и на фильтруемость силикатных суспензий решающее влияние оказывает величина рН среды. В сильно кислой среде при $\text{pH} < 3$ диссоциация кремнекислоты подавлена ионами водорода (диффузные слои коллоидных частиц сжаты), благодаря чему исключается засорение фильтроткани гелеобразными осадками. При $\text{pH} = 6-8$ гели также не образуются, так как силикатные частицы находятся в изоэлектрическом состоянии. В слабокислых средах, напротив, диффузные слои силикатных частиц разрастаются и образуются гели, замазывающие поры тканей.

Засорение тканей в щелочной среде. Фильтровальные ткани в щелочной среде засоряются цементирующими осадками силикатов кальция и гидроалюмосиликатов натрия.

Например, в производстве глинозема после выщелачивания нефелиновых спеков с высоким содержанием двухкальциевого силиката получают белитовый шлам, подлежащий фильтрации с целью отделения алюминатного раствора. Фильтрация белитового шлама на барабанных и дисковых вакуум-фильтрах протекала крайне неудовлетворительно вследствие очень быстрого засорения ткани цементированными осадками. Быстрой цементации ткани способствовало периодическое соприкосновение ее с атмосферным воздухом в периоды подсушки и отдувки кеков. Уже через 5—6 ч работы фильтродиагональ и фильтробельтинг окончательно засорились и выходили из строя. Фильтрация такой пульпы оказалась возможной на патронных вакуум-фильтрах, фильтрующая поверхность которых полностью погружена в пульпу (фильтры-сгустители) [56]. При фильтрации белитового шлама с высокой концентрацией каустической и карбонатной щелочи для экипировки патронных фильтров применяют капроновую ткань, которая по своим фильтрующим свойствам превосходит хлориновую и тем более хлопчатобумажную ткань.

Значительные затруднения возникают при фильтрации щелочной белитовой пульпы на карусельных вакуум-фильтрах вследствие цементации фильтроткани. Фильтрующие элементы (паллеты) карусельного фильтра также экипируют капроновой тканью. Однако в условиях работы указанных фильтров через белитовые кеки просасывается воздух, усиливающий цементацию капроновой ткани, которая сравнительно быстро утрачивает проницаемость.

В производстве глинозема фильтруют большие объемы алюминатных растворов, шламов и гидратных пульп, содержащих в растворенном виде силикат натрия, который, взаимодействуя с алюминатом натрия, образует гидроалюмосиликат натрия. Последний совместно с гидроокисью алюминия и другими шламами засоряет поры ткани и дренажную систему фильтров плотными цементированными осадками.

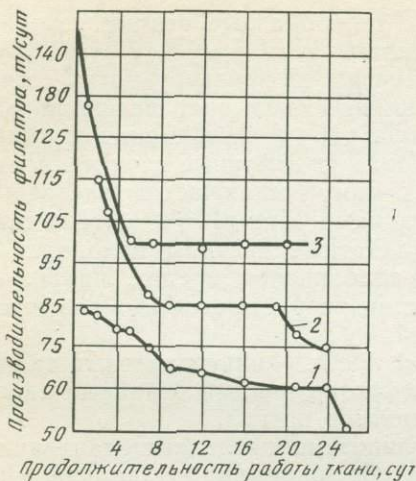


РИС. 50. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БАРАБАННОГО ФИЛЬТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ РАБОТЫ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ШЛАМИСТОЙ ПИРИТНОЙ ПУЛЬПЫ ПРИ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАНА, ОБ/Ч:

1 — 10,7; 2 — 16; 3 — 22

Для контрольной фильтрации метастабильных алюминатных растворов фильтровальные ткани и в том числе капроновые оказались неподходящими вследствие быстрого засорения их окислами железа и гидроалюмосиликатом натрия. Такие растворы филь-

труют через намывной слой из целлюлозной и бумажной массы с высокой шламоемкостью (см. гл. III).

Имеются и другие примеры фильтрации неустойчивых растворов, продукты разложения которых быстро засоряют фильтровальные ткани.

Общие условия засорения тканей. Синтетические ткани по сравнению с хлопковыми более устойчивы против засорения. Нити синтетических тканей являются гладкими и гидрофобность их почти не снижается в процессе работы. На синтетических волокнах по сравнению с хлопковыми меньше закрепляется цементированных осадков. Правильно подобранная фильтроткань из синтетических волокон служит больше, чем ткань из хлопковых волокон (имеет значение и толщина ткани).

В течение первого периода работы новой ткани обычно образуется слой кеков значительной толщины, который хорошо снимается при отдувке воздухом. В последующий период работы толщина слоя кеков снижается и затрудняется их удаление при отдувке. На рис. 50 изображены кривые, характеризующие производительность барабанного вакуум-фильтра в зависимости от продолжительности работы фильтродиагонали при фильтрации шламистой сульфиднокварцевой пульпы. Под действием глубокого вакуума фильтроткань подсасывается к опорной поверхности и деформируется (сплющивание нитей) (см. рис. 7), поэтому уже в первый период работы производительность фильтров снижается. Затем устанавливается стабильная производительность фильтра в течение индукционного периода работы ткани. Аналогичная картина наблюдается и при фильтрации сульфидных пульп, например флотационных концентратов на дисковых вакуум-фильтрах.

При фильтрации флотоконцентратов, полученных при флотации с высокими дозировками силиката натрия, также происходит засорение фильтроткани коллоидной кремнекислотой. Последняя закрепляется на волокнах и между волокнами ткани и в результате частичного обезвоживания при переменном воздействии вакуума и компрессии и перекристаллизации способствует образованию плотных засорений, прочно связанных с фильтротканью.

На волокнах фильтротканей закрепляются и пленки органического происхождения. Такие отложения образуются при фильтрации пульп, содержащих в качестве флотореагентов различные смолы, сложные жирные кислоты или другую органику, почти не растворяющуюся в воде.

При фильтрации флотоконцентрата, полученного при флотации с применением труднорастворимой органики, на барабанных фильтрах с внутренней фильтрующей поверхностью капроновая фильтроткань уже через 5—7 сут работы почти полностью утрачивает проницаемость. Поэтому при подборе реагентного режима процесса флотации следует учитывать и условия обезвоживания получаемых продуктов.

Засорение фильтротканей оказывает влияние на производительность фильтра. Фильтроткань быстро утрачивает проницаемость при фильтрации недостаточно скоагулированных глинистых или шламистых пульп. При этом происходит закупорка открытых и межволоконных пор ткани липкими отложениями. Такие дисперсные отложения с большой удельной поверхностью по сравнению с зернистыми более прочно прилипают к волокнам ткани вследствие значительного развития сил адгезии электростатической и молекулярной природы. При неудовлетворительной очистке перед каждым циклом фильтрации ткань быстро утрачивает проницаемость. Для восстановления проницаемости требуется специальная промывка ткани.

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

IX.1. УРАВНЕНИЕ ШЛАМОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Гидравлическое сопротивление фильтрующего материала, например фильтроткани, можно определить путем фильтрации воды или чистого фильтрата. Однако при этом не выявляется истинная величина сопротивления ткани в условиях шламовой фильтрации, так как не учитывается взаимодействие первых слоев осадка с фильтротканью и проникновение частиц суспензии в ее поры. Такое взаимодействие существенно влияет на величину сопротивления фильтроткани, но не учитывается при фильтрации чистой воды или раствора.

При фильтрации суспензий гидравлическое сопротивление всей фильтрующей среды, включая кеки, фильтроткань и ее опоры, целесообразно выражать в единицах толщины слоя кеков [57]. Учет в однородных единицах гидравлического сопротивления упрощает уравнение шламовой фильтрации и позволяет определить действительное значение гидравлического сопротивления фильтроткани или другого фильтрующего материала совместно с первым слоем осадка.

На основе гидромеханической модели процесс шламовой фильтрации при постоянной величине напора удовлетворительно описывается следующим экспериментально обоснованным уравнением [8, 57]:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{KP}{AR_0(h + h_0)}, \quad (107)$$

где h — толщина слоя кеков, мм; t — продолжительность фильтрации, мин; dh/dt — скорость роста толщины слоя кеков; K — константа скорости фильтрации, мм²/(мин · ат); h_0 — толщина слоя кеков, гидравлическое сопротивление которого эквивалентно сопротивлению фильтроткани и ее опор; P — потеря напора при фильтрации, ат; A — объемная масса кеков по твердому до их подсушки, г/см³; R_0 — объем фильтрата на единицу массы твердого в кеках, г/см³.

При этом

$$A = \frac{\delta\gamma}{\gamma + \delta R_w} \quad (108)$$

и

$$R_o = \frac{R - R_w}{\gamma}, \quad (109)$$

где δ и γ — масса соответственно твердой и жидкой фаз суспензии; R — весовое отношение Ж:Т в суспензии, поступающей на фильтрацию; R_w — Ж:Т в кеках непосредственно после их набора.

Константа скорости фильтрации является сложной величиной и определяется

$$K = K_o m = \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (110)$$

где K_o — коэффициент, характеризующий проницаемость кеков, величина, обратная удельному сопротивлению кеков (r); m — текучесть фильтрата, величина, обратная вязкости фильтрата (η).

Вязкость фильтрата в отличие от удельного гидравлического сопротивления кеков зависит от температуры. Поэтому константу скорости фильтрации для другой температуры, отличной от температуры замеров, можно рассчитать на основе пропорции $K\eta = K_t\eta_t$, отсюда

$$K_t = \frac{K\eta}{\eta_t}, \quad (111)$$

где η — вязкость фильтрата при температуре замера; η_t — вязкость фильтрата при температуре t , для которой рассчитывается константа скорости фильтрации K_t .

После интегрирования уравнения (107) и подстановки значения постоянной интегрирования (для начальных условий $C = 0$) получим

$$AhR_o + 2AR_o h_0 h = 2KPt. \quad (112)$$

На основании уравнения (112) можно рассчитать: продолжительность набора кеков с заданной толщиной слоя h

$$t = \frac{AR_o h (h + 2h_0)}{2KP}, \text{ мин}; \quad (113)$$

среднюю скорость фильтрации для всего периода набора кеков

$$W_o = \frac{2KP}{h + 2h_0}, \text{ мм/мин}; \quad (114)$$

толщину слоя кеков при заданной продолжительности его набора

$$h = \sqrt{\frac{2KPt}{AR_o} + h_0^2} - h_0, \text{ мм}. \quad (115)$$

Ниже будет показано, что в подкоренном члене формулы (115) h_0^2 оказывает незначительное влияние на величину h даже при крайних значениях K и h_0 , поэтому без существенной погрешности можно принять

$$h = \sqrt{\frac{2KPt}{AR_0}} - h_0. \quad (116)$$

Полученные соотношения могут послужить для определения величины гидравлического сопротивления фильтроткани или другой фильтрующей среды как в лабораторных, так и в промышленных условиях для фильтров периодического и непрерывного действия.

IX.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Аналитический расчет. При фильтрации данной пульпы при постоянных значениях K , P , A и R_0 на основании уравнения (116) получаем

$$h = K_0 \sqrt{t} - h_0, \quad (117)$$

где $K_0 = \sqrt{\frac{2KP}{AR_0}}$ — обобщенная константа при фильтрации данной пульпы.

Для расчета гидравлического сопротивления ткани совместно с первым слоем осадка нужно произвести два замера толщины слоя кеков h_1 и h_2 , полученных при разной продолжительности их набора соответственно в течение времени t_1 и t_2 . На основании (117) запишем два уравнения:

$$h_1 + h_0 = K_0 \sqrt{t_1} \quad (118)$$

и

$$h_2 + h_0 = K_0 \sqrt{t_2}. \quad (119)$$

Разделив почленно уравнения (118) и (119), получаем формулу для расчета гидравлического сопротивления ткани или другого фильтрующего материала

$$h_0 = \frac{h_2 \sqrt{t_1} - h_1 \sqrt{t_2}}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}}. \quad (120)$$

Если при фильтрации измеряются объемы фильтрата, то на основании формулы (117) находим

$$v_1 = K_2 \sqrt{t} - v_0, \quad (121)$$

где v_1 — удельный объем фильтрата, полученный в течение времени t с единицы площади фильтра, например в мл/см²;

v_0 — гидравлическое сопротивление ткани, выраженное в единицах объема фильтрата; K_2 — константа, причем

$$K_2 = \sqrt{2KPAR_0}, \quad (122)$$

$$v_1 = AR_0 h \quad (123)$$

и

$$v_0 = AR_0 h_0. \quad (124)$$

В данном случае также гидравлическое сопротивление ткани определяем на основе двух уравнений:

$$v_1 + v_0 = K_2 \sqrt{t_1} \quad (125)$$

и

$$v_2 + v_0 = K_2 \sqrt{t_2}. \quad (126)$$

Разделив почленно уравнения (122) и (123) и с учетом равенства (124), получаем

$$h_0 = \frac{v_2 \sqrt{t_1} - v_1 \sqrt{t_2}}{AR_0 (\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1})}, \quad (127)$$

где v_1 и v_2 — удельные объемы фильтрата (мл/см³), полученные в течение времени соответственно t_1 и t_2 .

Формулы (120) и (127) являются удобными для расчета гидравлического сопротивления фильтровальной ткани, так как измерение величин, входящих в эти уравнения, не связано с затруднениями.

В условиях промышленной фильтрации, например на барабанных или дисковых вакуум-фильтрах, для расчета гидравлического сопротивления ткани на основании выражения (114) получаем следующую формулу:

$$h_0 = \frac{h_2 \sqrt{T_1} - h_1 \sqrt{T_2}}{\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1}}, \quad (128)$$

где h_1 и h_2 — толщины слоя кеков в мм при продолжительности одного оборота фильтра соответственно T_1 и T_2 (мин).

Толщина слоя кеков на отдельных участках поверхности фильтра может быть разной и при измерении этой величины возможны погрешности. Более точно толщину слоя можно рассчитать по массе осадка, снятого с отдельных участков площади фильтра пробником, при этом

$$h = \frac{10a_1\gamma + \delta R_w}{f_1\delta\gamma}, \text{ мм}, \quad (129)$$

где a_1 — масса пробы влажных кеков, г; f_1 — площадь фильтрующей поверхности, с которой снята проба кеков, см²; R_w — Ж:Т в кеках; δ и γ — соответственно плотности твердого и жидкого.

Графический метод. Этот метод расчета гидравлического сопротивления ткани основывается на уравнениях (117) и (121), которые записаны в форме уравнения прямой линии. В работе [57] приведены результаты опытов по исследованию кинетики фильтрации тридцати проб рудных пульп разного вещественного и гранулометрического составов. При этом установлено, что кинетика фильтрации указанных пульп удовлетворительно описывается уравнениями (117) и (121). Позднее проведенные опыты показали, что кинетика фильтрации пульп красных шламов глиноземного производства также описывается уравнением (121).

На примере фильтрации пульпы красных шламов показано графическое определение величины гидравлического сопротивления капроновой фильтроткани арт. 56007 (рис. 51). Пульпу фильтровали при следующих условиях: отношение Ж:Т в пульпе $R=4:1$, Ж:Т в кеках непосредственно после их набора $R_w=0,87:1$, объемная масса кеков по твердому, рассчитанная по формуле (108), $A=0,803$ г/см³, объем фильтрата на единицу массы твердого в кеке $R_0=3,09$ см³/г.

При величине вакуума 500 мм рт. ст. (0,658 ат) получены следующие объемы фильтрата в зависимости от времени t :

t , мин	1	2	3	4	6	8	10
v , мл/см ²	0,97	1,40	1,81	2,13	2,69	3,14	3,55

По этим данным в соответствии с уравнением (121) строим график в координатах $v - \sqrt{t}$ и находим величину отрезка v_0 , который отсекает прямая на отрицательном направлении оси ординат (см. рис. 51). В данном случае $v_0=0,317$ мл/см². По формуле (124) рассчитаем величину гидравлического сопротивления капроновой ткани совместно с первым слоем дисперсного осадка в единицах толщины слоя кеков:

$$h_0 = \frac{v_0}{AR_0} = \frac{0,317}{0,803 \cdot 3,09} = 0,13 \text{ см} = 1,3 \text{ мм.}$$

Аналогичным методом определим гидравлическое сопротивление фильтродиагонали для двух крайних по фильтруемости пульп (рис. 52). Строим прямую 1 по данным фильтрации пульпы из сульфидной руды и прямую 2 для глинистой пульпы. Эти прямые на отрицательном направлении оси ординат отсекают отрезки, определяющие гидравлическое сопротивление фильтроткани в единицах объема фильтрата. При фильтрации сульфидной пульпы отрезок $v_0=52$ мл и глинистой — $v_0=11$ мл. Гидравлическое сопротивление фильтродиагонали рассчитываем по формуле (124) при фильтрации сульфидной пульпы и получаем $h_0=2,1$ мм, при фильтрации глинистой пульпы $h_0=1$ мм. Сопротивление фильтроткани, измеряемое в единицах толщины слоя кеков, тем меньше, чем ниже проницаемость кеков.

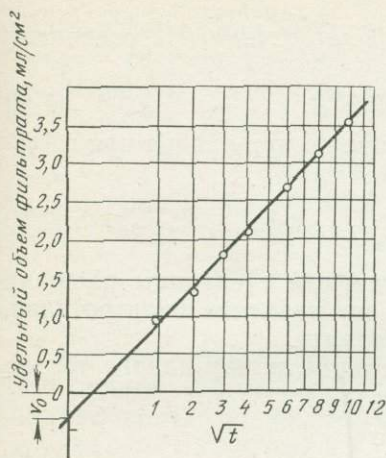


РИС. 51. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАПРОНОВОЙ ФИЛЬТРОТКАНИ АРТ. 56007.

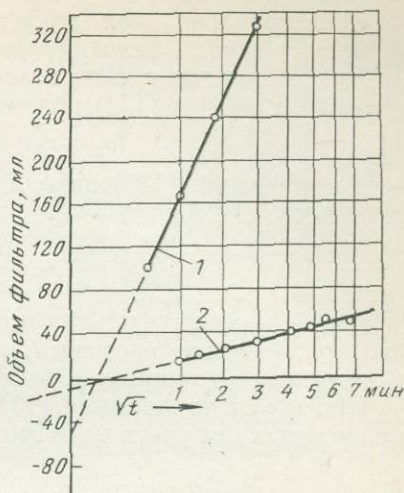


РИС. 52. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЛЬПЫ: 1 — сульфидной; 2 — глинистой

При известном значении h_0 по формуле (114) можно рассчитать константу скорости фильтрации. Например, при фильтрации сульфидной пульпы в течение 5 мин средняя скорость фильтрации $W_0 = 8,4$ мм/мин и расчетная толщина слоя кеков составила $h = 16,5$ мм. По формуле (114) находим константу скорости фильтрации

$$K = \frac{W_0 (h + 2h_0)}{2P} = \frac{8,4 (16,5 + 2 \cdot 2,1)}{2 \cdot 0,33} = 264 \text{ мм}^2/\text{мин} \cdot \text{ат.}$$

При фильтрации глинистой пульпы $K = 8,4$ мм²/ (мин · ат).

На примере двух крайних по фильтруемости пульп видно, что величина константы скорости фильтрации изменяется в широких пределах, однако при фильтрации данной пульпы эта константа остается величиной постоянной независимо от изменения других параметров фильтрации.

Оценим погрешность, которая возможна при расчете по приближенной формуле (116) по сравнению с формулой (115). При фильтрации кристаллической руды (прямая 1 на рис. 52) определим величину подкоренного выражения по формуле (115)

$$\sqrt{\frac{2KPt}{AR_0} + h_0^2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 264 \cdot 0,33 \cdot 5}{1,84 \cdot 1,39} + (2,1)^2} = 18,5$$

и по формуле (116)

$$\sqrt{\frac{2,264 \cdot 0,33 \cdot 5}{1,84 \cdot 1,39}} = 18,4.$$

Следовательно, при расчете по приближенной формуле (116) погрешность незначительна.

Потери напора в слое кеков и фильтроткани. На основании уравнений (121) и (122) получим

$$(v_1 + v_0)^2 = 2KPAR_0t. \quad (130)$$

Из уравнения (127) находим общие потери напора при фильтрации

$$P = \frac{(v_1 + v_0)^2}{2KAR_0t}, \quad (131)$$

где v_1 — объем фильтрата, полученный с единицы площади фильтра в течение времени t ; v_0 — сопротивление фильтроткани, выраженное в единицах объема фильтрата.

При $v_0=0$ по формуле (131) находим потери напора только в слое кеков без учета фильтроткани

$$P_k = \frac{v_1^2}{2KAR_0t}, \quad (132)$$

или в относительных единицах

$$\varphi_k = \frac{P_k}{P} = \frac{v_1^2}{(v_1 + v_0)^2}. \quad (133)$$

В предыдущем примере при фильтрации сульфидной пульпы (см. рис. 52) в течение 5 мин получен объем фильтрата $v_1 = 4,2$ мл/см² при $v_0 = 0,52$ мл/см². Рассчитаем по формуле (133) относительную величину потери напора в слое кеков:

$$\varphi_k = \frac{(4,2)^2}{(4,2 + 0,52)^2} = 0,79,$$

или 79% от общих потерь напора при фильтрации. Следовательно, потери напора на преодоление сопротивления ткани составили 21% от общих потерь. При фильтрации поддерживался вакуум 0,33 ат, потери напора в слое кеков $0,79 \cdot 0,33 = 0,26$ ат и на преодоление сопротивления ткани 0,07 ат.

При фильтрации глинистой пульпы (см. рис. 52) также в течение 5 мин под вакуумом 0,33 ат получен объем фильтрата 0,5 мл/см² при $v_0 = 0,11$ мл/см², следовательно, согласно формуле (133)

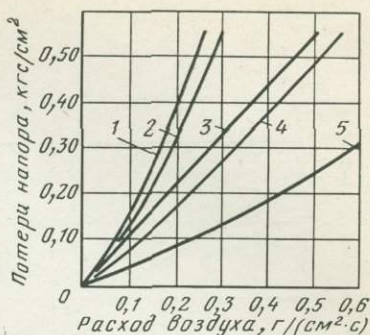
$$\varphi_k = \frac{(0,5)^2}{(0,5 + 0,11)^2} = 0,67.$$

В данном случае на преодоление сопротивления фильтроткани теряется в среднем 33% от общего напора, под действием которого протекает фильтрация.

Гидравлическое сопротивление фильтроткани при фильтрации шламистой пульпы выше, чем при фильтрации кристаллической. Фильтроткань совместно с первым слоем дисперсного

РИС. 53. ПОТЕРИ НАПОРА В ОБРАЗЦАХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА ВОЗДУХА:

1 — лавсан арт. 56049; 2 — капрон арт. 56027; 3 — пористый металл ФНС-5; 4 — фильтро-
маткань арт. 2031; 5 — лавсан арт. 4264



осадка имеет более высокое сопротивление, чем при взаимодействии с кристаллическим осадком. Рассмотренный способ расчета позволяет определить отдельно средние величины потерь напора в слое кеков и в фильтроткани.

На рис. 53 на примере фильтрации воздуха показана зависимость перепада давления ΔP образцов фильтрующих материалов от расхода воздуха [58].

Потери напора на преодоление сопротивления ткани даже при фильтрации одной и той же суспензии не являются постоянными и находятся в зависимости от скорости фильтрации. В первый момент набора кеков скорость фильтрации высокая и почти весь напор расходуется на преодоление сопротивления ткани. В дальнейшем по мере роста толщины слоя кеков потери напора в этом слое постепенно возрастают, соответственно понижается скорость фильтрации и снижаются потери напора на преодоление сопротивления ткани. Между тем указанное сопротивление, выраженное в единицах толщины слоя кеков, сохраняет постоянное значение в течение всего цикла фильтрации данной пульпы независимо от потери напора и скорости фильтрации. Поэтому выражение гидравлического сопротивления фильтроткани или другого фильтрующего материала в единицах толщины слоя кеков упрощает как уравнения, описывающие процесс фильтрации, так и соответствующие расчеты.

IX.3. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ФИЛЬТРОВ

Снижение производительности фильтров. Сопротивление тканей при фильтрации вследствие их засорения достигает значительной величины и существенно снижает производительность фильтров. На рис. 54 приводится кривая, показывающая снижение производительности рамных фильтров в зависимости от величины сопротивления ткани при фильтрации кварцево-глинистой руды, измельченной до 90% класса — 74 мкм (ще-

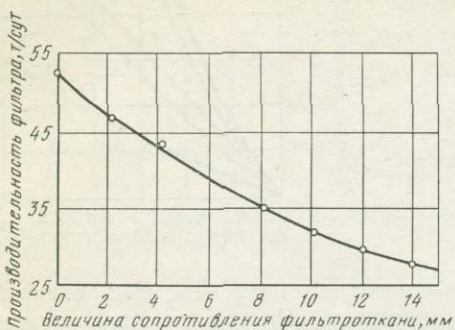


РИС. 54. ВЛИЯНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТКАНИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАМНОГО ФИЛЬТРА

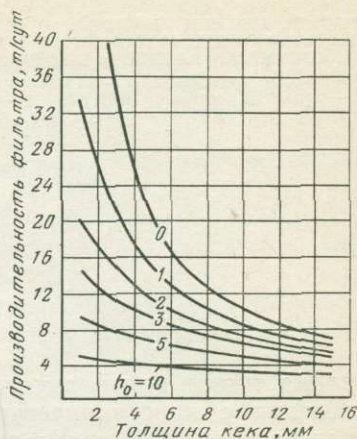


РИС. 55. ВЛИЯНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТКАНИ h_0 НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БАРАБАННОГО ФИЛЬТРА

лочность пульпы 0,01—0,03 СаО). Значительно влияет гидравлическое сопротивление ткани и на производительность барабанных и дисковых вакуум-фильтров. Графики, приведенные на рис. 55, показывают снижение производительности барабанных фильтров в зависимости от сопротивления ткани при разной толщине слоя кеков. Производительность фильтров определяли при условии полного съема кеков. Особенно существенно влияет на производительность фильтров сопротивление ткани при малой толщине слоя кеков, соответствующей быстрому вращению фильтра. При длительной работе ткани по мере роста ее сопротивления при фильтрации растет и влажность кеков. Сопротивление фильтровальной ткани вследствие ее засорения является важным фактором, определяющим производительность фильтров.

Цементирующие засорения. Кривые, описывающие рост сопротивления фильтровальных тканей, вследствие цементирующих засорений обычно имеют перегиб и состоят из горизонтальной и восходящей ветвей. Горизонтальная ветвь соответствует индукционному периоду, а восходящая ветвь отражает возрастающее сопротивление ткани после окончания индукционного периода.

На рис. 56 изображены кривые, характеризующие кинетику роста гидравлического сопротивления ткани фильтродиагональ при фильтрации кварцевоглинистой цианистой пульпы (щелочность 0,01—0,03% СаО) на рамных вакуум-фильтрах. Новая фильтродиагональ в течение длительного времени сохраняла почти постоянное сопротивление. После окончания индукцион-

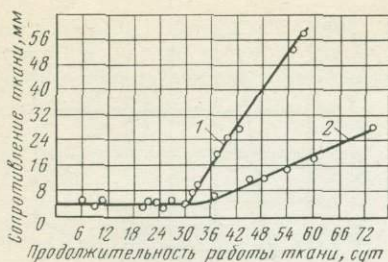


РИС. 56. КИНЕТИКА РОСТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ:

1 — отдувка кеков шахтной (жесткой) водой; 2 — отдувка воздухом

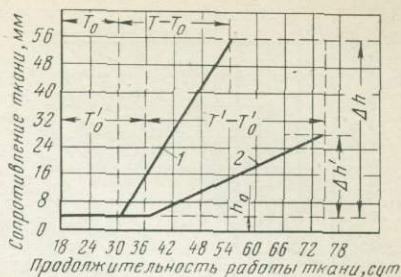


РИС. 57. ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАСОРЯЕМОСТИ ТКАНИ:

1 — отдувка кеков жесткой водой; 2 — отдувка сжатым воздухом

ного периода наблюдался рост сопротивления ткани вследствие интенсивного отложения кальцита на ее волокнах.

Приведенные выше кривые, характеризующие гидравлическое сопротивление ткани h вследствие цементирующих отложений, описываются формулой

$$h_k = h_0 + b(T - T_0), \quad (134)$$

где h_0 — гидравлическое сопротивление новой или восстановленной ткани, выраженное в единицах толщины слоя кеков; T — общая продолжительность работы ткани, сут; T_0 — продолжительность индукционного периода работы ткани, сут; b — коэффициент, характеризующий интенсивность засорения ткани, мм/сут.

На рис. 57 приведена схема графического способа определения численного значения коэффициента b применительно к фильтрации кварцевоглинистой пульпы на рамном фильтре (см. рис. 56).

При отдувке кеков жесткой водой, содержащей бикарбонат кальция (кривая 1),

$$b = \frac{56 - 4}{54 - 30} = 2,25 \text{ мм с/ут}$$

и при отдувке кеков воздухом (кривая 2)

$$b = \frac{28 - 4}{75 - 36} = 0,62 \text{ мм/сут.}$$

В соответствии с уравнением (134) сопротивление ткани в течение послеемдукционного периода растет пропорционально продолжительности ее работы. Цементирующие осадки, например кальцит, кристаллизуются на волокнах ткани, образуя гарнисажи, по мере роста которых растет и сопротивление ткани.

Закупоривающие засорения тканей. При фильтрации шламистых и в том числе глинистых пульп и некоторых флотационных концентратов механизм засорения фильтровальных тка-

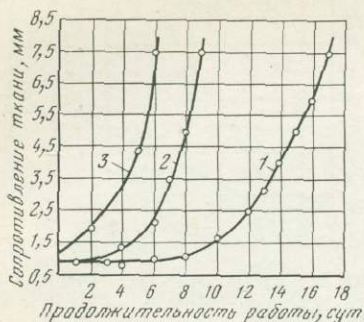


РИС. 58. КИНЕТИКА РОСТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ШЛАМИСТОЙ СИЛИКАТНОЙ ПУЛЬПЫ:

1 — новая ткань; 2 — ткань после первого восстановления; 3 — ткань после второго восстановления (обработка соляной кислотой)

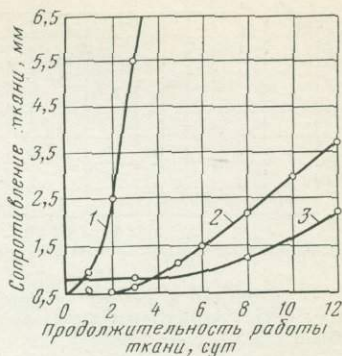


РИС. 59. СОПРОТИВЛЕНИЕ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ФЛОТАЦИОННЫХ КОНЦЕНТРАТОВ:

1 — медный шламистый (окисленный); 2 — медно-пиритный; 3 — пирито-пиритовый концентрат

ней значительно отличается от механизма засорения цементирующими осадками. Дисперсные засорения, в отличие от цементирующих, образуются в порах ткани не путем кристаллизации из метастабильных растворов, а вследствие прилипания частиц к волокнам ткани под действием молекулярных и электростатических сил. Контрольная фильтрация сильно разбавленных суспензий преимущественно протекает по режиму глубокой фильтрации, и фильтровальные ткани утрачивают проницаемость главным образом в результате закупоривающих засорений.

На рис. 58 приведены кривые, характеризующие рост сопротивления фильтроткани вследствие засорения при фильтрации шламистых силикатных пульп. Аналогичный характер имеют кривые роста сопротивления тканей и при фильтрации шламистых флотационных концентратов (рис. 59). При фильтрации шламистых пульп индукционный период работы ткани является небольшим и участок кривой подъема сопротивления после окончания этого периода уже нельзя выразить простейшим уравнением, как это было сделано для цементирующих карбонатных отложений. Однако эти участки кривых (см. рис. 58) спрямляются, если их построить в полулогарифмической сетке (рис. 60). Сопротивление ткани h_k для данного вида засорения можно описать следующим уравнением:

$$h_k = h_0 + h_0 e^{bt} = h_0 (1 + e^{bt}), \quad (135)$$

где h_0 — сопротивление ткани в течение индукционного периода ее работы; b — коэффициент, характеризующий интенсивность засорения ткани; $t = T - T_0$ — продолжительность работы ткани после индукционного периода, сут. После логариф-

мирования уравнения (135) получим формулу для расчета коэффициента интенсивности засорения ткани

$$b = \frac{2,303 (\lg h_k - \lg h_0)}{t}. \quad (136)$$

Для рассматриваемого примера засорения ткани закупоривающими шламистыми осадками получим

$$b = \frac{2,303 (\lg 5 - \lg 1)}{8} = 0,2.$$

На основании формулы (135) сопротивление ткани при $T > 8$ сут и $h_0 = 1$ мм описывается уравнением

$$h_k = 1 + e^{0,2(T-8)}. \quad (137)$$

При работе новой ткани в течение 8 сут сопротивление ее сохраняется постоянным и эквивалентным сопротивлению слоя кека толщиной 1 мм. После окончания индукционного периода в процессе дальнейшей работы сопротивление ее неуклонно растет по экспоненциальному закону. Кривые, выражающие этот рост, имеют вогнутый характер (см. рис. 58), обусловленный прогрессивным ростом сопротивления ткани.

Режим фильтрации с закупоркой пор фильтра (глубинная фильтрация) характеризуется тем, что с течением времени возрастает количество пор на единице площади фильтрующей поверхности, полностью или частично утративших проницаемость вследствие застревания в этих порах частиц или замазывания их шламистой массой. Поэтому относительное снижение проницаемости фильтровальной ткани пропорционально объему v полученного фильтрата на единицу площади фильтрующей поверхности, причем скорость фильтрации (объем фильтрата в единицу времени) определяется уравнением

$$W = W_0 - bv, \quad (138)$$

где W_0 — начальная скорость фильтрации через незасоренную ткань; v — объем фильтрата, прошедшего через единицу площади поверхности ткани; b — константа, характеризующая интенсивность засорения ткани.

Скорость фильтрации является производной от объема фильтрата по времени

$$W = dv/dt = W_0 - bv$$

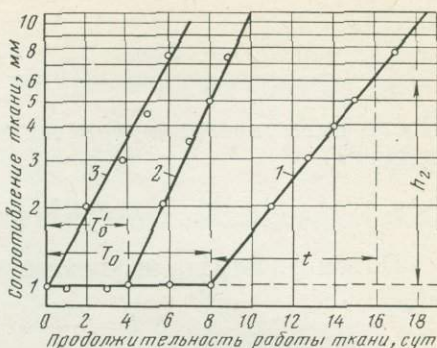


РИС. 60. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЗАСОРЯЕМОСТЬ ТКАНИ:

1 — новая фильтродиагональ; 2 — после первого восстановления; 3 — после второго восстановления (см. рис. 58)

или

$$dt = \frac{dv}{W_0 - bv}. \quad (139)$$

После интегрирования уравнения (139) в пределах от 0 до v получим

$$bt = \ln \frac{W_0}{W_0 - bv}. \quad (140)$$

Объем фильтрата из уравнения (140)

$$v = \frac{W_0}{b} (1 - e^{-bt}). \quad (141)$$

Уравнение (141) определяет скорость фильтрации в зависимости от продолжительности фильтрования. Скорость фильтрации можно найти и из уравнения (138)

$$v = \frac{W_0 - W}{b}. \quad (142)$$

После приравнивания правых частей уравнений (141) и (142) находим скорость фильтрации в зависимости от продолжительности фильтрации t :

$$W = W_0 e^{-bt}. \quad (143)$$

В качестве характеристики сопротивления ткани принимаем условно величину, обратную скорости фильтрации: $R = 1/W$ и $R_0 = 1/W_0$, тогда сопротивление ткани в зависимости от продолжительности ее работы описывается формулой

$$R = R_0 e^{bt}. \quad (144)$$

Формула (144) соответствует второму члену уравнения (135), которое было получено экспериментальным путем. Этим подтверждается, что при фильтрации рассматриваемого вида суспензии механизм засорения ткани обусловлен замазыванием пор шламистым материалом и застреванием частиц, блокирующих открытые поры. Такой механизм засорения пор сопровождается прогрессивным ростом сопротивления ткани в процессе ее работы.

Кинетика роста сопротивления фильтротканей в значительной степени определяется структурными особенностями засорений, закрепляющихся на волокнах тканей.

Очистка (кондиционирование) воды и растворов от механической взвеси на фильтрах протекает по режиму глубинной фильтрации с закупоркой пор фильтрующего материала. В этом случае ресурс фильтрующего материала исчерпывается в течение одного цикла фильтрации. Засоренный материал регенерируется или заменяется новым. Кинетика роста гидравлического сопротивления фильтрующего материала в процессе глубинной

фильтрации под постоянным напором также описывается уравнением (144). Коэффициент интенсивности засорения фильтрующего материала находим путем логарифмирования уравнения (144):

$$b = \frac{2,303 (\lg R - \lg R_0)}{t}. \quad (145)$$

В уравнении (145) R и R_0 заменим их значениями соответственно $1/W$ и $1/W_0$, после чего получим

$$b = \frac{2,303 (\lg W_0 - \lg W)}{t}. \quad (146)$$

Уравнения (143)—(146) получены при условии фильтрации под постоянным напором. Однако в ряде случаев, например при контрольной фильтрации растворов через намывной слой, возникает целесообразность поддерживать постоянную скорость фильтрации путем постепенного повышения внешнего напора для преодоления возрастающего сопротивления. В течение цикла скорость фильтрации сохраняется постоянной, поскольку напор повышается пропорционально возрастающему сопротивлению фильтра. При этом кинетика роста напора P в течение цикла фильтрации описывается уравнением, аналогичным уравнению (144)

$$P = P_0 e^{Kt}, \quad (147)$$

где P — начальная величина напора, кгс/см²; t — продолжительность цикла фильтрации, ч; K — коэффициент, характеризующий интенсивность роста напора.

Значение коэффициента K также находим путем логарифмирования уравнения (147):

$$K = \frac{2,303 (\lg P - \lg P_0)}{t}. \quad (148)$$

СОХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

X.1. ЗАЩИТА ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ ОТ ЗАСОРЕНИЙ

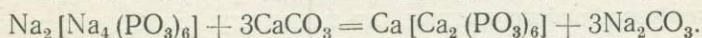
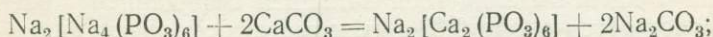
Для обеспечения стабильной производительности фильтров важное значение имеет сохранение и эффективное восстановление проницаемости фильтротканей и других фильтрующих материалов. В большинстве случаев фильтроткани из-за засорения утрачивают проницаемость значительно раньше, чем теряют механическую прочность. Поэтому для увеличения срока службы фильтроткани возникает целесообразность радикального восстановления ее проницаемости. Не менее важное значение имеет и сохранение механической прочности фильтроткани в процессе ее эксплуатации. Фильтроткани повреждаются при воздействии химических и механических факторов. Фильтруемые суспензии, содержащие кислоты, щелочи или окислители, являются агрессивными, особенно в нагретом состоянии и оказывают разрушающее действие на хлопчатобумажные и некоторые синтетические фильтроткани. Механические повреждения фильтротканей при отдувке и устройствами для снятия осадка с фильтрующей поверхности также сокращают срок их службы.

На теплотехнических предприятиях для предотвращения кристаллизации карбонатов на стенках теплообменных аппаратов иногда применяют фосфатирование оборотной воды гексаметафосфатом натрия. С этой же целью в отдельных случаях обрабатывают оборотную воду в магнитном поле. Такая обработка воды, содержащей карбонаты, в значительной степени предотвращает образование прочной карбонатной накипи на стенках теплотехнических аппаратов и трубопроводов. Указанные методы позволяют устранить цементацию карбонатными засорениями фильтровальных тканей и трубопроводов.

О механизме действия фосфатов. По данным лабораторных опытов фосфаты, особенно гексаметафосфат натрия, оказывают эффективное действие в предотвращении образования карбонатных и сульфатных цементирующих засорений в порах фильтротканей и на твердых поверхностях фильтров и трубопроводов [59]. Гексаметафосфат натрия является полимером натриевой соли метафосфорной кислоты (NaPO_3)₆ и может рассматри-

ваться как комплексное соединение $\text{Na}_2[\text{Na}_4(\text{PO}_3)_6]$. Это соединение хорошо растворимо в воде: при 20°C растворяется 973,2 г соли в литре воды, а при 80°C растворимость повышается до 1744 г/л. В водных растворах гексаметафосфат натрия подвергается гидролизу, особенно при повышенной температуре. Минеральные кислоты гидролиз усиливают, а щелочи предотвращают. Конечным продуктом гидролиза является ортофосфат натрия.

Установлено, что уже в присутствии небольшого количества гексаметафосфата натрия прекращается выпадение из раствора малорастворимого карбоната кальция. Механизм действия фосфатов на кристаллизацию кальцита окончательно еще не выяснен, но есть основания полагать, что поверхностно-активные фосфаты сорбируются на поверхности зародышевых кристаллов кальцита. В состав адсорбционного слоя на поверхности кальцита входят продукты реакции гексаметафосфата натрия с карбонатом кальция, при этом кальций входит в комплексный анион:



Комплексы, в состав которых входит кальций, образуют сольватные пленки на поверхности микрокристаллов кальцита, затрудняющие их укрупнение и прекращающие рост кристаллов.

Для стабилизации карбоната кальция достаточно очень малых доз гексаметафосфата натрия, намного меньше, чем это требуется стехиометрически для растворения всего карбоната кальция. Это обстоятельство подтверждает, что гексаметафосфат натрия расходуется только для создания пленки на поверхности кристалликов кальция, а не на полное растворение взвеси карбоната кальция.

Аналогичное действие оказывают растворимые фосфаты и на кристаллизацию сульфата кальция.

Влияние фосфатов на проницаемость фильтротканей. Опыты по фильтрации на лабораторном фильтре растворов и пульпы, содержащих известковую щелочь и бикарбонат кальция, проводили с хлопчатобумажными и капроновыми фильтротканями. Дозировки гексаметафосфата натрия изменяли в пределах от 5 до 100 г/м³ раствора или пульпы. Пульпу (Ж:Т=3:1) готовили из руды, измельченной до 100 меш и содержащей гранодиориты, кварц, гипогенный каолин и сульфиды. Для распулповки употребляли раствор, подщелачиваемый известью. Раствор и пульпу фильтровали отдельными порциями (циклами) из расчета 20 л на 1 м² фильтрующей площади на один цикл. Без добавки фосфата уже после 40 циклов фильтрации отмечалось заметное образование цементирующих отложений в порах

и на волокнах фильтроткани. При этом вследствие увеличения гидравлического сопротивления ткани скорость фильтрации существенно понижалась. При одинаковых условиях фильтрации, но с добавкой в раствор и пульпу гексаметафосфата натрия в количестве 5 г/м^3 , осаждающий карбонат кальция образует сравнительно рыхлые отложения на поверхности волокон и ткань сохраняет более высокую проницаемость (табл. 41).

При увеличении дозировки фосфата до 50 г/м^3 и выше скорость фильтрации не увеличивается. При проведении опытов измеряли поглощение гексаметафосфата натрия тканью и осадками кальцита и руды. При этом обнаружено, что гексаметафосфат натрия в основном поглощается кальцитом и почти не поглощается минеральными составляющими руды. Это подтверждается и тем, что гексаметафосфат натрия улавливается фильтротканью совместно с кальцитом в одинаковых количествах как при фильтрации растворов, так и при фильтрации пульпы. При дозировках гексаметафосфата натрия до 20 г на 1 м^3 раствора свыше 70% его поглощается фильтротканью. При этом на 1 кг осаждающегося кальцита при данной концентрации поглощается около $0,06 \text{ г}$ гексаметафосфата натрия.

Гексаметафосфат натрия, по-видимому, сорбируется на поверхности микрокристаллов кальцита и препятствует образованию сплошных цементирующих отложений на волокнах и в порах фильтротканей. Этим и объясняется благоприятное влияние этого реагента на проницаемость фильтроткани при фильтрации растворов и пульп, образующих кальцитовые и гипсовые отложения. Применение гексаметафосфата натрия представляет интерес при фильтрации пульп и растворов, образующих указанные отложения. Тем более что расход этого реагента незначителен — 5 г на м^3 пульпы или раствора. Применение гексаметафосфата натрия на золотоизвлекательной фабрике при дозировке $2\text{--}5 \text{ г/м}^3$ пульпы позволило увеличить срок службы

Таблица 41

ВЛИЯНИЕ ФОСФАТОВ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЛЬП

Добавки, г/м^3	Продолжительность фильтрации, с		Скорость фильтрации относительная		Задержано тканью засорений, г/м^2	Извлечено фосфатов тканью и кеками	
	1-го цикла	40-го цикла	1-го цикла	40-го цикла		г/м^2	% от загруженного
Нет	32	190	1,0	0,17	525	—	—
5	33	100	1,0	0,33	550	1,1	71,0
10	32	106	1,0	0,31	575	2,3	70,0
20	32	100	1,0	0,33	550	4,7	71,0
50	34	200	1,06	0,16	450	13,1	78,0
100	32	195	1,0	0,16	425	28,8	96,3

фильтроткани с одного до трех месяцев. Аналогичное влияние на работу фильтротканей оказывают тетрафосфат и пирофосфат натрия.

Фосфаты предотвращают образование плотных гипсовых отложений на фильтротканях и в аппаратуре и задерживают выделение осадков, содержащих соединения железа. В присутствии фосфатов осаждение солей кальция не предотвращается, но осадки получаются более рыхлыми и не образуют на волокнах фильтротканей и в трубопроводах плотных сцементированных осадков.

Влияние магнитной обработки воды. Влиянию постоянного магнитного поля на различные технологические процессы, протекающие в водной среде, в том числе и на кристаллизацию солей, посвящено много работ, но механизм этого влияния пока еще не выяснен. Высказано предположение, что магнитная обработка раствора или пульпы оказывает влияние на структуру выпадающих осадков карбоната кальция. Из раствора, не обработанного в магнитном поле, кальцит кристаллизуется в виде плотных осадков (кристаллы ромбической сингонии), а из раствора, обработанного в магнитном поле, карбонат кальция кристаллизуется в форме игольчатых кристаллов арагонита, образующих рыхлые осадки [60]. Однако исследования, проведенные в МЭИ, показали, что магнитное поле не влияет на кристаллическую модификацию твердой фазы солей [61]. При этом доказывалось, что магнитное поле влияет на кристаллизацию карбоната кальция лишь при условии пересыщенности воды или раствора по солям жесткости и при наличии в воде окислов или гидроокислов железа в коллоидной форме. Механизм действия окислов железа остался нераскрытым, но с этими соединениями связывается эффективность обработки воды в магнитном поле с целью осаждения карбоната кальция из пересыщенных растворов в объеме, а не на стенках теплообменников или на поверхности фильтроткани. По данным исследования МЭИ с увеличением напряженности магнитного поля до 4—5 Кэ возрастает дисперсность образующихся кристаллов и увеличивается их количество. Возникшие кристаллы служат затем центрами кристаллизации для выделяющегося из пересыщенного раствора карбоната кальция. Поэтому если раствор пульпы пересыщен по бикарбонату кальция, то обработка ее в магнитном поле снизит отложение кальцита на волокнах ткани. Магнитная обработка не окажет существенного влияния на засорение ткани труднорастворимыми солями кальция, если концентрация солей жесткости в растворе пульпы ниже предела насыщения. Выше отмечалось, что даже ненасыщенный по солям жесткости раствор пульпы в зоне фильтроткани становится пересыщенным, так как вакуум нарушает углекислотное равновесие. При этом происходит кристаллизация труднорастворимых солей кальция из раствора и засорение ткани.

Х.2. УДАЛЕНИЕ ОТФИЛЬТРОВАННЫХ ОСАДКОВ С ПОВЕРХНОСТИ ТКАНИ

Ножевой и валиковый способы. Отфильтрованные осадки стремятся снять с фильтрующей поверхности возможно полнее, чтобы очистить фильтровальную ткань для следующего цикла фильтрации. Арочные отложения первых слоев осадка непрочны связаны с фильтровальной тканью и сравнительно легко удаляются с ее поверхности. Однако при неудовлетворительном съеме осадка арочные отложения переходят в более устойчивые заземленные или закупоривающие засорения ткани.

Применяют ножевой, валиковый (роликовый) съем, сходящим полотном и шнуровой съемы осадков с поверхности барабанных вакуум-фильтров. Ножевой съем осадка до недавнего времени являлся универсальным и применялся для удаления осадков толщиной слоя свыше 6—8 мм. При ножевом съеме требуется отдувка осадка сжатым воздухом 0,4—0,8 кгс/см². Для более полного съема осадка лезвие стального ножа, иногда обрешиненное, располагают почти вплотную к фильтрующей поверхности, что приводит к преждевременному износу ткани. На барабанных фильтрах ткань предохраняется проволоочной обмоткой и съемным ножом повреждается меньше, чем ткань дисковых фильтров. Однако засоренная ткань, снятая с барабанного фильтра, за редким исключением непригодна для регенерации вследствие повреждения ее проволоочной обмоткой (рис. 61).

Сравнительно безопасным для ткани является съем осадка с барабанного фильтра при помощи валика. Осадок, прилипший к валику, снимается ножом. Для снятия липких осадков между валиком и барабаном оставляется зазор, равный толщине осадка, с тем чтобы избежать вдавливание осадка в поры ткани (рис. 62, а). Осадок с валика снимается гребенчатым ножом, который оставляет на ролике кольца осадка. Последние и снимают осадок с фильтра. Валик вращается в направлении, противоположном фильтру, с окружной скоростью, превышающей скорость барабана на 1%. Применяют и устройство для съема осадков, состоящее из двух валиков (рис. 62, б). Валик 3 с налипшим осадком 2 и барабан фильтра 1 вращаются с одинаковой угловой скоростью, но в противоположных направлениях и между их поверхностями имеется зазор. Валики 3 и 5 вращаются в одном направлении, но с разной угловой скоростью, причем частоту вращения валика 5 снижают с увеличением липкости осадка. Валик 5, к которому осадок не прилипает при удалении осадка с валика 3, оставляет на нем тонкий слой осадка 6, способствующий более полному съему осадка с поверхности ткани.

Осадки с фильтрующих секторов дисковых вакуум-фильтров снимают при помощи отдувки их сжатым воздухом при давле-

нии 0,2—0,4 кгс/см². Для более полного съема кеков иногда к выступам корыта фильтра приваривают стальные круглые стержни, выполняющие роль лезвия ножа при съеме осадка. Применяют также загнутые накладки из листовой стали, охватывающие кромки бортов корыта фильтра.

Ножевой и валиковый способы не всегда обеспечивают достаточно полное снятие осадков. Особенно неудовлетворительно снимаются тонкие осадки с высокой влажностью.

В настоящее время для обрушения кеков с поверхности ткани дисковых и барабанных фильтров предпочитают применять *мгновенную* или *импульсную отдувку*. Мгновенная отдувка по сравнению с обычной растянутой во времени отдувкой существенно повышает эффективность обрушения кеков. При растянутой отдувке фильтрат из дренажной системы сжатым воздухом вытесняется обратно к фильтроткани и увлажняет осадок.

Способ мгновенной отдувки кеков впервые был применен на барабанных фильтрах «Нагема» (1952 г.) с внутренней фильтрующей поверхностью на Кировской обогатительной фабрике (АНОФ-1).

В дальнейшем этот способ отдувки был усовершенствован в связи с разработкой новой конструкции клапана мгновенной отдувки. Клапан устанавливают на воздухопроводе между распределительной головкой фильтра и ресивером. Клапан срабатывает от вращающегося профилированного кулачка и обеспечивает мгновенный впуск сжатого воздуха в момент полного совмещения отверстия отдувки ячейковой и распределительной шайб при одновременном перекрытии впуска вакуума. Для

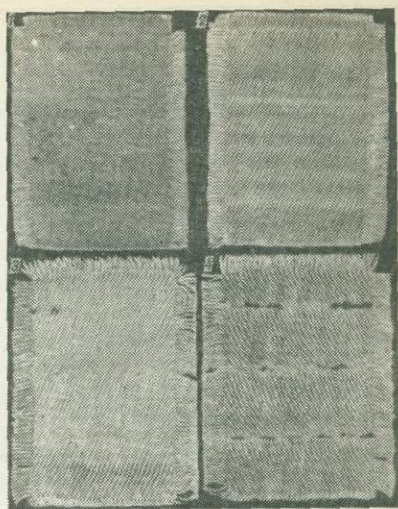


РИС. 61. ЗАСОРЕННАЯ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛЬ С ЛИСТОВОГО (1 и 2) И БАРАБАНОНОГО (3 и 4) ФИЛЬТРОВ:

1 и 3 — соответственно вид с изнанки; 2 и 4 — с лицевой стороны

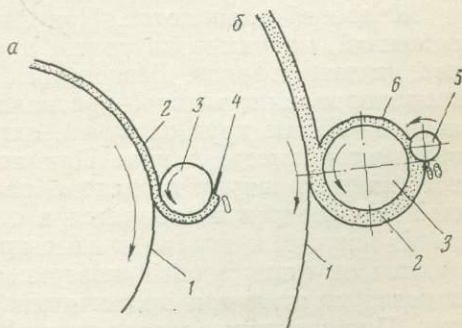


РИС. 62. СЪЕМ ОСАДКОВ (КЕКОВ) С БАРАБАНОНОГО ФИЛЬТРА ПРИ ПОМОЩИ ОДНОГО (а), ДВУХ (б) ВАЛИКОВ

мгновенной отдувки характерно поступление большого объема воздуха, сжатого до 0,3—1,0 кгс/см², в сектор дискового или в секцию барабанного фильтра.

Применение клапана мгновенной отдувки увеличивает зону подсушки кеков на фильтре и повышает эффективность отдувки. Сила прилипания (адгезия) осадка к фильтровальной ткани быстро возрастает с увеличением его влажности (см. рис. 44). Поэтому с ростом влажности осадка снижается и эффективность его отдувки. По данным работы [62] с увеличением влажности шламистых осадков с 24 до 30% коэффициент отдувки снизился с 75 до 25%. Адгезия осадка к фильтроткани коррелируется как с устойчивостью ее против засорения, так и с эффективностью отдувки кеков.

На величину коэффициента отдувки существенно влияет дренажное устройство фильтра. Например, применение капроновой сетки в качестве дренажной подложки под основную фильтроткань повышает эффективность как отдувки кеков, так и очистки пор ткани от засорений. Эффективному обрушению кеков с поверхности ткани и очистке ее пор от засорений при отдувке воздухом способствует резиновая обкладка с рельефной поверхностью (рис. 63). Такая обкладка закрепляется на металлическом остова сектора дискового фильтра и подвергается вулканизации.

Шнуровой съем кеков. При фильтрации весьма дисперсных суспензий, например литопона, применяют шнуровой съем тонких липких осадков. Бесконечные шнуры — прочный корд или капроновое моноволокно, — располагаясь параллельно на расстоянии 6—25 мм друг от друга, охватывают барабан фильтра и вращаются вместе с ним. При помощи оттяжного и прижимного валиков шнуры для съема кеков отделяются от фильтрующей поверхности и отводятся в сторону. Кеки, расположенные выше шнуров и плотно к ним прилегающие, полностью отделяются от фильтрующей поверхности без специальной отдувки и разгружаются при прохождении шнуров через оттяжной валик. При плотном расположении кордных шнуров на барабане они одновременно могут выполнять и роль фильтроткани.

Трудность регулировки равномерного натяжения отдельных нитей и сравнительно частые их обрывы являются общими недостатками корд-фильтров и фильтров со шнуровым съемом осадков.

Съем кеков сходящим полотном. Для фильтрации шламистых суспензий, образующих липкие осадки, успешно применяют барабанные фильтры со сходящим полотном (рис. 64). После съема кеков разгружающим роликом ткань промывается с обеих сторон водяными щетками, что обеспечивает полную очистку ткани от засорений. Наряду с этим трехкратный изгиб ткани при прохождении ее через ролики в значительной степени

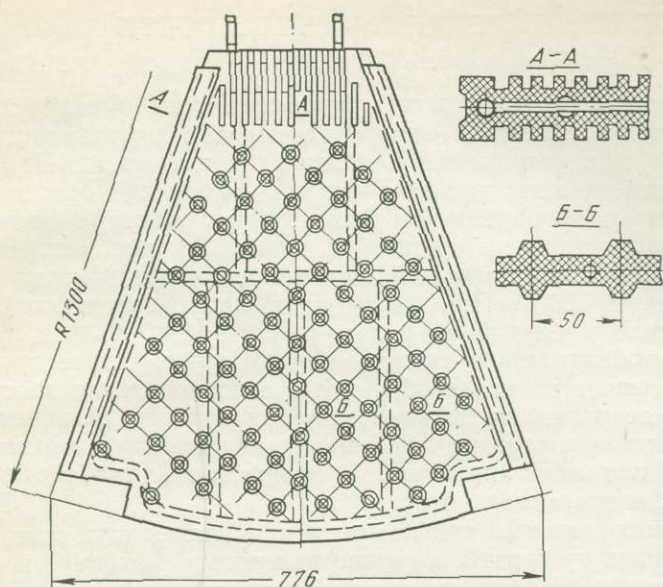
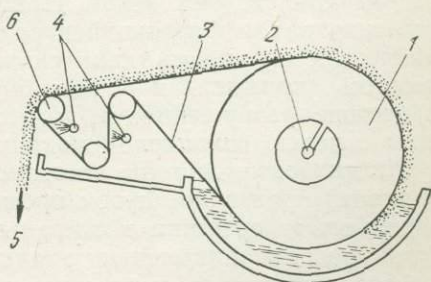


РИС. 63. СЕКТОР ДИСКОВОГО ФИЛЬТРА С РЕЛЬЕФНОЙ РЕЗИНОВОЙ ОБКЛАДКОЙ

РИС. 64. СХЕМА РАБОТЫ БАРАБАНОГО ФИЛЬТРА СО СХОДЯЩИМ ПОЛОТНОМ:

1 — барабан; 2 — распределительная головка; 3 — полотно; 4 — промывка ткани; 5 — обрушение кека; 6 — разгружающий валик



предотвращает закрепление на волокнах ткани инкрустирующих отложений из метастабильных растворов.

Важным конструктивным узлом фильтров со сходящим полотном является устройство, устраняющее смещение ткани в сторону путем центрирования ее относительно барабана.

Для экипировки фильтров со сходящим полотном пригодными являются плотные ткани из капронового или полипропиленового моноволокна с полотняным переплетением. Предусматривается также надежное уплотнение ткани по краям и в местах схода ее с барабана. Например, по краям барабана фильтра «Эймко-белт» имеется уплотнительная полоса шириной 50 мм, обеспечивающая герметизацию ткани. Для этих фильтров фирма «Эймко» (США) применяет полипропиленовую ткань, концы которой соединяются застежкой «молния», что позволяет в течение 30 мин заменить ткань на фильтре [64].

Х.З. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

Соотношение прочности и проницаемости. Фильтроткани в процессе работы из-за засорения нередко утрачивают проницаемость при сохранении механической прочности. На рис. 65 приведены кривые, характеризующие изменение относительной прочности и проницаемости фильтродиагонали при фильтрации различных пульп на рамных и дисковых фильтрах. При построении кривых прочность и проницаемость новой ткани приравнены 100%. При фильтрации кварцевоглинистой, арсенопиритной и баритовой пульп (кривые 1, 2 и 3) в процессе работы проницаемость ткани падает быстрее, чем ее прочность, что указывает на целесообразность восстановления засоренных тканей, сохранивших механическую прочность. В зависимости от характера засорений применяют механические и химические методы для восстановления проницаемости фильтротканей и других фильтрующих материалов.

Рассматриваемые соотношения изменяются при фильтрации агрессивных суспензий, а также вследствие механического повреждения ткани съемным устройством или высокого давления воздуха для отдувки кеков. Например, в отдельных случаях при фильтрации флотоконцентратов на дисковых фильтрах механическая прочность ткани снижалась быстрее, чем ее проницаемость (кривые 4 и 5, рис. 65) и ткань выходила из строя вследствие разрушения. В подобных случаях следует принять меры с целью сохранения механической прочности ткани.

Механические методы восстановления. Механическую очистку тканей производят путем промывки (стирки) водой с добавкой моющего средства в стиральной машине. В качестве моющего средства применяют смачиватель ДБ, который хорошо растворяется в воде, нетоксичен и устойчив при хранении. Синтетические ткани промывают в воде при температуре не выше 50—60°С. В процессе стирки почти полностью восстанавливается проницаемость фильтротканей, засоренных шламистыми

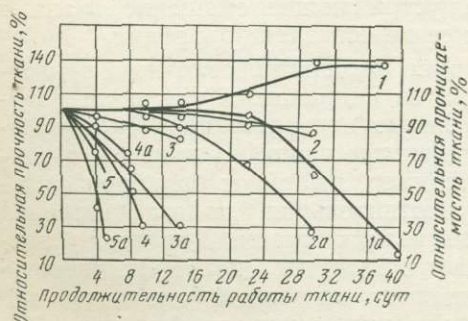


РИС. 65. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ ПУЛЬП:

1 — кварцево-глинистой (известковая щелочь); 2 — арсенопиритной; 3 — баритовой; 4 — пиритной; 5 — флотационной медной шламистой (1—5 — изменение прочности; 1a—5a — изменение проницаемости)

частицами и слабо инкрустированных цементирующими отложениями.

В последнее время на глиноземных заводах применяют гидромониторную очистку оборудования и емкостей, инкрустированных прочными цементирующими отложениями. Этот способ очистки струей воды высокого давления начинают применять и для регенерации засоренных фильтротканей. Например, на Ачинском глиноземном комбинате большие объемы щелочной пульпы после выщелачивания алюминатных спеков фильтруют по методу налива на карусельных фильтрах через капроновую ткань арт. 56159. Эта ткань в течение 20—30 ч работы засоряется цементирующими отложениями белита, кальцита и гидроалюмосиликата натрия и утрачивает проницаемость. Смена ткани связана со значительными простоями фильтра, а регенерация ткани путем обработки ее соляной кислотой на фильтре осложняется коррозией деталей фильтра. Применяют гидромониторный способ регенерации засоренной ткани с помощью струи воды высокого давления — 100 кгс/см² [65].

Для очистки капроновой ткани струей воды непосредственно на паллетах карусельного фильтра используют гидромонитор на передвижном шасси типа «Атюмат» фирмы «Вома» (ФРГ). Установка включает электропривод и насос, развивающий давление до 750 кгс/см², производительность его 4—6 м³/ч. Гидромониторщик промывает ткань при помощи пистолета, создающего веерообразную струю воды под давлением 80—100 кгс/см². Длина струи около 200 мм. Для обработки ткани на одной паллете (2 м²) требуется 3—5 мин.

Новая капроновая ткань работает до полного засорения в среднем 25 ч. После гидромониторной регенерации ткань засоряется в течение 17 ч работы. Гидромониторная регенерация

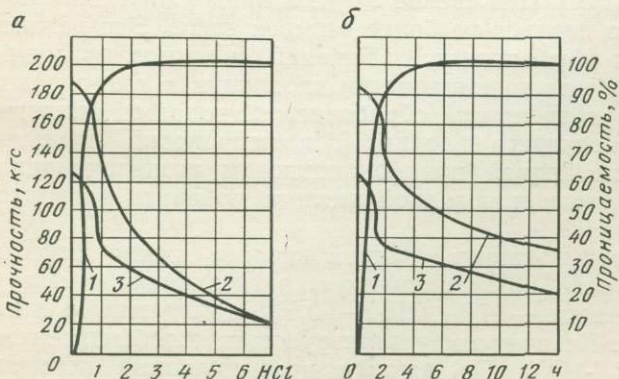


РИС. 66. ИЗМЕНЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОДИАГОНАЛИ ПРИ ЕЕ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ В РАСТВОРЕ:
1 — проницаемость; 2 — прочность по основе; 3 — прочность по утку

позволяет увеличить продолжительность работы капроновой ткани в 1,7 раза, что дает значительный экономический эффект.

В отдельных случаях фильтровальные ткани засоряются гипсом, баритом и другими цементирующими засорениями, которые трудно растворяются в соляной кислоте и других растворителях. Очистка тканей от указанных засорений также производится промывкой их струей воды высокого давления.

Химическая регенерация тканей. Для выщелачивания цементирующих засорений из хлопковых и капроновых фильтротканей лучшим является раствор соляной кислоты, растворяющий карбонатные и другие засорения. Фильтроткань, засоренную карбонатами, промывают в специальных ящиках в растворе соляной кислоты в течение 2—6 ч. Кальцит (CaCO_3), осевший в порах ткани, выщелачивается по известной реакции, при этом вымываются и другие примеси, сцементированные кальцитом.

Кислый раствор может существенно ослабить прочность фильтроткани. В связи с этим были поставлены укрупненные опыты с целью выяснения степени ослабления засоренной фильтродиагонали в зависимости от режима солянокислой обработки [59]. В процессе опытов изменяли концентрацию кислоты и продолжительность обработки. После каждого опыта определяли прочность и проницаемость испытуемых образцов. Результаты опытов представлены в виде графиков (рис. 66). В опытах с переменной концентрацией соляной кислоты (рис. 66,а) продолжительность обработки засоренной ткани поддерживали постоянной (2 ч). В опытах с переменной продолжительностью обработки постоянной брали концентрацию соляной кислоты 2% HCl . Значительное ослабление ткани в условиях регенерации происходит уже при концентрации свыше 2% HCl (рис. 66, б). С точки зрения восстановления проницаемости и сохранения прочности фильтротканей не следует применять растворы концентрацией HCl свыше 2,0%, а продолжительность обработки должна длиться не более четырех часов. Эти режимы выщелачивания карбонатных отложений являются пригодными для восстановления проницаемости хлопковых и капроновых тканей, так как при кислотной обработке наблюдается аналогичное изменение прочности хлопковой и капроновой фильтротканей. Ослабление тканей при солянокислом выщелачивании можно избежать, если к исходной кислоте добавить ингибитор ПВ в количестве 0,8%.

Промывку ткани в соляной кислоте можно активизировать ультразвуком [66]. Рекомендуется следующий состав рабочего раствора: вода — 97%, ОП-7 — 0,5% и 40%-ная соляная кислота — 3 кг. Источником ультразвуковых колебаний служит генератор УЗГ-10М. По данным промышленных испытаний при зазоре между засоренной тканью и излучателем не более 20 мм очистка ткани завершается в течение 3—5 мин.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ

XI.1. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ

ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ

В последнее время в связи с непрерывно возрастающими объемами разделяемых суспензий актуальным вопросом является повышение качества фильтротканей и других фильтрующих материалов. Качественные и количественные показатели процесса фильтрации в большой степени зависят от правильного выбора фильтрующего материала и соответствия его характеру фильтруемой суспензии. При этом учитываются физико-химические свойства, дисперсность, агрессивность, температура и другие особенности разделяемой суспензии. Выше уже были рассмотрены основные требования, предъявляемые к фильтрующим материалам.

При выборе наиболее подходящей фильтроткани наряду с общими соображениями необходимы экспериментальные испытания фильтрующих свойств образцов тканей, отобранных с учетом характера суспензии, поступающей на фильтрацию.

Для экипировки фильтров предложено много вариантов фильтротканей, характеристика и фильтрующие свойства которых рассмотрены выше (см. табл. 1, 3, 5, 7, 33, 34, 35, 36). Применяемый фильтрующий материал для разделения данной суспензии должен иметь экспериментальное обоснование, подтвержденное полупромышленными или промышленными испытаниями. В настоящее время в практике фильтрации применяются синтетические фильтроткани из полиамидных, полиолефиновых и полиэфирных волокон. Применение синтетических тканей взамен хлопчатобумажных в большинстве случаев повышает технико-экономические показатели работы фильтров. Однако хлопчатобумажные фильтроткани пока еще не утратили своего значения и в отдельных случаях оказываются более подходящими по сравнению с синтетическими тканями.

Хлопчатобумажные фильтроткани применяют для фильтрации нейтральных, слабокислых и слабощелочных пульп разного гранулометрического состава при температуре до 100°С и избыточном давлении до 10 ат (см. табл. 3). Из числа таких тканей наиболее распространенными являются: фильтробельтинг, фильтродиагональ и фильтромиткаль.

Наиболее плотную и тяжелую ткань — фильтробельтинг применяют для фильтрации суспензий гидрометаллургического и

химического производств, когда на фильтрацию поступают дисперсные взвеси и предъявляются повышенные требования к чистоте фильтра.

Фильтродиагональ до недавнего времени была наиболее распространенной тканью для фильтрации рудных пульп и других суспензий. Фильтродиагональ по сравнению с фильтробельтингом имеет более высокую проницаемость и устойчивость против засорения и обеспечивает получение сравнительно чистых фильтратов. Однако фильтродиагональ несколько слабее фильтробельтинга, быстрее разрушается в кислой и щелочной средах.

Фильтромиткаль по сравнению с фильтродиагональю тоньше и слабее по прочности, так как имеет меньшее число нитей по основе. Фильтромиткаль также применяется для фильтрации рудных пульп и других суспензий. Срок службы этой ткани сравнительно небольшой, особенно в жестких условиях работы (см. табл. 3).

В отдельных случаях для фильтрации суспензий и очистки растворов применяют тонкие хлопчатобумажные ткани (бязь, миткаль, фланель) [67]. Например, применение суровой бязи на дренажной подложке из мешковины заметно увеличивает производительность фильтра по сравнению с фильтродиагональю при приблизительно равной задерживающей способности (табл. 42).

Изготавливаемые хлопчатобумажные фильтроткани имеют разную плотность и различное удлинение по основе и утку. Нити основы имеют более высокую прочность и способность к растяжению по сравнению с нитями утка. Под напором фильтруемой жидкости нити основы вытягиваются и увеличивают давление на нити утка, способствуя их обрыву. Поэтому разрушение фильтротканей обычно начинается с обрыва уточных нитей. В связи с этим желательно, чтобы фильтроткани имели приблизительно одинаковую прочность и удлинение по основе и утку, что должно увеличить срок их службы.

Таблица 42

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ТКАНИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ
БАРАБАННОГО ВАКУУМ-ФИЛЬТРА, Т/М² В СУТ

Ткань и ее масса	Силикатная пульпа				Пиритосланцевая пульпа — 0,2 мм		
	—0,05 мм		—0,075 мм		3	10	14
	Продолжительность работы ткани, сут						
	3	10	20	4	3	10	14
Фильтродиагональ, масса 1 м ² 590 г	1,40	1,25	1,26	1,74	2,35	3,0	2,1
Бязь на мешковине, масса 1 м ² 154 г	2,00	1,95	2,00	1,94	3,86	3,72	3,60

Общим недостатком хлопчатобумажных фильтротканей является быстрая засоряемость их и, следовательно, малый срок службы. Засорению способствуют наличие ворса и прочное прилипание осадка к хлопковым волокнам (см. табл. 33). Фильтровальная ткань, уложенная на перфорированную поверхность барабанного фильтра, под действием вакуума плотно прижимается (подсасывается) к глухой стенке между дренажными отверстиями барабана и рабочей оказывается лишь часть поверхности ткани, расположенная против проходных отверстий для стока фильтрата. Аналогичное явление возникает и при работе фильтроткани на дисковом вакуум-филт্রে.

В этом отношении имеет преимущество двухслойное фильтрующее покрытие, в котором фильтроткань располагается на дренирующей подложке. Такой дренажной подложкой может служить грубая крупнопористая ткань, например, мешковина для хлопчатобумажной фильтроткани или сетка из синтетического моноволокна для синтетической фильтроткани.

Лабораторные исследования и промышленные испытания показали, что дренажная подложка улучшает фильтрующие свойства хлопковых и синтетических тканей. Применение дренажной подложки позволяет повысить производительность барабанного фильтра на 15—30% и значительно увеличить срок службы фильтровальной ткани [67]. Подложка предохраняет основную ткань от механических повреждений неровностями и кромками металлической перфорированной поверхности и предотвращает коррозию ткани в контакте с металлом. При этом повышается и эффективность отдувки кеков.

В настоящее время взамен хлопчатобумажных фильтротканей все шире применяют ткани из синтетических волокон с лучшими фильтрующими свойствами. Но в отдельных случаях хлопчатобумажные ткани работают лучше синтетических. Например, для экипировки рамных (листовых) фильтров периодического действия синтетические ткани (хлориновые, капроновые и лавсановые) оказались мало пригодными вследствие сползания осадка с их поверхности. При фильтрации шламистых и глинистых золотоцианистых пульп хлопковая фильтродиагональ даже при значительном падении вакуума в периоды выпуска пульпы и зачки промывной воды полностью удерживает кеки на своей поверхности. На рамных фильтрах фильтродиагональ служит в течение 3—5 мес и после промывки с целью восстановления проницаемости применяется повторно.

Прочная хлопковая ткань фильтробельтинг является наиболее пригодным для экипировки автоматических камерных фильтрпрессов ФПАК, которые применяют для фильтрации грубодисперсных и разбавленных суспензий. Фильтробельтинг применяют для фильтрации сульфидных пульп на Норильском ГМК.

По результатам испытаний хлопчатобумажная фильтродиагональ по проницаемости и скорости фильтрации существенно не отличается от капроновых и лавсановых тканей (см. табл. 33—36). Однако по устойчивости против засорения (адгезия осадка) фильтродиагональ существенно уступает капроновым и лавсановым тканям. Поэтому синтетические ткани постепенно вытесняют хлопчатобумажные.

Из числа фильтровальных тканей, изготавливаемых из синтетических волокон, пригодными для фильтрации щелочных, нейтральных и слабокислых суспензий являются капроновые и лавсановые ткани. Причем наибольшее распространение получила капроновая ткань арт. 56035, которую применяют для экипировки барабанных и дисковых вакуум-фильтров. Эта ткань механически прочна, удовлетворительно задерживает тонкую взвесь, но оказывает значительное гидравлическое сопротивление при фильтрации и недостаточно устойчива против засорения.

Высокими фильтрующими свойствами отличаются фильтроткани из полиолефиновых волокон (полипропиленовые и полиэтиленовые), устойчивые в агрессивных средах и против засорения. Полипропиленовые ткани применяют в США и ФРГ для фильтрации различных суспензий.

ХІ.2. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ И СЛАБОЩЕЛОЧНЫХ ПУЛЬП

Фильтрация силикатных пульп. Силикатные пульпы фильтруют в различных отраслях промышленности и в том числе при переработке золотосодержащих слабоминерализованных руд. Например, на фабрике комбината «Балейзолото» испытывали разные виды капроновых и лавсановых тканей. Испытания показали, что для экипировки барабанных фильтров плотные ткани лавсановая арт. 21710/3 и капроновые арт. 21615 и 22059 оказались непригодными. По своим фильтрующим свойствам эти ткани при фильтрации силикатной пульпы не показали преимуществ по сравнению с хлопковой фильтродиагональю, так как через 12—15 сут работы засорились и выходили из строя. Вначале было установлено, что капроновая ткань арт. 56007 значительно превосходит по своим фильтрующим свойствам плотные ткани. Однако дальнейшие испытания показали, что наиболее высокая и стабильная производительность фильтров получается при экипировке их лавсановой тканью арт. 56038, изготавливаемой Ленинабадским шелкоткацким комбинатом (табл. 43).

Лавсановая ткань арт. 56038 показала наиболее высокие фильтрующие свойства, что соответствует приведенным данным

Таблица 43

ПОКАЗАТЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ ЦИАНИСТОЙ СИЛИКАТНОЙ ПУЛЬПЫ
НА БАРАБАННЫХ ФИЛЬТРАХ, ЭКИПИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ ТКАНЯМИ.
(ПОСТОЯННЫЕ УСЛОВИЯ: СТЕПЕНЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ 96—97% КЛАССА — 74 МКМ,
ОТНОШЕНИЕ Ж : Т = 1,6—1,7 : 1,
ВЕЛИЧИНА ВАКУУМА 500—550 ММ РТ. СТ.)

Ткань и артикул	Производительность по твердому		Срок службы ткани до засорения	
	т/(сут·м ²)	относительная	суток	относительный
Фильтродиагональ хлопковая, 2074	1,70	1,0	16	1,0
Капроновая, 56007	2,02	1,18	25	1,56
Лавсановая, 56038	2,18	1,28	30	1,87

лабораторных исследований (см. табл. 35). Поэтому лавсановую ткань применили для экипировки всего парка барабанных фильтров БОУ-40 на указанной выше фабрике.

По качеству фильтрата хлопковая фильтродиагональ превосходит капроновую ткань и бязь на мешковине. Новая капроновая ткань по качеству фильтрата немного уступает фильтродиагонали, но после обработки в 1,5%-ном растворе HCl ее задерживающая способность значительно снижается (табл. 44).

Фильтрация апатитовых пульп. Большие объемы апатитовых концентратов фильтруют на Кировских обогатительных фабриках АНОФ-1 и АНОФ-2. Концентрат представлен почти чистым апатитом и содержит около 14% фракции 100 мкм и 32% класса — 50 мкм. На обеих фабриках концентраты фильтруют на барабанных фильтрах с внутренней фильтрующей поверхностью. На АНОФ-1 работают фильтры Вольфа с пло-

Таблица 44

КАЧЕСТВО ФИЛЬТРАТА ПРИ ФИЛЬТРАЦИИ СИЛИКАТНОЙ ПУЛЬПЫ
С РАЗМЕРАМИ ЧАСТИЦ — 50 МКМ

Продолжительность работы ткани, сут	Содержание твердого в фильтрате, г/л			
	Фильтродиагональ без подложки	С подложкой мешковины		
		Бязь	Капрон арт. 56007, новая ткань	Капрон арт. 56007, восстановленный 1,5% HCl
1	0,64	1,73	0,85	1,35
3	0,71	1,68	0,89	1,00
5	0,78	1,71	0,91	1,39

щадью фильтрующей поверхности 25 м² и на АНОФ-2 — аналогичные фильтры, изготовленные в ГДР (завод им. К. Либнехта), с фильтрующей поверхностью 40 м каждый. Фильтрация протекает под вакуумом 550 мм рт. ст. и при давлении воздуха для пульсирующей отдувки кеков 0,2 кгс/см².

Длительное время для экипировки фильтров на АНОФ-1 применяли хлопчатобумажную ткань чефер, которая при работе в течение трех суток засорялась и утрачивала механическую прочность. Производительность фильтров находилась в пределах 0,60—0,65 т/м·ч. Применение капроновой ткани с подкладкой из капроновой сетки с размерами проходных отверстий 0,2 мм позволило снизить засоряемость фильтрующей среды по сравнению с тканью чефер. На барабанных фильтрах АНОФ-2 капроновая ткань обеспечивает производительность фильтров 0,75 т/(м·ч). Преимущество фильтрующей среды из капроновой ткани с подложкой капроновой сетки из лески вариант 21934-а видно (табл. 45) по результатам промышленных испытаний [68]. Эти испытания проведены на АНОФ-1 на барабанном фильтре с фильтрующей поверхностью 25 м².

Кеки, сформированные на тканях, перечисленных в табл. 45, имеют почти одинаковую влажность — около 11%. Капроновые ткани арт. 56007, 22338 и 22203 обладают приблизительно одинаковой устойчивостью против засорения и существенно не различаются по проницаемости. Но износостойчивость массивных и прочных тканей арт. 22338 и 22203 выше, чем тонкой ткани арт. 56007, так как после восстановления проницаемости они оказались пригодными для повторного употребления, хотя и с меньшим сроком повторной службы. Капроновые ткани по устойчивости против засорения превосходят лавсановую ткань

Таблица 45

ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ БАРАБАННОГО ФИЛЬТРА
С ВНУТРЕННИМ НАЛИВОМ ПРИ ЭКИПИРОВКЕ ЕГО РАЗЛИЧНЫМИ ТКАНЯМИ

Ткань и артикул	Производительность		Содержание твердого в фильтрате		Срок службы ткани до засорения	
	т/(м ² ·ч)	относительная	г/л	относительное	часы	относительный
Чефер в два слоя	0,70	1,0	2,4	1,0	61	1,0
Ткани с подложкой:						
Чефер	0,81	1,15	1,1	0,46	172	2,8
Капроновая:						
56007	0,80	1,14	1,5	0,63	380	6,2
22338	0,76	1,08	1,7	0,71	384	6,3
22203	0,85	1,21	1,8	0,75	400	6,6
Лавсановая	23093	0,74	1,06	4,9	243	4,0

арт. 23096 и тем более хлопковую ткань чефер. Однако был испытан образец лавсановой ткани, не пригодной для данной пульпы. Например, фильтрующие свойства лавсановой ткани арт. 56038 выше соответствующих свойств испытанных капроновых тканей. Такая ткань, по-видимому, является более пригодной для фильтрации апатитовых концентратов. Следует отметить, что в производственных условиях на фабрике АНОФ-2 капроновая ткань превосходит ткань чефер, но быстрее засоряется, и срок службы ее не превышает 5—7 суток, что значительно меньше по сравнению с данными испытаний, приведенными в табл. 44.

На фабриках АНОФ-1 и АНОФ-2 на 80-90 т отфильтрованного концентрата расходуется 1 м² капроновой ткани и на 1400 т концентрата 1 м² капроновой сетки, употребляемой в качестве дренирующей подложки.

Фильтрация железорудных концентратов. Большие объемы мелкозернистых железорудных концентратов фильтруют на горно-обогатительных комбинатах Криворожского бассейна, КМА и других комбинатов. Показатели фильтрации концентратов на дисковых фильтрах с применением хлопковой и синтетических фильтротканей на ЮГОКе приведены в табл. 46.

По данным указанных испытаний срок службы лавсановой ткани в четыре раза больше, чем хлопчатобумажной. По этому показателю капроновая ткань арт. 56035 уступает лавсановой арт. 56049. Однако механическая прочность лавсановой ткани данного артикула оказалась недостаточной для эксплуатации ее на дисковых фильтрах. Поэтому на Криворожских ГОКах для экипировки дисковых фильтров в 1963 г. взамен хлопковой фильтродиагонали применили более прочную капроновую ткань

Таблица 46

ПОКАЗАТЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ КРИВОРОЖСКИХ
ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ
НА ДИСКОВЫХ ФИЛЬТРАХ, ЭКИПИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ ТКАНЯМИ

Ткань и артикул	Содержание в пульпе класса —50 мкм, %	Вакуум, мм рт. ст.	Производительность, т/(ч·м ²)	Влажность кеков, %	Срок службы ткани, ч	Относительная износостойчивость
Хлопковая фильтродиагональ, 2074	78,8	360	0,94	10,6	70	1,0
Капроновая, 56035	81,7	360	0,78	10,9	250	3,56
Лавсановая, 56049	90,0	400	0,70	10,9	300	4,29
Нитроновая, N 28	79,0	400	0,82	9,7	50	0,71
Капроно-лавсановая, 23082	80,1	350	0,83	11,5	75	1,07
Нитроно-лавсановая	78,1	350	0,86	11,1	50	0,71

арт. 56035 (см. табл. 46). Например, на ЮГОКе капроновая ткань при фильтрации концентратов служит около 300 ч. Удельная производительность фильтров достигает 0,6—0,7 т/(м²·ч) при влажности кеков 11%. При этих же условиях хлопковая фильтродиагональ служила 70—80 ч. Удельная производительность фильтров и влажность кеков существенно не изменились при замене фильтродиагонали лавсановой или капроновой тканью.

В процессе фильтрации мелкозернистых железорудных концентратов капроновая ткань по сравнению с лавсановой интенсивнее цементируется карбонатом кальция. Поэтому для фильтрации таких концентратов пригодной является лавсановая ткань арт. 56038 или ткань с другими заправочными коэффициентами, которая по механической прочности должна превосходить ткань арт. 56049.

В капроно-лавсановой ткани (арт. 23082) основа представлена капроновым моноволокном (леска), а уток — крученой нитью из лавсанового штапельного волокна. Такие комбинированные ткани по сравнению с однородными прочнее удерживают осадок на поверхности фильтра, но по устойчивости против засорения и по износоустойчивости они значительно уступают капроновой и тем более лавсановой ткани.

На Коршуновском ГОКе при фильтрации магнетитовых концентратов на дисковых вакуум-фильтрах применяют капроновую ткань арт. 56035 и хлориновую арт. 86006. Примерно шесть секторов каждого диска экипируют капроном и шесть хлорином. Капроновые и хлориновые салфетки на диске чередуются через сектор. Целесообразность одновременной эксплуатации двух видов тканей не имеет достаточного обоснования и обусловлена наличием фильтротканей.

Пульпа, поступающая из дешламаторов на фильтрацию, содержит твердого 52—60% при содержании фракции тоньше 74 мкм около 56% (53—59%). Удельная производительность по твердому в отфильтрованном осадке в среднем для капроновой ткани 0,5—0,6 и для хлориновой 0,7—1,0 т/(м²·ч). По данным рудоиспытательной станции при фильтрации на лабораторном фильтре фильтрат капроновой ткани содержит твердой взвеси 5—7 г/л и хлориновой 6 г/л. Фильтрат промышленных фильтров содержит больше твердого, особенно после хлориновой ткани, которая часто повреждается. Поврежденные участки ремонтируют на месте путем наложения хлориновых заплат и закрепления их клеем БФ.

Осадки, снятые с капроновой ткани, содержат влаги 10,0—11,0%, и хлориновой — 10,4—11,2%. При совместной работе обеих тканей кеки имеют влажность в среднем 10,5%. По техническим условиям влажность кеков должна быть не выше 10%.

Хлориновая ткань имеет недостаточную прочность для фильтрации магнетитовой пульпы и примерно через 40 ч работы вследствие частичного разрушения возникает необходимость ее ремонта или смены. Капроновая ткань значительно прочнее хлориновой, однако через 50—60 ч работы вследствие засорения пропускная способность ее снижается, а после 100 ч эксплуатация этой ткани нецелесообразна.

Из числа образцов тканей, испытанных в промышленных условиях рудоиспытательной станцией Коршуновского ГОКа заслуживает внимания лавсановая ткань с саржевым переплетением вариант Т. Т. 536. Эта ткань по своим фильтрующим свойствам значительно превосходит капроновую арт. 56035 и хлориновую арт. 86006. В течение 215 ч работы средняя удельная производительность фильтра, экипированного тканью 536, составила 1,3 т/(м²·ч). Следовательно, лавсановая ткань Т. Т. 536 превосходит капроновую арт. 56035 в два раза по удельной производительности и в 3—4 раза по ресурсу фильтрации. Расход капроновой фильтроткани (м²) на 100 т отфильтрованных железных концентратов на ОФ горно-обогатительных комбинатов: Соколовско-Сарбайского 0,33; Северного 0,5; Южного 0,64; Ингулецкого 0,66; Коршуновского 0,73; Ново-Криво-жского 0,83; Центрального 1; Качканарского 1,2.¹

Фильтрация сульфидных пульп. При фильтрации сульфидных флотационных концентратов также выявляется преимущество фильтровальных тканей из синтетических волокон по сравнению с хлопковыми. Это преимущество и в данном случае определяется сравнительно высокой устойчивостью синтетических тканей против засорения. Например, прочность прилипания меднопирротиновых и пентландитопирротиновых кеков к поверхности капроновых тканей арт. 56007, 56035, 22208 и 23254 в 3—4 раза меньше, чем к хлопковой фильтродиagonали (см. табл. 33). В соответствии с этим срок службы тканей арт. 56035 и 56007 до засорения примерно в 3 раза больше, чем хлопковой фильтродиagonали.

Устойчивой против засорения является также и лавсановая ткань арт. 56038. Для экипировки дисковых фильтров ткани должны обладать достаточной механической прочностью. В этом отношении пригодными являются фильтровальные ткани арт. 56035 и 56038. Например, капроновую ткань арт. 56035 применили для фильтрации сульфидных концентратов на Алмалыкской (1967 г.), на Гайской (1968 г.) и на других обогатительных фабриках. В результате замены хлопковой фильтродиagonали капроновой тканью для экипировки дисковых фильтров получен значительный экономический эффект.

Промышленные испытания по фильтрующим свойствам

¹ Расход фильтротканей рассчитан по данным Справочника по обогащению руд. (М., «Недра», 1974).

хлопчатобумажной фильтродиагонали и капроновой ткани арт. 56035 проведены на обогатительной фабрике СУМЗа. Установлено, что при фильтрации пиритных концентратов на дисковых вакуум-фильтрах указанные ткани являются равноценными как по производительности, так и по влажности кеков. Однако по устойчивости против засорения капроновая ткань значительно превосходит хлопчатобумажную фильтродиагональ. Фильтродиагональ арт. 2074 в течение двух недель работы засоряется и выходит из строя. Капроновая ткань арт. 56035 служит в течение 6 недель, срок службы капроновой ткани в три раза больше, чем фильтродиагонали. По данным экспрессного метода определения засоряемости также получено, что адгезия сульфидного кека на фильтродиагонали арт. 2074 в три раза больше, чем на капроне арт. 56035 (см. табл. 33). Следовательно, по адгезии осадка можно судить об устойчивости ткани против засорения.

Промышленные испытания фильтротканей из синтетических волокон проведены на Алмалыкской ОФ при фильтрации медных сульфидных концентратов [70]. Показано, что капроновые ткани арт. 56035 и 23254 имеют идентичные показатели по удельной производительности и влажности кеков. Лавсановые ткани арт. 23108, а также ткань арт. 56038 по своим фильтрующим свойствам значительно превосходят упомянутые капроновые ткани. Производительность дискового фильтра с лавсановой тканью выше на 25—27%, а влажность кеков ниже на 1,5—2%. По устойчивости против засорения и сроку службы лавсановые ткани также имеют преимущества перед капроновыми. По данным указанных испытаний удовлетворительными фильтрующими свойствами обладает и полиэтиленовая ткань арт. 23279.

Для фильтрации сульфидных и несульфидных пульп предложена капроновая ткань арт. 23254 [71]. Основой ткани служит капроновая леска диаметром 0,13 мм и утком — капроновая штапельная пряжа N 22/1. Число нитей на 1 см по основе 35 и по утку 13. Переплетение ткани — саржа 2/1. Серийный выпуск ткани организуется на киевской фабрике «Техноткань». Предполагаемая стоимость ткани 3,6 руб. за 1 м. Указывается, что при фильтрации сульфидных концентратов ткань арт. 23254 не засоряется в течение всего периода работы (90—100 сут) вплоть до механического ее разрушения.

Фильтрующие свойства образцов ткани арт. 23254 наряду с другими тканями были исследованы по изложенной выше методике (см. гл. VII) на примере фильтрации сульфидных и несульфидных пульп и пульпы красного шлама (см. табл. 33, 35 и 36). Прилипаемость осадков к волокнам ткани 23254 меньше, чем к другим синтетическим тканям и тем более к хлопковой фильтродиагонали. Ткань арт. 23254 в значительной степени заполнена гладкой капроновой леской, к которой слабо прили-

пает осадок. Слабая прилипаемость осадка к данной ткани обуславливает ее повышенную устойчивость против засорения. Однако ткань арт. 23254 обладает недостаточной задерживающей способностью по отношению к дисперсной фазе пульпы и выдает более замутненный фильтрат по сравнению с капроновыми тканями арт. 56027, 56035, 24282 и др. Для надежной оценки фильтрующих и эксплуатационных свойств новой ткани наряду с лабораторными исследованиями требуются промышленные испытания в условиях, соответствующих работе ткани в будущем. При фильтрации сульфидных и несульфидных пульп дренажирующая подложка, например капроновая или полиэтиленовая сетка, увеличивает срок службы фильтровальной ткани и повышает производительность фильтра. Из рассмотренных фильтротканей для фильтрации рудных пульп и в том числе продуктов обогащения все еще преимущественно применяют капроновую фильтроткань арт. 56035, которая в среднем служит в течение 700—900 ч непрерывной работы. Средний срок службы хлопковых фильтротканей 200—300 ч работы. Например, только в цветной металлургии ежегодно расходуется синтетической фильтроткани порядка 200 тыс. м и хлопковой—400 тыс. м [71]. Удельный расход ткани, отнесенный к 1 т руды, поступающей на обогащение, сравнительно небольшой и составляет 0,01—0,7 м на 100 т переработанной руды. Расход ткани, отнесенный к 100 т концентрата, в несколько раз выше.

XI.3. ФИЛЬТРАЦИЯ ЩЕЛОЧНЫХ И КИСЛЫХ ПУЛЬП

Щелочные пульпы. Большие объемы щелочных пульп и растворов фильтруют в производстве глинозема. На фильтрацию поступают гидратные пульпы, содержащие гидроокись алюминия, белитовый шлам, содержащий двухкальциевый силикат—остаток от выщелачивания нефелиновых спеков. При переработке бокситов на глинозем по способу Байера фильтруют красный (байеровский) шлам, содержащий дисперсные окислы и гидроокислы железа (остаток от выщелачивания бокситов).

Для фильтрации щелочных пульп пригодными являются капроновые ткани, обладающие удовлетворительными фильтрующими свойствами и устойчивостью в щелочной среде. Например, при фильтрации красных шламов производительность фильтров с капроновыми тканями на 20—25% выше, чем с хлопковой фильтродиагоналию. Последняя к тому же при фильтрации нагретой щелочной пульпы выходит из строя через несколько часов работы вследствие засорения и химического разрушения. Прилипаемость кеков к капроновым тканям в несколько раз меньше, чем к фильтродиагонали, что свидетельствует о высокой устойчивости капроновых тканей против засорения (см. табл. 33).

Для фильтрации красных шламов (температура 60—70°С, щелочность 30—40 г/л по Na_2O) пригодными являются капроновые ткани арт. 56023, 56035 и 24299, обладающие достаточной прочностью для экипировки барабанных и дисковых фильтров. При фильтрации красного шлама ткань арт. 56023 служит в течение 7 сут при непрерывной работе. В качестве подложки под капроновую ткань укладывают мешковину. Применение вместо мешковины капроновой или полиэтиленовой сетки, например арт. 21934-а, увеличит срок службы фильтровальной ткани, повысит эффективность отдувки кеков и производительность фильтра.

В зарубежной практике для фильтрации красного шлама применяют фильтроткани из полиолефиновых и рислановых волокон и металлические сетки из нержавеющей стали. Например, на заводе «Липпеверк» (ФРГ) при фильтрации красного шлама рислановые и полипропиленовые фильтроткани служат от 1 до 1,5 тыс. ч, а сетки из хромоникелевой стали служат 6 тыс. ч [72].

В процессе фильтрации под вакуумом нагретого красного шлама интенсивно испаряется влага в зоне фильтроткани, что способствует разложению метастабильного раствора и инкрустации волокон ткани, поэтому рекомендуется через 1—2 дня работы промывать ткань на фильтре струей воды высокого давления.

Неблагоприятные условия работы фильтровальной ткани возникли при фильтрации белитового шлама на карусельных фильтрах, работающих на Ачинском глиноземном комбинате. Твердая фаза пульпы в основном представлена двухкальциевым силикатом и содержит до 35% фракции тоньше 50 мкм. В пульпе отношение $\text{Ж}:\text{Т}=1,2:1$, жидкая фаза — алюминатный раствор имеет каустический модуль (молярное отношение $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$), равный 1,6. Пульпу фильтруют при температуре 80°С. Содержание твердой взвеси в фильтрате не допускается более 3 г/л.

Для экипировки карусельных фильтров применяют капроновые ткани арт. 56159 и 56023. При концентрации раствора по Al_2O_3 60—80 г/л ткань служит 20 ч. Ткань, засоренную цементирующими осадками, промывают, для восстановления ее проницаемости (см. гл. X). Цементация ткани при фильтрации белитовой пульпы усиливается в периоды подсушки кеков на паллетах фильтра. Расход капроновой ткани — 0,6 м² на 1 т глинозема при стоимости ее 6,35 руб. за 1 м². Промывка ткани и частая смена ее связаны с остановками фильтров и применением немеханизированного труда. Все это отражается на пердеде фильтрации белитового шлама.

При подборе фильтроткани для экипировки карусельных фильтров были испытаны десятки образцов отечественных и импортных синтетических тканей, из числа которых не оказа-

лось ткани, удовлетворяющей требованиям производства. Для фильтрации данной пульпы пригодными являются патронные фильтры или барабанные фильтры со сходящим полотном. При работе патронных фильтров ткань не соприкасается с воздухом и меньше цементируется (см. гл. VIII) [56]. На фильтрах со сходящим полотном энергичная двусторонняя промывка ткани в течение каждого цикла фильтрации и трехкратный изгиб ее при прохождении через ролики (см. рис. 65) в значительной степени предотвращают закрепление на волокнах ткани цементирующих засорений.

При производстве глинозема по способу Байера щелочные гидратные пульпы, полученные после декомпозиции алюминатных растворов, фильтруют на барабанных и дисковых фильтрах, экипированных капроновой тканью арт. 56023 и 56159. Пульпа сравнительно грубодисперсная и содержит около 80% частиц крупнее 45 мкм и только 1,5—2% мельче 10 мкм. Для наиболее полной отмывки щелочи пульпу фильтруют в два или три приема (стадии) с промежуточной репульпацией кеков горячей водой. На 1, 2 и 3-й стадиях промывки ткань арт. 56023 служит соответственно 15—30, 10—15 и 4—30 сут [73]. По мере отмывки щелочи усиливается засорение ткани осадком гидроксида алюминия и гидроалюмосиликатом натрия.

По данным испытаний [74] при фильтрации гидратной пульпы на дисковых фильтрах капроновая ткань арт. 56159 служит 10—12 сут. При этом фильтрат содержит гидроксида алюминия 28 г/л, поэтому требуется дополнительная очистка фильтрата путем отстаивания или фильтрации.

Стоимость капроновой ткани арт. 56159 довольно высокая—6,35 руб за 1 м². При производстве глинозема по способу спекания отдельные заводы для фильтрации гидратной пульпы на барабанных фильтрах применяют дешевую и доступную ткань, например миткаль, которую располагают на мешковине и закрепляют проволоочной обмоткой. Применяют миткаль и в два слоя. Такая ткань обеспечивает получение сравнительно чистого фильтрата. Миткаль служит 5—7 сут. и применение его связано с частыми перемотками барабанных фильтров.

Капроновые фильтроткани применяют и для фильтрации красных шламов, полученных после выщелачивания бокситов. На фильтрацию направляют сгущенную пульпу после 1 или 2-й ступени промывки. Фильтрация красных шламов особенно целесообразна при переработке бокситов по схеме Байер—спекание (Павлодарский алюминиевый завод). Красные шламы фильтруют на барабанных вакуум-фильтрах с верхней промывкой кеков [75]. В схеме Байер—спекание не требуется тщательной промывки кеков и поэтому возможно применение дисковых фильтров.

Красные шламы представлены тонкодисперсной щелочной суспензией с высоким содержанием окислов железа и поэтому

возникают затруднения при их фильтрации. К фильтротканям предъявляются повышенные требования устойчивости против засорения и разрушения, а также задерживающей способности и проницаемости. Выше (см. гл. VII) были рассмотрены результаты исследования фильтрующих свойств синтетических фильтротканей при фильтрации красных шламов (см. табл. 33). Наиболее пригодные ткани из числа исследованных для фильтрации таких суспензий приведены в табл. 37. На зарубежных глиноземных заводах (Франция, ФРГ, США) для фильтрации красных шламов применяют ткани из полипропилена и рильсана (найлон 11). Эти ткани прочны, не разрушаются в щелочной среде и устойчивы против засорения, срок их службы до 1,5 тыс. ч. Применяют также тонкопористые гладкие ткани из тонкой хромоникелевой проволоки с вплотную прибитыми уточными нитями (ФРГ). Металлические нержавеющие ткани весьма устойчивы против засорения и служат до 6 тыс. ч.

Шламистые кеки с толщиной слоя 3 мм снимают с поверхности барабана фильтра при помощи валика, осадок с которого срезают гребенчатым ножом (см. рис. 63, а). Для фильтрации красных шламов применяют и фильтры со сходящим полотном с непрерывной промывкой ткани с обеих сторон.

Кислые пульпы. При фильтрации кислых суспензий и растворов преимущественно применяют хлориновые и полипропиленовые ткани. Хлориновые ткани вполне устойчивы в кислых и щелочных средах при температуре до 70°С. По устойчивости против разрушения в кислых средах хлориновые фильтроткани в несколько раз превосходят шерстяные и тем более хлопковые ткани. При фильтрации кислых и щелочных пульп срок службы хлориновой ткани значительно больше, чем хлопковой фильтродиагонали, а при фильтрации нейтральных и слабощелочных пульп хлопковая ткань служит дольше хлориновой и обеспечивает получение более чистых фильтратов.

Хлориновые ткани бельтинг и фильтродиагональ применяют для экипировки фильтров в производстве экстракционной фосфорной кислоты, фосфатов, борной кислоты, фтористых и кремнефтористых солей и для фильтрации других кислых и агрессивных суспензий. В сернокислотном производстве для фильтрации весьма агрессивной суспензии селенового шлама также применяют хлориновую ткань.

Хлориновым тканям свойственны и существенные недостатки, ограничивающие применение их для фильтрации минеральных суспензий. Хлориновые ткани, особенно штапельные, имеют невысокую механическую прочность и легко повреждаются устройствами для съема осадка с поверхности фильтра. Открытые поры хлориновой ткани вследствие малой устойчивости ее против истирания постепенно расширяются при фильтрации, при этом существенно снижается и задерживающая способность ткани по отношению к твердой взвеси. Недостаточную тонкость

фльтрации хлориновой ткани можно устранить путем предварительной обработки ее горячей водой при температуре 85—90° С. При этом снижается открытая пористость ткани и повышается ее задерживающая способность по отношению к твердой взвеси, но при «заварке» в горячей воде происходит значительная усадка ткани и существенно возрастает ее гидравлическое сопротивление. Этот способ повышения тонкости фильтрации хлориновой ткани иногда применяют при фильтрации небольших объемов агрессивной суспензий при необходимости получения чистого фильтрата.

XI.4. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СЕТОК

Для фильтрации применяют тканые сетки из металлической проволоки (стальные, латунные, бронзовые) и сетки из капроновой, полипропиленовой или лавсановой лески (моноволокно). Стальные сетки применяют для фильтрации щелочных суспензий. В производстве глинозема стальные сетки используют в качестве дренажной основы для формирования бумажного намывного слоя (см. гл. III). Такие сетки применяют и для экипировки барабанных вакуум-фильтров, предназначенных для фильтрации сильнощелочной затравочной гидроокиси алюминия с размерами частиц 40—70 мкм. Для этой цели оказалась пригодной венгерская стальная сетка саржевого одностороннего переплетения с диаметром проволок основы 0,17 мм и утка 0,13 мм, число нитей по основе 12 и по утку 60 на 1 см. Сетка имеет высокую проницаемость и удовлетворительную задерживающую способность по отношению к осадку гидроокиси алюминия. Стальная сетка арт. 28360 по своим фильтрующим свойствам уступает венгерской сетке по тонкости фильтрации и сроку службы. Производительность фильтра с сеткой арт. 28360 выше, чем с капроновой тканью, но при этом возрастает влажность кеков и повышается содержание взвеси в фильтрате до неприемлемой концентрации (15—20 г/л).

Тонкие стальные сетки применяют для фильтрации известкового щелочного шлама в процессе каустификации содовых растворов и для других сильнощелочных суспензий. Однако тонкая сетка из обычной углеродистой стали является непригодной для фильтрации слабощелочных и нейтральных пульп вследствие быстрого засорения и окисления ее с последующим разрушением тонкой проволоки. Для фильтрации нейтральных и щелочных пульп больше подходят сетки из нержавеющей хромоникелевой стали, фосфористой бронзы и латуни. Сетки из нержавеющей стали прочнее латунных и бронзовых, но стоимость их высокая. 1 м² бронзовой сетки стоит около 5 руб., а стальной — 20—40 руб. в зависимости от номера сетки и марки стали.

При фильтрации шламистых пульп металлические сетки не обеспечивают достаточную тонкость фильтрации и пропускают зашламленный фильтрат. При фильтрации гидromеталлургических пульп и некоторых продуктов обогащения к задерживающей способности фильтровальной ткани предъявляются повышенные требования и металлические сетки оказываются не всегда пригодными. В других случаях, например при фильтрации угольной мелочи, умеренная зашламленность фильтрата является допустимой и сетки применяют в качестве основного фильтрующего материала.

В последнее время металлические сетки успешно заменяют полимерными. Например, для фильтрации угольной мелочи применяют тканые сетки из капронового и полипропиленового моноволокна (лески). Лески из полимерных материалов по механической прочности не уступают металлической проволоке, но значительно превосходят ее по фильтрующим свойствам и устойчивости против коррозии [76].

На углеобогатительных фабриках фильтруют флотационные концентраты и другую угольную мелочь. Путем фильтрации обезвоживают и хвосты флотации с целью возврата в процесс воды и получения обезвоженного высокозольного продукта, пригодного для сухого складирования. Для фильтрации угольной мелочи сотрудниками ИОТТ предложена капроновая сетка прямого плетения КПФ-8 из лески диаметром 0,3 мм [77]. Капроновая сетка получила широкое распространение на углеобогатительных фабриках для экипировки дисковых фильтров. Применение сетки КПФ-8 позволило увеличить производительность фильтров, несколько снизить влажность осадка и уменьшить унос твердого с фильтратом до 10—15 г/л. Применительно к обезвоживанию угольной мелочи сетка КПФ-8 обладает сравнительно высокими фильтрующими свойствами и наряду с этим имеет невысокую стоимость — 3,9 руб. за 1 м.

Список литературы

1. *Гордон Г. М.* Состояние теории и практики очистки запыленных газов за рубежом.— Цветные металлы, 1977, № 9, с. 77—80.
2. *Абросимов Ю. В.* Каркасные стеклотканевые фильтры НИИОГАЗа. М., Машиностроение, 1972. 80 с.
3. *Устинова Е. Т., Небаров В. Н., Рыбаков К. В.* Нетканые клеенные фильтровальные материалы.— Текстильная промышленность, 1963, № 2, с. 65—69.
4. *Рыбаков К. В.* Фильтрация авиационных топлив. М., Транспорт, 1973. 163 с.
5. *Использование* бумагоделательной машины для производства нетканых материалов. Экспресс-информация ЦБП, 1970, № 45, реф. 402, с. 12—16.
6. *Савраев В. П., Запасный В. В., Запасная М. А.* Влияние режима регенерации фильтровальных тканей на показатели работы рукавных фильтров.— Бюлл. Цветная металлургия, 1976, № 10, с. 54—57.
7. *Влияние* обработки кремнийорганической смолой МБ-1 на фильтрационную способность нетканых полотен из полиэтилентерефталатных волокон /В. И. Балова, М. В. Корчагин, Г. Д. Нессонова и др.— Химическая промышленность, 1976, № 6, с. 51—53.
8. *Скобеев И. К.* Основные вопросы фильтрации рудных пульп. Дисс. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук, ИГД им. А. А. Скопинского, 1951.
9. *Пархоменко В. Г.* Товароведение текстильных товаров. М., Экономика, 1966. 479 с.
10. *Волокнистые* фильтрующие материалы /И. В. Петрянов, В. И. Козлов, П. И. Басманов и др. М., Знание, 1968. 77 с.
11. *Фляте Д. М.* Свойства бумаги. М., Лесная промышленность, 1976. 648 с.
12. *Ястребов О. И., Кундич Г. А.* Непрерывный контроль физико-механических свойств и дефектов бумажного полотна. М., Лесная промышленность, 1975. 216 с.
13. *Материалы и изделия на основе вспученного перлита* /А. В. Жуков, И. Я. Байвель, О. П. Капшеровская и др. М., Стройиздат, 1972, 158 с.
14. *Клячко В. А., Апелцин И. Э.* Очистка природных вод. М., Стройиздат, 1971. 579 с.
15. *Каталог-справочник.* М., НИИхиммаш, 1965. 350 с.
16. *Намывные* целлюлозные и ионитные фильтры для очистки конденсата.— Водоподготовка на силовых установках /М. Н. Безенфлейш, Ф. И. Белан, Э. П. Сталовойра и др. М., Энергия, 1972, вып. 4, с. 112—118.
17. *Петров К. М.* Барабанный вакуум-фильтр с намывным слоем.— Химическое машиностроение, 1966, № 11, с. 12—13.
18. *Лейчкис И. М.* Фильтрование с применением вспомогательных веществ. Киев, Техника, 1975. 191 с.
19. *Бельинский В. В., Мелихов В. В.* Результаты промышленных испытаний листового вертикального фильтра ЛВ-130.— Химическое и нефтяное машиностроение, 1967, № 2, с. 12—14.
20. *Савченко А. И.* Разработка способа контрольной фильтрации алюминатно-щелочных растворов с многократным использованием целлюлозно-бумажной массы. В кн.: Переработка алюминиевого сырья Казахстана. Алма-Ата, Наука АН Казахской ССР, 1971, с. 64—73.
21. *Рейд Ч.* Принципы обратного осмоса. В кн.: Технологические процессы с применением мембран. М., Мир, 1976. 369 с.
22. *Товарницкий В. И., Глухарев Г. П.* Ультрафильтры и ультрафильтрация. М., Медгиз, 1951. 91 с.

23. Москвин Л. Н., Калинин Н. Н., Годон Л. А. Политетрафторэтиленовые мембраны и их электрокинетические свойства.—Журнал прикладной химии, 1973, № 7, с. 1468—1471.
24. Металлический пористый листовый материал.—Кокс и химия, 1976, № 9. 65 с.
25. Патенты США, № 3133132, № 3133137, 1964.
26. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Методы очистки производственных сточных вод. М. Стройиздат, 1977, 208 с.
27. Дытнерский Ю. И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М., Химия, 1975. 229 с.
28. Обратноосмотические установки «Роса». Проспект ВДНХ СССР, ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975. 8 с.
29. Оки Р. В. Обработка промышленных стоков с помощью мембранных процессов, осуществляемых под давлением.—В кн.: Технологические процессы с применением мембран. М., Мир, 1976. 369 с.
30. Крупенин А. И., Малышенко В. С., Немковский Б. Б.—Тр. ПермНИУИ, 1973, вып. 15, с. 3—15.
31. Проскуряков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. М., Химия, 1977. 463 с.
32. Пензин Д. Саудовская Аравия — нефть и развитие.—Мировая экономика и международные отношения, 1976, № 11, с. 114—119.
33. Мембранные методы разделения растворов и возможность их применения в коксохимическом производстве /Ю. И. Дытнерский, Ю. Г. Королев, В. В. Григорьев и др.—Кокс и химия, 1976, № 9, с. 36—38.
34. Котляров Г. Г., Зайцев В. Е. Отраслевой стандарт на патронные керамические фильтры.—Химическое и нефтяное машиностроение, 1972, № 10, с. 29.
35. Олесов Ю. Г., Огнев Р. К. Крупногабаритные титановые фильтры.—Цветные металлы, 1973, № 8, с. 12—13.
36. Опыт получения титановых фильтров /В. В. Щербина, Л. И. Живов, В. А. Павлов и др. М., Цветметинформация, 1972. 70 с.
37. Роман О. В., Богданов А. П. Порошковая металлургия США. Минск, Экспрессинформация, 1972, 5 с.
38. Патент Франции № 76568, 1961.
39. Патент США № 3002834, 1961.
40. Патент США № 2979400, 1961.
41. Салгыков С. А. Стереометрическая металлография. М., Металлургия, 1970. 140 с.
42. Агте К., Оцетек К. Металлокерамические фильтры, их изготовление и применение. Л., Изд-во судостроительной промышленности, 1959. 140 с.
43. Хутинаев А. Н. Очистка растворов сернокислого алюминия.—Химическое и нефтяное машиностроение, 1969, № 7, с. 16—17.
44. Смирнова К. А. Пористая керамика для фильтрации и аэрации. М., Стройиздат, 1968. 170 с.
45. Андриевский Р. А. Пористые металлокерамические материалы. М., Металлургия, 1964. 187 с.
46. Рыбаков К. В., Розанова Л. М., Коваленко В. П.—Химическое и нефтяное машиностроение, 1972, № 10, с. 20—21.
47. Виноградов Г. А., Семенов Ю. Н. Прокатка металлических порошков. М., Metallurgizdat, 1960. 140 с.
48. Жевноватый А. И., Москаленко Ю. И., Зайцев А. Л.—Химическое и нефтяное машиностроение, 1972, № 8, с. 39—40.
49. Основы металлургии. М., Металлургия, 1975, т. VII, 1007 с.
50. Беркман А. С., Мельникова И. Г. Пористая проницаемая керамика. Л., Стройиздат, 1969. 141 с.
51. Плаченков Т. Г. Ртутная порометрическая установка П-3М. ВИНТИ, 1968, 22 с.
52. Шаркаев И. В. Фильтровальные ткани, изготовление и применение. М., Наука, 1963. 189 с.

53. *Сорокин В. К.* О связи тонкости фильтрации с размерами пор спеченных листовых материалов.— Порошковая металлургия, 1977, № 4, с. 103—106.
54. *Краснова Г. С., Ширинкин Л. Г., Скобеев И. К.* Влияние электрокинетического потенциала на коагуляцию фильтротканей.— В кн.: Процессы и аппараты технологии неорганических веществ. М., Химия, 1971, с. 54—60. (УНИХИМ).
55. *Чумаков В. А., Морозов Г. А., Хавроненко Г. В.* О влиянии материала дисков вакуум-фильтров на засоряемость фильтроткани.— Горный журнал, 1970, № 5, с. 65—66.
56. *Скобеев И. К.* Применение и расчет фильтров-сгустителей для сгущения и промывки пульп в производстве глинозема.— Тр. Иркутского политехнического ин-та. 1963, вып. 19, с. 75—102.
57. *Скобеев И. К.* К вопросу фильтрации рудных пульп.— Тр. Иркутского горно-металлургического ин-та, 1954, вып. 1, с. 34—71.
58. *Исследование гидравлических характеристик фильтровальных материалов.*— Химическое и нефтяное машиностроение, 1975, № 7, с. 17—18.
59. *Скобеев И. К.* Рациональные условия работы фильтротканей.— Материалы по технической информации, 1959, вып. 59, с. 103—132 (ЦНИГРИ).
60. *Рафиенко А. И.* Фильтрация рудных пульп на синтетических фильтротканях. М., Недра, 1967. 183 с.
61. *Мартынова О. И., Гусев Б. Т., Леонтьев Е. А.* К вопросу о механизме влияния магнитного поля на водные растворы солей.— Успехи физической науки, 1969, т. 98, вып. 1, с. 195—199.
62. *Промышленные исследования фильтрации хвостов флотации/Г. С. Пигоров, А. М. Коткин, И. Н. Кейтельгиссер и др.*— Кокс и химия, 1969, № 4, с. 8—11.
63. *Сороцкин И. М., Фишман И. И.* Тенденция конструирования барабанных фильтров со сходящим полотном.— Химическое и нефтяное машиностроение, 1969, № 5, с. 43—45.
64. *Портоноян Д. К., Батог Н. Н.* Зарубежное оборудование для фильтраций пульп. М., Цветметинформация, 1973, 84 с.
65. *Регенерация фильтровального полотна струей воды высокого давления/Б. П. Нечаев, В. И. Артемьев, М. М. Азизов и др.*— Бюлл. Цветная металлургия, 1976, № 1, с. 31—32.
66. *Очистка фильтровальной ткани с помощью ультразвука/Б. М. Губа, М. Т. Губанов, С. П. Зильберт и др.*— Обогащение и брикетирование угля, 1973, № 2, с. 19—20.
67. *Виноградова А. В., Скобеев И. К.* Испытание различных видов фильтротканей.— Тр. Иркутского горно-металлургического ин-та, 1958, вып. 13, с. 99—111.
68. *Культин Е. И.* Эффективные фильтрующие покрытия из химических волокон.— Тр. 5-й научно-технической сессии ин-та Механообр, 1967, с. 510—527.
69. *Новое в обогащении руд черных металлов/П. Е. Остапенко, В. М. Семношко, В. С. Маргулис и др.* М., Недра, 1965. 170 с.
70. *Усовершенствование технологии обезвоживания и классификации продуктов обогащения.* М., Цветметинформация, 1969. 48 с.
71. *Дуденков С. В.* Пути совершенствования процесса фильтрации в цветной металлургии.— Цветные металлы, 1974, № 7, с. 8—12.
72. *Пустильник Г. Л., Губанов В. К.* Новое в технологии оборудования производства глинозема за рубежом.— Бюлл. Цветная металлургия, 1976, № 12, с. 32—35.
73. *Жевноватый А. И., Шмигидин Ю. И., Демин Г. П.* Опыт эксплуатации барабанных вакуумных фильтров для фильтрации гидрата окиси алюминия.— Бюлл. Цветная металлургия, 1974, № 16, с. 30—32.
74. *Савченко К. Н., Савченко А. И., Бабин А. М.* Опыт работы дисковых вакуум-фильтров Ду-100-2,5-2 на Богословском алюминиевом заводе.— Бюлл. Цветная металлургия, 1976, № 8, с. 24—25.

75. Освоение и усовершенствование фильтрации красных шламов/Ю. И. Шмигдин, П. В. Яшунин, Г. Л. Демин и др.—Бюлл. Цветная металлургия, 1968, № 20, с. 36—37.
76. Создание и исследование новых фильтровальных перегородок для обезвоживания угольной мелочи/Р. А. Гаинцева, В. С. Каминский, В. Н. Скворцова и др.—В кн.: Теоретические и экспериментальные исследования в области обезвоживания угольной мелочи. М., Наука, 1969, с. 93—103.
77. Новая фильтровальная техника на углеобогатительных фабриках/В. С. Каминский, О. Л. Брук, Р. А. Гаинцева и др.—Обогащение и брикетирование углей, 1973, № 10, с. 14—16.
78. Jones J. Plastics in Filtration.—Filtration and separation, 1970, No 2, p. 160—167; 1975, No 1, p. 27—28.
79. Schmidt Sylvia, Vorgänge beim Wasserentzug in den Naspresen. — Wochenblatt für Papierfabr, 1971, b. 99, No 23, 24, s. 1019—1027.
80. Benjamins L. Niagara—Druckfilter für die Filtration.—Erzmetall, 1975, No 10, s. 472—474.
81. Loeb S., Sourirajan S. Reverse Osmosis.—Advances in Chem. Ser., v. 38, p. 117, 1962.
82. Sourirajan S. Reverse Osmosis. London—Logos, 1970, 578 p.
83. Raichlen L., Schaegis P. Les matériaux poreux synthétiques industries membranes filtrantes.—Genie chimique, 1965, v. 94, No 4, p. 89—110.
84. Porter M. C. Selecting the right membrane.—Chem. Eng. Progr., 1975, v. 71, N 12, p. 55—61.
85. Breslau B. R., Agranat E. A., Testa A. Hollow fiber ultrafiltration.—Chem. Eng. Progr., 1975, v. 71, No 12, p. 74—80.
86. Sakaguchi Yasuhiro. Development of the new membrane system by reverse osmosis and ultrafiltration.—Jap. chem. Ind. Assoc. Mon., 1975, v. 28, No 1, p. 15—30.
87. Michaels A. S. New Separation Technique.—Chemical Engineering Progress, 1968, v. 64, No 12, p. 31—43.
88. Kesting R. E. Synthetic Polymeric Membranes. New York, McGraw—Hill, 1971, 480 p.
89. Dandavati Muru S., Doshi Mahendra R., Gill William N. Hollow fiber reverse osmosis.—J. Chem. Eng. Sci., 1975, v. 30, No 8, p. 877—886.

Оглавление

Предисловие	3
Глава I. ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ ТКАНИ	5
I.1. Строение фильтровальных тканей	5
I.2. Фильтровальные ткани из природных волокон	12
I.3. Фильтровальные ткани из синтетических волокон	16
I.4. Фильтровальные ткани из неорганических волокон и про- волоки	27
Глава II. ВОЛОКНИСТЫЕ НЕТКАНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МА- ТЕРИАЛЫ	34
II.1. Производство и свойства нетканых фильтрующих мате- риалов	34
II.2. Бумажные и асбестоцеллюлозные фильтрующие материалы .	39
Глава III. ФИЛЬТРУЮЩИЙ НАМЫВНОЙ СЛОЙ И ЕГО ПРИ- МЕНЕНИЕ	45
III.1. Материалы намывного слоя	45
III.2. Применение намывного слоя из порошковых материалов .	51
III.3. Намывной слой из волокнистых материалов	56
Глава IV. ФИЛЬТРУЮЩИЕ МЕМБРАНЫ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	64
IV.1. Мембранные процессы разделения жидких смесей	64
IV.2. Разделительные мембраны	68
IV.3. Аппаратурное оформление обратного осмоса и вопросы его применения	79
Глава V. КЕРАМИЧЕСКИЕ И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ	87
V.1. Керамические фильтрующие элементы	87
V.2. Металлокерамические фильтрующие элементы	90
V.3. Применение керамических и металлокерамических филь- трующих элементов	96
Глава VI. ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТОНКОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ	100
VI.1. Структурные свойства фильтрующих материалов	100
VI.2. Теоретическая проницаемость монопористых сеток и тканей	107
VI.3. Задерживающая способность фильтрующих материалов .	113
Глава VII. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРУЮЩИХ СВОЙСТВ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И СЕТОК	125
VII.1. Методика исследования	125
VII.2. Фильтрующие свойства тканей из хлопчатобумажных и синтетических волокон	131
Глава VIII. ЗАСОРЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ	142
VIII.1. Факторы, определяющие засорение тканей	142
VIII.2. Цементация тканей карбонатами	146
VIII.3. Силикатные цементирующие засорения	150

Глава IX. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ	154
IX.1. Уравнение шламовой фильтрации.	154
IX.2. Определение величины гидравлического сопротивления фильтровальных тканей	156
IX.3. Гидравлическое сопротивление фильтровальных тканей и производительность фильтров	161
Глава X. СОХРАНЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ	168
X.1. Защита фильтровальных тканей от засорений	168
X.2. Удаление отфильтрованных осадков с поверхности ткани.	172
X.3. Восстановление проницаемости фильтровальных тканей.	176
Глава XI. ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ	179
XI.1. Фильтровальные ткани для разделения минеральных суспензий	179
XI.2. Фильтровальные ткани для фильтрации нейтральных и слабощелочных пульп	182
XI.3. Фильтрация щелочных и кислых пульп	189
XI.4. Применение фильтровальных сеток	193
Список литературы	195

ИБ № 2008

Иван Константинович Скобеев

ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Редактор издательства Т. А. Миронова

Обложка художника А. Н. Ковалева

Художественный редактор О. Н. Зайцева

График-иллюстратор Г. А. Лисицына

Технический редактор Л. Я. Голова

Корректор Т. Ю. Шульц

Сдано в набор 04.04.78. Подписано в печать 16.11.78. Т-20263.
 Формат 60×90^{1/16}. Бумага № 2. Гарнитура литер.
 Печать высокая. Печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 13,18.
 Тираж 3200 экз. Заказ 498/6762—11 Цена 65 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19
 Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

65 коп.

2880

НЕДРА