

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Основные закономерности фильтрования растворов	5
2 Характеристики процесса фильтрования и фильтров	12
3 Фильтровальные устройства для вязких растворов полимеров	15
3.1 Классификация фильтровальных аппаратов	15
3.2 Вакуумные фильтры периодического и непрерывного действия	16
3.3 Фильтры периодического и непрерывного действия, работающие под давлением	18
3.3.1 Фильтр-прессы	18
3.3.2 Патронные фильтры	24
3.3.3 Свечевые фильтры	27
3.3.4 Дисковые фильтры	30
3.3.5 Способы фильтрования через намывной слой	33
3.3.6 Фильтры непрерывного действия	35
4 Фильтровальные перегородки для вязких растворов полимеров	40
4.1 Гибкие фильтр-перегородки	43
4.2 Жесткие фильтр-перегородки	47
4.3 Несвязанные фильтровальные перегородки	52
5 Фильтровальные системы для расплавов полимеров	54
5.1 Фильтры фирмы «Barmag»	54
5.2 Фильтровальные системы «GNEUß »	54
5.3 Разработки компании «SEEBACH»	61
5.4 Разработки фирмы «Maag Pump Systems Textron»	64
6 Методы определения загрязненности полимеров	65
6.1 Контроль чистоты жидкости по фильтруемости	65
6.2 Анализ параметров частиц и концентрации загрязнений	68
6.3 Методы определения содержания посторонних включений в полимере	72
7 Пути повышения эффективности фильтрования продуктов в производстве химических волокон	73
Литература	79
Приложения	

Введение

Присутствие инородных включений в растворах, расплавах полимеров оказывается на устойчивости формования, на уровне обрывности, дефектности получаемых нитей и волокон, а также обуславливает повышенный выход отходов, ненормируемый расход вспомогательных материалов. Установлено, что в 1 см³ нефильтрованной вискозы содержится $(3,6 - 4,6) \cdot 10^4$ частиц размером более 6 мкм. На двух стадиях фильтрования задерживается около 90 % частиц более 15 мкм и до 50% частиц размером 6-10 мкм. Основную часть этих загрязнений составляют нерастворившиеся кусочки целлюлозы, ксантоценат, неоднородности гелеобразного характера, зольные фракции и смолы. Аналогичной загрязненностью характеризуются растворы ацетилцеллюлозы. Высокая однородность и чистота исходных компонентов, используемых при получении прядильных растворов поликарилонитрила, поливинилхлорида и поливинилового спирта, позволяют получать сравнительно более чистые растворы, фильтрование которых протекает легче, чем в случае вискозы.

К неоднородностям в расплавах полиэтилентерефталата (ПЭТ), поликапроамида (ПКА) приводят:

- загрязненность исходных компонентов сырья;
- несовершенство технологий получения полимеров;
- несовершенство аппаратурного оформления процесса синтеза полимеров.

В расплавах ПЭТ, не подвергнутых фильтрованию, присутствуют инородные включения до 40 мкм и более. Современные технологические процессы производства микрофиламентных нитей, ультратонких, бикомпонентных волокон требуют устранения из расплавов, поступающих на формование, загрязнений размером более 5 мкм. Повышению чистоты расплавов ПЭТ в современной технологической практике уделяется большое внимание. Это касается как прямого формования, так и формования из гранулята /1/.

В последние годы широко применяются высокоскоростные, одностадийные процессы получения волокон и нитей по расплавной технологии со скоростями 6000–7000 м/мин. Эти процессы требуют более тщательного фильтрования расплавов и, соответственно, коренного изменения инженерной психологии в вопросах повышения однородности расплавов полимеров.

В методических пособиях /2,3/ обсуждались теоретические аспекты фильтрования на разных стадиях процессов получения и переработки полимеров, частично оборудование для фильтрации, а также приемы, связанные с устранением различного рода отложений на стенках реакторов, расплавопроводов. В данном пособии проанализированы литературные данные по вопросу фильтрования рабочих сред в производствах химических волокон и современные разработки устройств для фильтрования расплавов и растворов полимеров.

1 Основные закономерности фильтрования растворов

Фильтрование – процесс течения жидкости через пористую среду, при котором отделяются частицы, находящиеся в ней в ином агрегатном состоянии, чем сама жидкость. Фильтрование может быть шламовым или закупорочным.

Шламовое фильтрование

При шламовом фильтровании основной процесс происходит на слое осадка (шламе), отложившемся поверх фильтрующего материала. Устья пор фильтрующего материала перекрываются частицами дисперсной фазы. По мере нарастания слоя отфильтрованных частиц растет и сопротивление фильтра. Наличие в фильтруемой суспензии коагулирующих и пептизирующих веществ может существенно повысить сопротивление осадка. Шламовое фильтрование реализуется для маловязких жидкостей, содержащих большое количество взвешенных частиц. В этом случае слой шлама на поверхности фильтрующего материала быстро нарастает. В начале процесса, называемом периодом обдержания фильтра, когда слой шлама невелик, наблюдается проскок частиц через фильтр. Размеры пор фильтрующего материала для шламового фильтрования выбирают с тем расчетом, чтобы частицы не проникали в них и не закупоривали фильтр /4/.

Закупорочное фильтрование

Этот вид фильтрования реализуется при малом размере частиц и их небольшом количестве. В связи с малым количеством частиц шлам на поверхности фильтрующего материала не образуется в течение длительного времени. В этом случае преобладает задерживание частиц внутри пор фильтрующего материала.

Комбинированное фильтрование

Шламовое и закупорочное фильтрование можно рассматривать как крайние случаи комбинированного процесса.

Максимальный размер частиц, проходящих через фильтр, называют порогом фильтрования /4/.

Основные закономерности фильтрования растворов

Закономерности фильтрационного движения жидкости можно выявить путем анализа движения жидкости между двумя близко расположеными параллельными плоскостями.

Скорость фильтрования при этом может быть вычислена по формуле:

$$v = \frac{Q}{F}, \text{ м/с} \quad (1)$$

где Q – объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; F – площадь поверхности, м^2 .

Фильтровальное движение характеризуется очень малыми скоростями (несколько миллиметров в секунду) и потому в уравнениях, описывающих движение вязкой несжимаемой среды, пренебрегают конвективной скоростью жидкости и связанным с ней скоростным напором.

Движущей силой фильтрования является перепад давлений $(\Delta p)_\Sigma$, включающий статическое Δp и пьезометрическое ρgh давления жидкости над фильтрующей поверхностью:

$$(\Delta p)_\Sigma = \Delta p + \rho gh \quad (2)$$

где h – высота слоя жидкости, м; ρ - плотность жидкости, кг/м³.

Ввиду низких скоростей течения, при которых инерционные воздействия на поток малы, гидравлическими сопротивлениями движению, связанными с поворотами в пространстве каналов, образуемых порами, зачастую пренебрегают.

Фильтрационное движение жидкостей характеризуется малыми скоростями и малыми значениями критерия Рейнольдса. Для описания процесса используют уравнение Пуазейля, описывающее течение жидкости по капиллярам; уравнения Д'Арси, уравнения Эргуна /4/.

Уравнение Пуазейля

Решение для движения по цилиндрическим трубопроводам получил французский врач и физиолог Пуазейль применительно к движению крови по капиллярным сосудам /4/. Он представил решение в виде:

$$V = \frac{d^2}{32\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L_n}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{\pi d^4}{8\mu} \cdot \frac{\Delta p}{L_n} \quad (4)$$

где d – диаметр пор, м;

$L_n = K_1 \cdot \Delta x$ – средняя длина пор в пористом материале толщиной Δx , м;

K_1 – коэффициент, характеризующий увеличение средней длины пор за счет их искривленности.

Если на единице площади поверхности фильтрующего материала располагается n пор, площадь поперечного сечения каждой из которых равна $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$, то объемный расход жидкости через фильтр (m^3/c) будет равен:

$$Q = nF \frac{\pi d^4}{4} \frac{\Delta p}{\mu \Delta x} = K_2 nF \frac{d^4}{\mu} \frac{\Delta p}{\Delta x}; \quad (5)$$

где F – общая площадь поверхности фильтра, м²;

$$K_2 = \frac{\pi}{128 K_1}$$

В конечном итоге констатируется пропорциональная зависимость между скоростью течения и перепадом давлений на пористом материале. Этот вывод можно интерпретировать как зависимость сопротивления

пористого материала фильтра от скорости течения в первой степени.

Уравнение Д'Арси получено обобщением экспериментальных данных о гидравлических сопротивлениях пористых тел.

Для трубопроводов:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (6)$$

где d, L – диаметр и длина

трубопровода, м.

Для фильтров:

$$\Delta p = \nu \frac{\lambda L \mu}{d^2} \quad (7)$$

где v – скорость фильтрационного течения жидкости, $m^3/(m^2 \cdot c)$;

$(\Delta p)_{\Sigma} = \Delta p + \rho gh$ – суммарный перепад давлений в рассматриваемой точке, (Pa);

Δp , ρgh – соответственно статический и пьезометрический перепады давлений при высоте h от поверхности фильтрования, (Pa).

λ - коэффициент пропорциональности, его называют коэффициентом сопротивления фильтра, или коэффициентом сопротивления Д'Арси /4/.

$$\text{Для фильтров } \lambda = \frac{\rho g \varepsilon}{\mu}; \quad (8)$$

где ε – пористость фильтра (отношение объема пор к общему объему фильтра).

Уравнение Эргуна

Если фильтрование происходит через поры, образованные в слое шариков диаметром d при высоте слоя h , то параметры фильтра оказываются следующими: относительный объем пустот между шариками (пористость) ε , относительный объем шариков $(1-\varepsilon)$. Пусть через этот слой проходит жидкость плотностью ρ_1 и кинематической вязкостью ν со скоростью v . Тогда связь коэффициента фильтрации Д'Арси (коэффициента гидравлического трения λ) и числа Рейнольдса в слое определяется уравнением Эргуна:

$$\lambda = 300 \left(\frac{1-\varepsilon}{Re} \right) + 3,5; \quad Re = \frac{vd}{\nu}; \quad (9)$$

При использовании этого уравнения, закон Д'Арси для расхода (m^3 / c) жидкости через пористый фильтр, образованный сферическими твердыми частицами, можно представить в виде:

$$Q = \frac{Fd^2}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{\lambda \Delta x}; \quad (10)$$

где $\Delta x = L$ – средняя длина пор, которая принимается равной толщине материала фильтра, м.

В уравнении Эргуна сомножитель $\frac{1-\varepsilon}{Re}$ определяет влияние внутреннего трения, а слагаемое 3,5 – уменьшение кинетической энергии вследствие поворотов жидкости в слое.

Если жидкость проходит через слой шариков снизу вверх, то при Δp , меньшем веса фильтрующего материала, приходящегося на единицу площади поперечного сечения, т. е. при

$$\Delta p < hg(\rho_2 - \rho_1)(1-\varepsilon); \quad (11)$$

где ρ_2 – плотность материала шариков,

слой остается неподвижным, в противном случае происходит псевдоожижение слоя. При этом внутренние его структуры разрушаются, коэффициент трения покоя исчезает и среда ведет себя как жидкость.

Коэффициент сопротивления фильтра определяют экспериментальным путем. При использовании этого коэффициента расчет объемного расхода жидкости через фильтр /4/ может быть проведен по формулам:

для чистого фильтра

$$Q = \frac{Fd^2}{\mu \lambda} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta x}, \quad (12)$$

для фильтра с осадком

$$Q = \frac{Fd^2}{\mu} \cdot \frac{\Delta p}{(\lambda \Delta x + \lambda_s \Delta x_s)}, \quad (13)$$

где λ_s – коэффициент сопротивления Д'Арси для осадка,

Δx_s – толщина слоя осадка на фильтре, м.

Из вышеизложенного следует, что осадок и фильтрующий материал обусловливают сопротивление движению жидкости, т. е.:

$$(\lambda \Delta x)_\Sigma = \lambda \Delta x + \lambda_s \Delta x_s \quad (14)$$

Общее сопротивление фильтра складывается из сопротивления материала фильтра и сопротивления осадка на нем /4/. В общем случае зависимость его сопротивления от перепада давлений может выражаться формулой:

$$\lambda_s = \lambda_{s0} (\Delta p)^s, \quad (15)$$

где s – экспериментально определяемая постоянная.

Ниже приведены значения λ_{s0} ($1/m^2$) некоторых фильтрующих

материалов /4/:

Ткань хлопчатобумажная:	
рыхлая.....	90
плотная.....	180
Ткань шерстяная.....	180 - 360
Ткань полиамидная.....	360 - 1800
Прессованная вата толщиной 2,5 см.....	720 – 1800

Особенности закупорочного фильтрования

Процесс происходит либо до полного закупоривания фильтрующего элемента осадком, либо до уменьшения расхода фильтрата через него на заданную величину. Во всех случаях теория закупорочного фильтрования рассматривает зависимость скорости фильтрования от основных действующих факторов:

$$V = \frac{\Delta p d^2}{32 \mu L} = \frac{\Delta p r^2}{8 \mu L} . \quad (16)$$

Из уравнения Пуазейля следует, что в момент начала фильтрования (r_0, v_0) и в произвольный момент (r_1, v_1) имеют место соотношения:

$$r_0^2 = 8v_0 \mu \frac{L}{\Delta p} ; \quad (17)$$

$$r_1^2 = 8v_1 \mu \frac{L}{\Delta p} . \quad (18)$$

С учетом этих соотношений выражение для W_1 примет вид:

$$W_1 = \frac{8\pi\mu L^2}{C\Delta p} (v_0 - v_1) . \quad (19)$$

Если фильтрование ведется до полной закупорки, то тогда:

$$W = \frac{8\pi\mu L^2}{C\Delta p} v_0 ; \quad (20)$$

$$v_0 = \frac{\Delta p r_0^2}{8\mu L} ; \quad (21)$$

$$W = \frac{\pi L}{C} r_0^2 = fL \frac{nF}{C} ; \quad (22)$$

$$f = \pi r_0^2 . \quad (23)$$

Максимальное количество фильтрата (m^3), которое может быть пропущено через фильтр при закупорочном фильтровании:

$$Q\tau_{\max} C = W_n ; \quad (24)$$

$$Q\tau_{\max} C = \frac{W_n}{C} ; \quad (25)$$

где Q – объемный расход суспензии, (m^3/c); τ_{\max} – время работы фильтра, (c);
 C – концентрация твердой фазы в суспензии, (m^3/m^3); W_n – объем пор, (m^3).

Для закупорочного фильтрования важен выбор размеров пор фильтрующего материала. Если размер пор меньше размеров всех задерживаемых частиц, фильтр с таким фильтрующим материалом будет работать эффективно, но недолго. Крупные частицы относительно быстро закупорят первый по ходу фильтрата слой пор, а более глубоко расположенные слои фильтрующего материала останутся незаполненными. Фильтрующий материал должен иметь поры, поперечные размеры которых уменьшаются по ходу фильтрата. При этом мелкие частицы задерживаются более глубоко расположенными порами.

Особенность закупорочного фильтрования состоит в том, что более крупные фильтруемые частицы задерживаются начальной частью фильтра, а более мелкие – более глубоко расположенными его частями. Если крупных частиц в осадке много, входная часть фильтра быстро заполняется ими. Глубинные слои при этом остаются свободными от частиц. Для рационального использования всего объема фильтра необходимо крупные частицы отфильтровать на более крупнозернистом фильтре, т. е. на фильтре с более крупным порогом пропускания. Это вынуждает создавать фильтрующие системы, включающие предварительную, окончательную, а при необходимости и промежуточные ступени очистки.

Задерживание частиц в порах фильтра носит вероятностный характер и оценивается параметром, называемым эффективностью задерживания. Эффективность задерживания определяют как относительное количество отфильтрованных частиц. С повышением размеров частиц эффективность задерживания увеличивается.

Перепад давлений на фильтре, как функция производительности, может быть создан как повышением давления перед фильтром, так и вакуумированием пространства за фильтром.

Перепад давлений на фильтре в зависимости от того, каким образом он создан, оказывает либо сжимающее, либо растягивающее воздействие на частицы осадка. Повышение давления со стороны фильтруемой среды сжимает частицы осадка и, если они сжимаемы, деформирует их, уменьшая поры между ними. В результате расход фильтрата уменьшается вплоть до нуля, несмотря на повышение перепада давлений. При воздействии вакуума со стороны фильтрата отсутствует сдавливание частиц. Деформация их сжатия заменяется деформацией растяжения, в результате поры в процессе фильтрования не закрываются, и расход фильтрата не уменьшается. Этим объясняется высокая эффективность работы вакуумных фильтров и, как следствие, их широкое распространение /4/.

Виды течений жидкости в фильтре

Существуют три предельных вида течения жидкостей через различные устройства:

- турбулентное, при котором перепад давлений пропорционален квадрату расхода через рассматриваемое устройство (трубопровод, кран, шайбу и др.);
- ламинарное, при котором перепад давлений в слое пористого материала пропорционален расходу жидкости;
- движение через сжимаемую пористую среду, например, через слой шлама, при котором перепад давлений обратно пропорционален расходу жидкости /4/.

Кроме этих предельных течений, могут существовать различные их комбинации и промежуточные течения, которые реализуются в конкретных устройствах. Например, фильтрование на пористых мембранных реализуется в баромембранных установках. Такое фильтрование называют также микро-, ультрафильтрацией. Пористые мембранные, пропуская через сквозные поры фильтра молекулы малых размеров, задерживают высокомолекулярные соединения, в том числе микроорганизмы. Процессы, в которых происходит фильтрование микроорганизмов, называют стерилизацией.

Разделительные мембранные получают из гидрофобных материалов, например, из тонколистового фторопласта бомбардировкой ускоренными тяжелыми ионами с последующим травлением образовавшихся треков до получения сквозных пор, либо полимеризацией тонких жидких пленок мономеров. Все мембранные нуждаются в постоянной очистке и не являются универсальными для разделения частиц различных размеров. Уменьшить засорение мембранных можно с помощью СВЧ-колебаний электромагнитного поля перед мембранными. При этом очищать входную полость фильтра можно реже.

Расчет количества осадка

В расчетах используют эмпирические данные, связывающие количество осадка G , отложившегося на фильтре за время τ . Эти данные аппроксимируются уравнением фильтрования:

$$G^2 + 2GC = k\tau, \quad (26)$$

где C и k – эмпирические постоянные, разные для каждого типа фильтра и фильтруемых сред.

Это уравнение отражает ньютоновскую зависимость расхода фильтрата от перепада давлений на фильтре.

Проведя два эксперимента по фильтрованию осадка на реальном фильтре и измерив количество отложившегося осадка за заданное время, по данному уравнению найдем обе неизвестные константы (C и k). Используем полученное уравнение для расчета массы отложившегося осадка в зависимости от времени в условиях, идентичных экспериментальным. Расчеты упрощены предположением о том, что соотношение размеров пор фильтра и частиц осадка близко к оптимальному, при котором частицы достаточно хорошо фильтруются /4/.

2 Характеристики процесса фильтрования и фильтров

Все фильтры, независимо от типа и конструкции, имеют единое назначение: обеспечивать достаточную или возможно лучшую очистку среды от загрязняющих частиц, не допуская при этом слишком больших сопротивлений прохождению жидкости и сохраняя это свойство возможно более длительный срок. При этом фильтры должны иметь высокую производительность, быть надежными в работе, безопасными и нетрудоемкими в обслуживании, обеспечивать санитарно–гигиенические требования.

Тонкость фильтрования

Тонкость фильтрования определяется величиной минимального размера задерживаемых частиц. Для определения тонкости фильтрования сравнивают фракционный состав взвешенных загрязнений в жидкости до и после фильтрования. Как правило, определение среднего фракционного состава загрязнений технологических сред сопряжено с большими трудностями и затратами времени; определение характеристик фильтрующих перегородок (ФП) лучше проводить на модельной жидкости с замешанным стандартным загрязнителем, имеющим дисперсионную характеристику, близкую к закону распределения загрязнений в фильтруемой жидкости. При этом несущественно совпадение крутизны ветвей дисперсионных характеристик, а важно, чтобы диапазон размеров частиц модельной среды и положение максимума на кривой их распределения приближались к соответствующим параметрам загрязнений фильтруемой жидкости.

Модельную суспензию пропускают через испытываемый фильтр. Пробы фильтрата подвергают пофракционному анализу на содержание частиц. Производят построение кривой распределения, и по результатам анализа судят о тонкости фильтрования. Поскольку на практике важно знать способность ФП задерживать частицы в каких–то конкретных интервалах размеров, сопоставлять удобнее не плавные кривые распределения частиц, а экспериментальные гистограммы, построенные по этим интересующим интервалам.

Абсолютная тонкость фильтрования – наименьший размер частицы, гарантированно не пропускаемой ФП, практического значения не имеет хотя бы потому, что ее определить невозможно. Задержка частиц на насадке носит вероятностный характер, поэтому за основу определения параметра проще взять статистическую оценку способности ФП задерживать частицы того или иного размера. Если проскок частиц некоторого размера достаточно мал, то этим размером и оценивают тонкость фильтрования.

В частности, **номинальную тонкость фильтрования** рассчитывают как размер частиц, начиная с которого в фильтрате содержится не более 2% всех частиц.

Независимой величиной является **средняя тонкость фильтрования**,

определенная средним размером пор ФП. Это распространенный и наиболее просто определяемый показатель, но информативность его существенна лишь в сочетании с характеристикой конкретного фильтрующего материала.

Для сравнения фильтров, в зависимости от того, пропускает или задерживает фильтр частицы того или иного размера, применяют такие показатели, как коэффициент пропускания, или коэффициент отфильтровывания.

Применяемые в практике фильтрования ФП, как правило, обладают способностью задерживать то или иное количество частиц любого размера (например, за счет адгезионного фактора). Поэтому определение показателя «тонкость фильтрования» бывает недостаточным для оценки эффективности процесса. Статистической мерой снижения содержания частиц загрязнений в жидкости после прохождения фильтра является коэффициент отфильтровывания, определяемый формулой:

$$\psi = (N_1 - N_2) / N_1, \quad (27)$$

где N_1 – число частиц данного размера в единице объема суспензии, N_2 – то же, в фильтрате.

Следует отметить, что по мере загрязнения фильтра тонкость очистки повышается, однако, при достаточно высоком перепаде давления возникает опасность продавливания гелеобразных и непрочных частиц /4/.

Гидравлическое сопротивление фильтра

Движущей силой фильтрования является перепад давлений ΔP на пористой фильтр-перегородке:

$$\Delta P = \mu R Q \quad (28)$$

Коэффициент пропорциональности R в выражении (28), вытекающем из закона Пуазейля, характеризует гидравлическое сопротивление фильтра. Чем больше коэффициент R , чем круче зависимость перепада давления ΔP от расхода Q , а также от вязкости μ , тем больше гидравлическое сопротивление фильтра.

С увеличением скорости фильтрования до определенного для данной ФП значения, начинается отклонение гидравлического сопротивления от линейного закона, что объясняется возрастанием влияния потерь в местных сопротивлениях (сужениях и расширениях), которые зависят от скорости нелинейно. Однако при фильтровании вязких жидкостей, таких, как растворы полимеров, такого барьера скорости никогда не достигают. Здесь отклонение гидравлического сопротивления от линейного закона может происходить вследствие деформации фильтр-материала (войлока, картона, ткани, намытых волоконных слоев) под действием перепада давления и в результате ньютоновского течения жидкости.

Особенно внимательно следует подходить к выбору диаметра пор при тонкой очистке, до размеров, не превышающих 15 мкм. При уменьшении диаметра пор мелкопористых фильтрующих материалов резко возрастает сопротивление ФП из-за влияния граничных слоев жидкости, адсорбированных стенками, на сопротивление трения при протекании

жидкости в порах. При снижении диаметра пор до 10-15 мкм улучшения качества фильтрования целесообразно достигать иными путями, в том числе увеличением толщины ФП или длины поровых каналов. Хотя сопротивление перегородки возрастает пропорционально ее толщине, широко применяют фильтры, в которых рост тонкости очистки достигается именно увеличением толщины ФП. Это объемные, насыпные и намывные фильтры с высокой проницаемостью и с высокими показателями фильтрования. Гидравлическое сопротивление этих фильтров ниже, чем тонкослойных с такой же тонкостью очистки. Главное достоинство таких фильтров – высокая грязеемкость, обеспечивающая повышенный срок службы.

Срок службы фильтра

Срок службы между заменами фильтровальной фильтр-перегородки – важнейшая характеристика фильтров, наряду с тонкостью фильтрования и гидравлическим сопротивлением. Этот показатель тесно связан с гидравлическим сопротивлением, хотя эта связь и неоднозначна. Выше было рассмотрено сопротивление исходного фильтра. С самого начала работы сопротивление возрастает непрерывно и достигает такой величины, при которой фильтровать далее невозможно или нецелесообразно. Если фильтрование осуществляется с постоянной скоростью, то рост сопротивления вызывает пропорциональное увеличение перепада давления. При достижении критического перепада давления ΔP работу фильтра прерывают. Если фильтруют при постоянном ΔP , то падает скорость фильтрования также до критически малой величины. Может одновременно увеличиваться перепад давления и падать скорость фильтрования. В этом случае останов производят чаще всего по достижении минимального расхода через фильтр.

Во всех режимах процесса первопричиной останова является достижение критического сопротивления ФП. Кстати, более правильно использовать вместо понятия «срок службы» выражение «ресурс работы», или технологический показатель «пропускная способность», которому соответствует съем фильтрата с 1 м² площади ФП.

Производительность фильтра

При отсутствии непрерывного удаления осадка с ФП фильтрование представляет собой процесс циклический. Скорость фильтрования определяет производительность фильтра только во время рабочей фазы - операции фильтрования.

Средняя производительность ФП при постоянной скорости фильтрования рассчитывается просто:

$$Q = Vt_{\phi} / (t_{\phi} + t_n), \text{ м}^3/\text{с} \quad (29)$$

где V – скорость фильтрования, м³/с; t_{ϕ} – продолжительность работы ФП, с; t_n – продолжительность остановки на перезарядку, с, т.е. непроизводительное время в цикле работы фильтра.

Режим фильтрования с постоянной скоростью наиболее распространен

в промышленности при переработке растворов полимеров. Режим фильтрования, обеспечивающий Q_{max} , обуславливает максимальную производительность оборудования и минимум капитальных затрат на фильтрование в технологической линии с заданной производительностью /4/. Однако, частые перезарядки фильтров при этом режиме влекут за собой неоправданные затраты и потери.

3 Фильтровальные устройства для вязких растворов полимеров

3.1 Классификация фильтровальных аппаратов

Фильтровальное оборудование, в зависимости от организации процесса, подразделяется на оборудование непрерывного и периодического действия (рис.1). По способу создания перепада давления на пористой перегородке различают оборудование, работающее под вакуумом либо под избыточным давлением. Избыточное давление может создаваться насосами, либо центробежной силой. В фильтрах периодического действия фильтрующая перегородка неподвижна, а в фильтрах непрерывного действия она перемещается, проходя через зону очистки, в которой регенерируется. В классе фильтров периодического действия выделяют отдельно группы фильтров, работающих под давлением, создаваемым насосом, или гидростатическим столбом жидкости над фильтрующей поверхностью /4/.



Рис. 1 – Классификация фильтровальных аппаратов

3.2 Вакуумные фильтры периодического и непрерывного действия

Барабанный вакуумный фильтр (рис. 2) – один из наиболее

распространенных непрерывно работающих автоматических вакуумных фильтров.

В корпус фильтра 1 подается суспензия, в которую погружен вращающийся барабан 2. Поверхность барабана разделена на отдельные секции перегородками 3. Каждая секция трубками 5 соединена с подвижной головкой фильтра 6. Сверху над барабаном вакуум-фильтра расположены форсунки 7 для промывки осадка 4. Головка имеет отверстия, число которых соответствует числу секций барабана. Секции барабана фильтра покрывают опорной сеткой, а на нее накладывают холст. Холст натягивают и закрепляют проволокой диаметром 2–3 мм из коррозионностойкой стали. Осадок срезается с холста ножом 8. В корпусе фильтра имеется мешалка 9 для взмучивания осадка. За один оборот барабана каждая секция фильтра проходит все стадии процесса фильтрования – фильтрования, предварительной подсушки осадка, промывки и подсушки, отдувки осадка. Промывная жидкость и фильтрат удаляются из секторов барабана насосами посредством создания в этих секторах вакуума. Барабанные вакуум-фильтры имеют площадь фильтрования $5\text{--}40\text{ m}^2$, остаточное давление в зоне фильтрования составляет 400–500 мм рт. ст. (53,2–66,5 кПа).

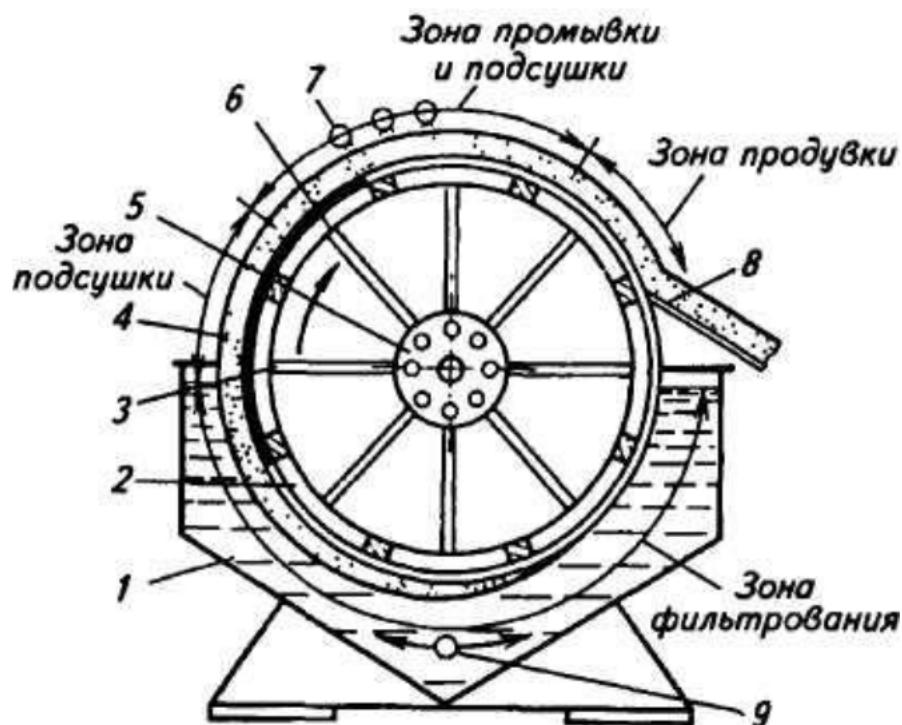


Рис. 2 – Принципиальная схема фильтрования на барабанном вакуум-фильтре:

1 – корпус; 2 – барабан; 3 – перегородка; 4 – осадок; 5 – трубка; 6 – головка фильтра; 7 – форсунки; 8 – нож; 9 – мешалка.

Дисковые вакуумные фильтры состоят из дисков, разделенных на секторы (рис. 3). Секторы обернуты фильтрующей тканью. Площадь поверхности фильтрования достигает 100 m^2 .

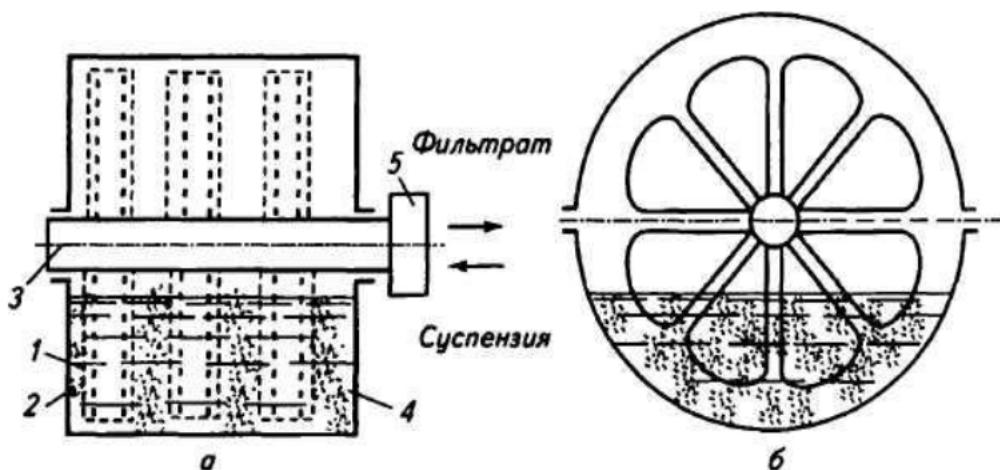


Рис. 3 – Схема дискового вакуум-фильтра:
а – продольный разрез фильтра: 1 – секторы; 2 – тканевые мешки; 3 – полый вал;
4 – корыто; 5 – распределитель;
б – поперечный разрез фильтра.

Опорной поверхностью для холста служит зигзагообразная металлическая опорная лента 4, которая закреплена в каркасе. Верхняя часть каркаса имеет желобок. Мешки 2 сшиты из холста и надеты на каркас фильтрующего элемента. Верхние свободные концы мешка закрепляют в желобке каркаса при помощи жгута 7 и клина.

Фильтрующий элемент дискового вакуумного фильтра (рис. 4) состоит из сварного желобчатого каркаса 1, к которому внизу приварен носок 9.

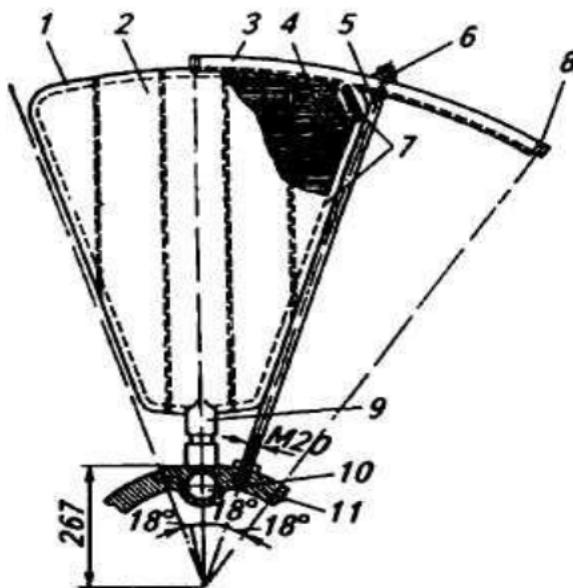


Рис. 4 – Фильтрующий элемент фильтра ДГС-59:
1 – каркас; 2 – мешок; 3 – направляющие дуги; 4 – опорная лента; 5, 6 – шпильки с гайкой; 7 – жгут крепления мешка; 8 – замок направляющих дуг; 9 – носок; 10 – коллектор фильтрата; 11 – полый вал.

Фильтрующие элементы соединяются через полый вал 11 и распределительную головку поочередно с тремя вакуумированными

полостями и с четвертой — отдувочной полостью. При соединении с отдувочной полостью в фильтрующие элементы подается фильтрат, смывающий с них осадок на дно.

При дальнейшем вращении полого вала фильтрующие элементы поочередно соединяются с вакуумированными полостями, давление в которых соответствует трем ступеням последовательно уменьшающегося остаточного давления. Это выравнивает чистоту фильтрата по мере накопления осадка на фильтрующем элементе.

3.3 Фильтры периодического и непрерывного действия, работающие под давлением

3.3.1 Фильтр – прессы

Для работы при избыточном давлении 0,3–0,4 МПа применяют фильтр-прессы. Они представляют собой набор элементов (см. рис. 4), на которые натянута или между которыми уложена фильтрующая ткань. Фильтрат проходит через фильтрующие слои и удаляется через бороздки на рамных элементах, собирающиеся в отводящий канал. Элемент устанавливают в гнездо полого вала 11 и с двух сторон закрепляют шпильками 5 с гайками 6 и направляющими дугами 3. Отдельные части дуги соединяют в замок 8, и их боковые поверхности служат направляющими для скребков, снимающих осадок с боковой поверхности фильтрующих элементов.

Подводящий коллектор распределяет фильтруемую жидкость в пространстве между рамными элементами. Рамные элементы фильтров собирают в батареи по 10–60 шт., уплотняемые по торцевым поверхностям с помощью винтового пресса или другого зажимного устройства. После достаточно полной закупорки пор, происходящей обычно в течение 60–300 мин, фильтрующие элементы периодически удаляют вместе с осадком.

Фильтр-пресс с вертикальными рамами и плитами является одним из наиболее распространенных аппаратов для тонкого фильтрования, особенно вязких жидкостей. Достоинства фильтр-прессов: возможность использования широкой гаммы фильтрующих материалов и их комбинаций; достижение высокой степени очистки при сравнительно большой производительности; простота обслуживания, не требующего специальной квалификации; выдерживание сравнительно высоких давлений (до 2,5 МПа); компактность фильтров; большая поверхность фильтрования на единицу занимаемой площади и на единицу объема фильтра; сравнительно хорошая приспособляемость к изменяющимся условиям производства, в том числе возможность почти плавного изменения поверхности фильтрования (в заданных пределах) и, соответственно, объема фильтра.

В промышленности химических волокон для очистки вязких растворов полимеров нашел широкое применение плиточно-рамный фильтр-пресс. Фильтр состоит из набора вертикально расположенных чередующихся

жестких плит и рам (рис. 5). Между плитами и рамами размещают фильтровальную насадку. Таким образом, по одну сторону от ФП находится камера, ограниченная по периметру рамой, по другую – плита, на которую опирается ФП. Поверхность плиты рифленая, что позволяет ей выполнять роль дренажного приспособления: по канавкам плиты и отверстиям 3 отводится фильтрат. Все камеры соединены каналами 5 с подающим коллектором 2, образованным стыкующимися по одной оси отверстиями в плитах и рамках. Аналогичный выходной коллектор 4 расположен в верхнем (или в верхнем и нижнем) углу и соединен только с канавками плит. Разность давлений в рамном пространстве и в канавках плит – движущая сила фильтрования ΔP – прижимает ФП к плитам. При этом часть поверхности гибкой ФП прилипает к выступам рифленой поверхности плиты и практически выключается из процесса фильтрования. Для сокращения таких потерь активной поверхности фильтрования между плитой и фильтрующим слоем размещают грубую дренажную сетку.

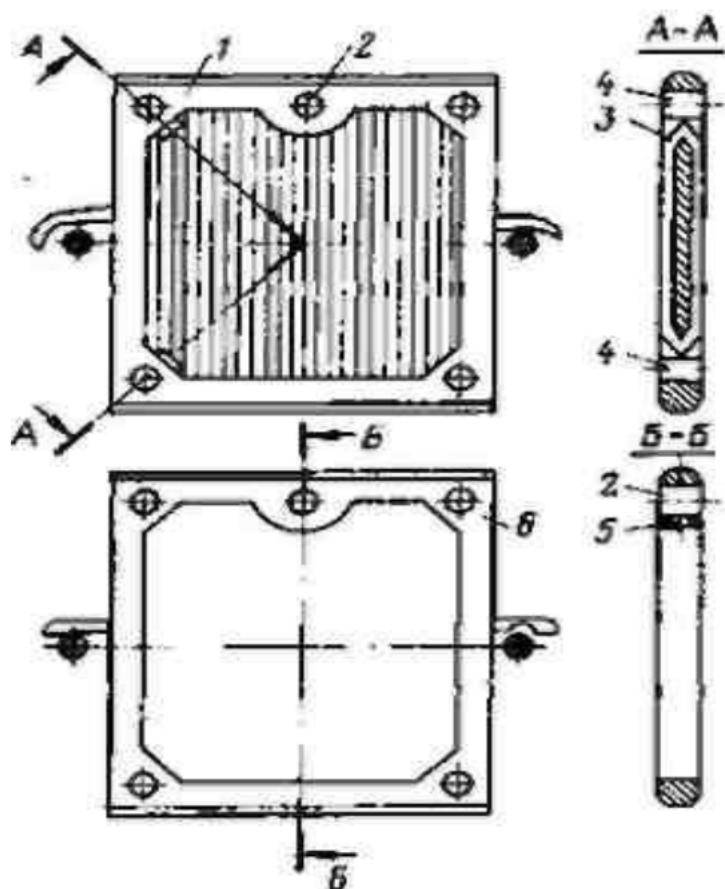


Рис. 5 – Устройство плиточно-рамного фильтр-пресса:

1 – плита; 2 – подающий коллектор; 3 – отверстия в плитах для отвода фильтрата; 4 – выходной коллектор фильтрата; 5 – каналы в рамках для подачи суспензии из подающего коллектора 2; 6 – рама.

При фильтровании может образовываться осадок, уменьшающий эффективный объем камеры. Поэтому объем фильтруемой среды во много раз

больше дренажного объема плит, ограничение объема которого связано только с гидравлическим сопротивлением течению фильтрата.

За счет механизации работ, использования новых конструкционных материалов и усовершенствования вспомогательного оборудования фильтр-прессы надежно сохраняют первенство среди оборудования для очистки полимерных растворов. Поверхность фильтрования стремится увеличить за счет увеличения высоты плит без заметного изменения ширины (площадь плиты достигает $1,3 \text{ м}^2$), что позволяет сохранить прежнюю площадь под фильтром. Все же эти аппараты очень металлоемки, и в последние десятилетия большое внимание уделялось вопросу облегчения конструкции и замены металла на неметаллические материалы. Разработана конструкция фильтр-пресса из полипропилена с элементами жесткости. Плиты этой конструкции легче чугунных в два раза, коррозионностойки и легко очищаются. Предложены новые материалы для плит и рам, в частности пористые синтетические смолы, керамика и металлокерамика, сочетание пластмассовых плит с рамами из нержавеющей стали. При конструировании фильтр-прессов, работающих при высоких давлениях с агрессивными средами, рекомендуется заменять плиты и рамы из высоколегированных сталей на блоки из эпоксидной смолы.

Камерный фильтр-пресс по внешнему виду похож на плиточно-рамный, но состоит только из плит (рис. 6).

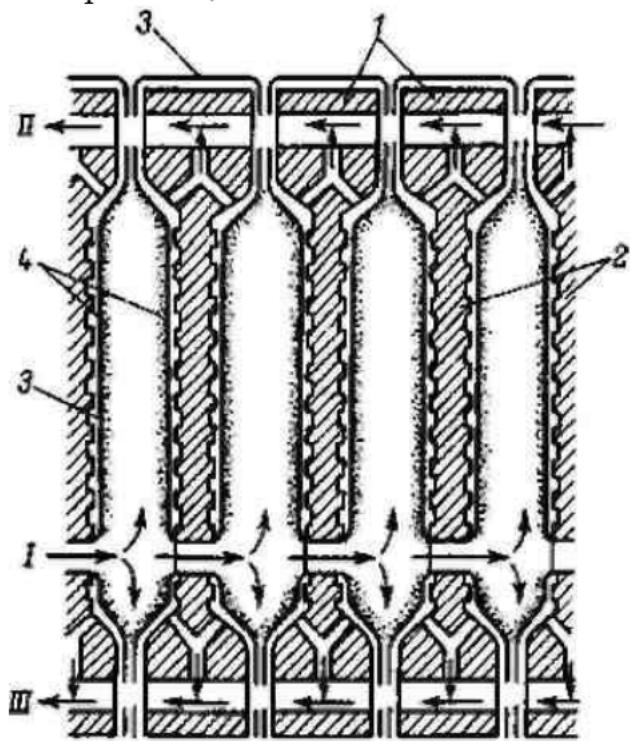


Рис. 6 – Схема камерного фильтр-пресса:

1—плиты; 2—рифы на плитах; 3 — ткань; 4 — осадок; I — суспензия; II, III — фильтрат.

Обе стороны каждой плиты имеют вогнутую дренажную поверхность. Благодаря этому отпадает необходимость в рамках, раздвигающих плиты с

целью образования камер для фильтруемого раствора. Дренажную поверхность плит покрывают тканью или сеткой, а фильтрующий слой вспомогательного вещества располагается в камерах, образованных вогнутыми поверхностями плит.

Фильтр-пресс для фильтрования высоковязких растворов через намывной слой набран только из плит, которые выполнены как одно целое с фильтровальными элементами, снабженными с обеих сторон сетками (рис.7).

В собранном виде плиты образуют пакет с широкими верхним и нижним горизонтальными каналами. Каналы образуются из-за того, что фильтровальные элементы не занимают всего просвета плиты, а оставляют верхний и нижний ее секторы свободными. Нижний канал и переходящие в него зазоры между фильтровальными элементами образуют зону суспензии.

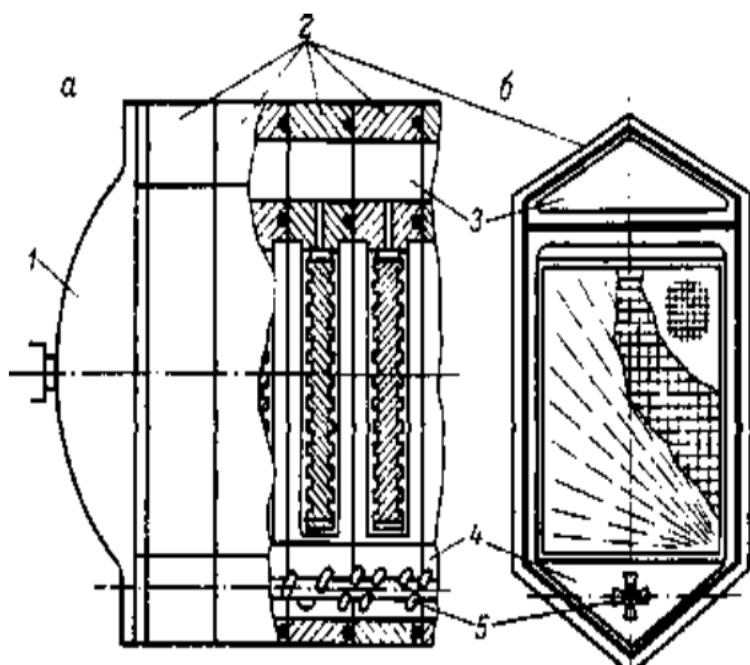


Рис. 7 – Фильтр-пресс для фильтрования высоковязких растворов через намывной слой:

а – соединение плит; б – плита; 1 – нажимная плита; 2 – плиты с фильтровальными элементами; 3 – верхний канал; 4 – нижний канал; 5 – вал для выгрузки осадка.

Верхний канал отделен от зоны суспензии горизонтальными перемычками и имеет через щелевые прорези сообщение с внутренним пространством каждого фильтровального элемента. Эти пространства и верхний канал образуют зону фильтрата. В сжатом состоянии плиты сомкнуты (имеют «привалочные» поверхности) по периметрам и верхним горизонтальным перемычкам. На сетки фильтровального элемента намывают вспомогательное фильтрующее вещество. После засорения фильтра намывной слой сбрасывают на дно нижнего канала, откуда осадок выгружают механическим способом.

На фильтр-прессе выполняется ряд последовательных операций:

зарядка, герметизация фильтра, заполнение его сусpenзией, фильтрование, прекращение процесса при достижении предельного давления, выдавливание сжатым воздухом или азотом раствора из фильтра, разборка фильтра, прием стекающей жидкости в поддон и ее удаление из поддона, съем и удаление засоренного фильтр-материала, регенерация фильтр-материала.

Трудоемкость обслуживания фильтр-прессов можно уменьшить использованием механизированного зажима плит. Такие автоматические камерные прессы применяют для фильтрования тонкодисперсных сусpenзий.

Автоматический камерный фильтр-пресс (рис.8а) состоит из горизонтально расположенных фильтрующих плит 2, расстояние между которыми составляет 23–30 мм.

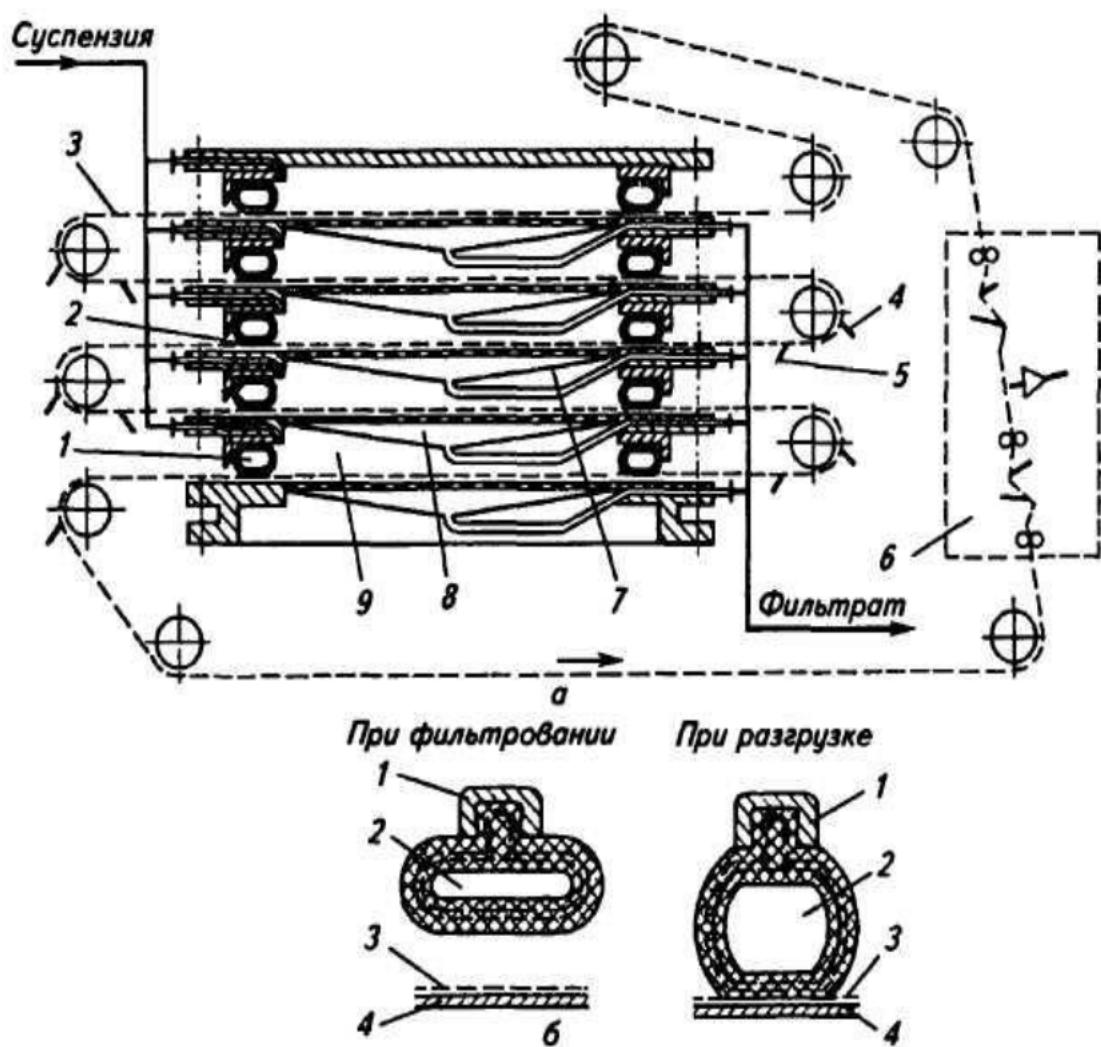


Рис. 8 (а, б) – Автоматический камерный фильтр-пресс:

а – схема фильтра: 1 – шланг резиновый уплотняющий; 2 – опорная плита; 3 – фильтрующая ткань; 4 – нож для съема осадка; 5 – нож подчистки; 6 – камера регенерации; 7 – поддон; 8 – камера для чистого фильтрата; 9 – камера для сусpenзии; б – уплотняющие шланги: 1 – опорная плита; 2 – шланг; 3 – ткань; 4 – опорная плита.

С обеих сторон плит установлены направляющие. Между плитами через ролики протянута бесконечная лента фильтрующей ткани 3, натяжение

которой обеспечивается натяжным устройством. Для образования камер в пазах рам установлены резиновые шланги 1. Уплотнение в камерах осуществляется при подаче жидкости в шланги под давлением 0,8–1,0 МПа (рис. 8б). В целях отделения фильтрата от шлама и отвода его из отдельных камер пресса, камеры перекрыты опорными щелевидными плитами 2, под которыми установлены поддоны 7 для сбора и отвода фильтрата. Осадок срезается с фильтрующей ткани ножами 4. Регенерацию ткани проводят в камере регенерации 6.

Полный цикл работы фильтра состоит из подачи жидкости в шланги и образования камер, фильтрования, промывки осадка, отдувки промытого осадка сжатым воздухом, подсушивания промытого осадка сжатым воздухом, удаления осадка и регенерации фильтрующей ткани. Фильтрование и промывку осадка выполняют под давлением 0,6 МПа. Толщина слоя осадка 5–20 мм, общая поверхность фильтрования 5–30 м². Осадок удаляется за 1 мин.

Удачные конструктивные решения последних лет позволяют рассчитывать на то, что в скором будущем фильтр-пресс станет полностью механизированным аппаратом, управляемым компьютером. Развивается также направление резкого увеличения площади фильтровальной поверхности одного аппарата, что в итоге повысит производительность труда.

Применяют ряд конструкций фильтровальных аппаратов с плоскими листовыми фильтрующими элементами или с жесткими фильтрующими перегородками (керамическими), содержащими до 40 фильтрующих элементов, а также рукавные фильтры, включающие в себя обернутые тканью каркасы из металлических рамок.

Мешочные элементы могут промываться фильтратом, подаваемым под давлением с внутренней стороны мешков. Отделяющийся от ткани осадок падает на дно аппарата и удаляется. Фильтрующие элементы периодически заменяют.

Барабанный фильтр непрерывного действия, работающий под давлением, показан на рисунке 9. Давление в барабане повышается до 0,3–0,5 МПа посредством сжатого воздуха. Фильтрование происходит на поверхности барабана, покрытой тканью. Осадок срезается ножами с ветви транспортера, натянутой натяжным роликом, попадает в полость разгрузочного шнека и периодически отводится им за пределы фильтра.

Подвод сжатого воздуха и отвод фильтрата осуществляются через головку барабана (на рис. 9 не показана). Головка барабана состоит из подвижного и неподвижного цилиндров, торцы которых притерты и прижаты друг к другу. Это обеспечивает герметичность торцевого уплотнения и поочередное соединение полостей подвижного цилиндра с трубопроводами подвода воздуха и отвода фильтрата.

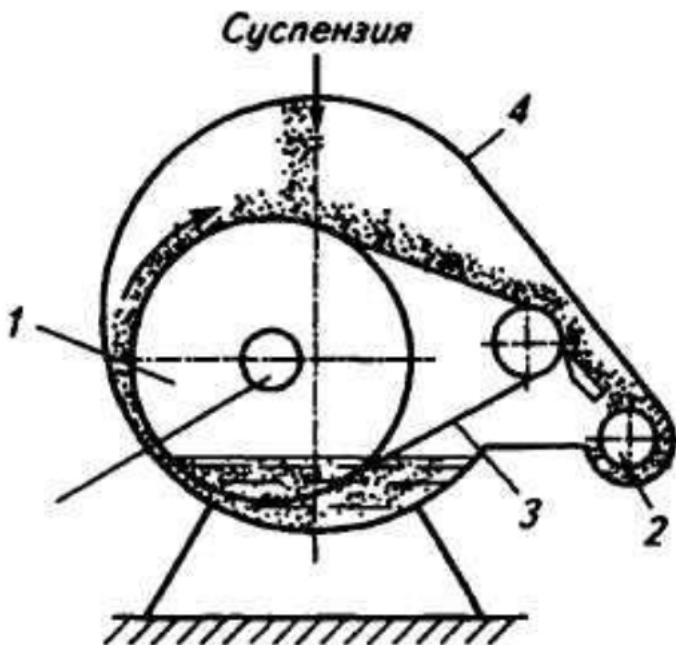


Рис. 9 – Схема барабанного фильтра, работающего под давлением:
1 – барабан; 2 – шнек; 3 – лента; 4 – корпус.

При выборе фильтров для очистки высоковязких растворов полимеров необходимо учитывать специфические особенности сред: вязкость фильтруемой жидкости, избыточное давление фильтрования, концентрацию твердой фазы в растворе полимера, возможность образования лишь незначительного по толщине осадка загрязнений на ФП, требование высокой тонкости очистки. При этом принимаются во внимание химические и физические свойства фильтруемой жидкости, в том числе стабильность свойств во времени, мощность производства, стоимость фильтруемого продукта, условия проведения процесса на предприятии, агрессивность среды. Среди свойств фильтруемой жидкости особое значение придается токсичности, пожаро- и взрывоопасности, которые выдвигают соответствующие требования к условиям эксплуатации, механизации и автоматизации, а также определяют категорию помещения, в котором размещены фильтры.

3.3.2 Патронные фильтры

Патронные фильтры занимают одно из ведущих мест при фильтровании высоковязких жидкостей. Это связано с возможностью использования огромного разнообразия ФП и фильтрующих элементов с регулируемой плотностью и грязеемкостью, в том числе устойчивых в агрессивных средах. Патронные фильтры позволяют использовать для фильтрования намывной слой вспомогательных веществ. Конструкция фильтров благоприятствует выведению этих веществ из фильтра после засорения слоя. Операции цикла фильтрования поддаются автоматизации и механизации. Фильтры имеют

поверхность фильтрования до 80 м² и обеспечивают высокую производительность. При высоком давлении фильтрования обеспечивается полная герметизация корпуса фильтра.

Патронный фильтр (рис.10) представляет собой емкость с цилиндрическим корпусом 4, эллиптическим или коническим днищем 5 и эллиптической крышкой 2. Объем цилиндрической части фильтра заполнен трубчатыми фильтровальными элементами, закрытыми с одного конца патронами 1. Открытые концы патронов жестко закреплены в решетке 3. Решетка разделяет полость на две части: зону суспензии I и зону фильтрата II.

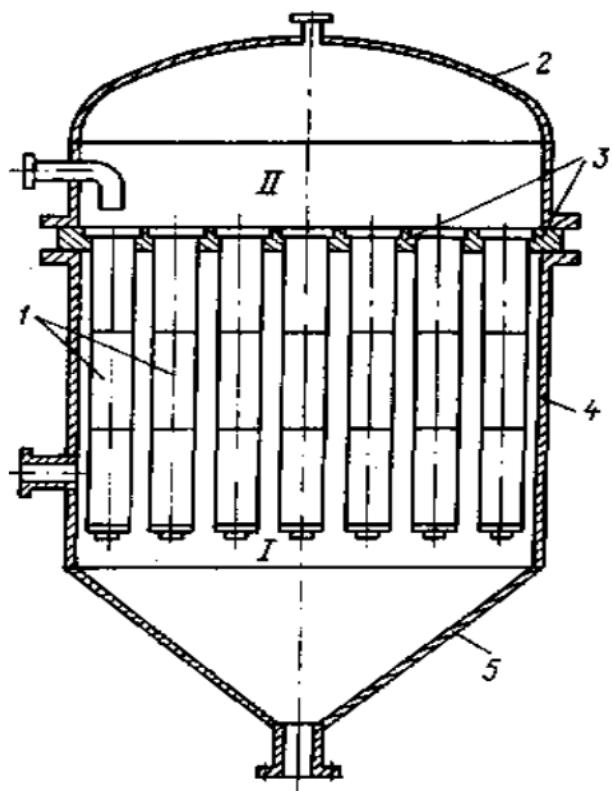


Рис. 10 – Схема патронного фильтра:

1 – патроны; 2 – крышка; 3 – решетка; 4 – корпус; 5 – днище.
I – зона суспензии; II – зона фильтрата.

Чаще всего решетка крепится между крышкой и корпусом. В том случае, если фильтруют «в патрон», зона фильтрата - пространство между решеткой и крышкой и связанные с ним внутренние пространства патронов. Иногда решетка может быть размещена внизу, между корпусом и днищем. Патроны могут крепиться не в решетке, а на коллекторах (горизонтальных трубах); в этом случае фильтрат находится только в патронах и в коллекторах, а весь объем фильтра, кроме этих элементов, представляет зону суспензии. Крышка патронных фильтров крепится к корпусу болтовым соединением или с помощью байонетного затвора. Подъем, опускание крышки и поворот кольца байонетного затвора обычно осуществляются пневмоцилиндрами.

Фильтры изготавливают с патронами различных типов. Чаще всего

применяются патроны керамические, металлокерамические, щелевые пластинчатые, щелевые витые, сетчатые, тканевые.

Для повышения тонкости очистки, увеличения ресурса работы, облегчения регенерации и промывки фильтра разрабатываются патроны специальных конструкций, чаще всего многослойные. К ним относятся, например, фильтры с коаксиальными цилиндрами и заполненными сыпучим фильтровальным материалом внутренними цилиндрами; с неравномерно распределенными в радиальном направлении порами; с конусными шайбами и эластичной перегородкой. Предложены фильтры, в которых патрон обтянут сеткой таким образом, что из-за разности давлений при фильтровании сетка вдавливается между ребрами патрона, а при регенерации обратным током расправляется, при этом более полно удаляется осадок. Для получения развитой поверхности фильтрования широко используются патроны складчатой конструкции; для облегчения удаления осадка - с упругими шайбами, со спиральным пружинным каркасом. Спектр пористых материалов, наносимых на патрон путем навивки и намотки, разнообразен. Совершенствование патронов в направлении достижения лучших показателей фильтрования и регенерации ведется постоянно, однако не только эти показатели являются критерием при выборе фильтровальных элементов, приходится также учитывать и их стоимость. Экономический аспект выбора фильтровальных элементов и плотности ФП здесь не рассматривается.

Широко применяют фильтры с патронами из металлокерамики, однако недопустимы необоснованные потери дорогостоящих материалов, поэтому патроны из металлокерамики применяются только при необходимости длительного срока службы ФП, достигаемого обычно эффективной регенерацией фильтрующего материала. Для этого используют продувку патронов сжатым воздухом или паром, создание в фильтре попеременно давления и разрежения, вибрацию патронов, «шоковый» сброс осадка и т.д.

Патронные фильтры среди фильтров с большими поверхностями фильтрования имеют конструкцию, наиболее подходящую для применения жестких ФП: прочные и удобные в использовании фильтровальные элементы из пористой керамики и металлокерамики успешнее всего изготавливаются цилиндрической, трубчатой формы. Для повышения качества поверхности и точности размеров сформованные и обожженные керамические элементы можно обрабатывать специальными резцами на токарных станках. После этого они хорошо уплотняются, а патроны в фильтре располагаются строго параллельно. Цилиндрическая поверхность позволяет патронам воспринимать большие сжимающие нагрузки.

Известен патронный карусельный фильтр, в котором используются двухслойные керамические элементы. Достигаемое при этом качество очистки соответствует результатам фильтрования на фильтр-прессах по ступенчатому режиму. В карусельном фильтре происходит непрерывная последовательная промывка патронов обратным током вискозы в течение 2–3 мин на каждый патрон. По аналогичному принципу работает фильтр с

фильтрующими элементами в виде пористых синтетических труб. Трубы отмываются от загрязнений посредством обратного гидроудара. Все элементы последовательно промываются противотоком с периодом от 2 до 25 мин. Из-за сравнительной сложности и ненадежности конструкций эти фильтры не нашли достаточно широкого промышленного использования.

Как было показано выше на примере керамических и синтетических фильтровальных элементов, стремятся регенерировать патроны из любых материалов, однако при фильтровании высоковязких растворов полимеров достижение полной регенерации ФП проблематично. В случае невозможности эффективной регенерации фильтра без разборки, стремятся повысить продолжительность его работы до перезарядки. Применение патронного фильтра с керамическими патронами, снабженными рукавом из рыхлого полипропиленового нетканого материала, с поверхностью фильтрования $1,4 \text{ м}^2$, обеспечивает эксплуатацию фильтра до перезарядки при фильтровании раствора полиоксациазола вязкостью до $300 \text{ Па}\cdot\text{с}$ в течение 4–5 месяцев.

Патронные фильтры изготавливаются из углеродистой и нержавеющей сталей. Полная герметичность патронных фильтров на всех стадиях процесса, регенерация без разборки фильтра и сравнительно быстрая механизированная перезарядка с использованием подъемных механизмов при замене использованных патронов на новые делают их наиболее подходящими при фильтровании токсичных сред, а также содержащих легко летучие вещества.

Однако патронные фильтры имеют существенный недостаток: сравнительно большой объем фильтра, приходящийся на 1 м^2 фильтрующей поверхности, вследствие чего при регенерации невозможна промывка фильтра от полимера малым количеством промывной жидкости (растворителя). При сбросе осадка из фильтра фильтруемой жидкостью вместе с осадком выводится большое количество фильтруемого материала. В некоторых случаях технологически нежелательным является большой буферный объем в фильтре для рабочей среды.

Способность некоторых полимеров деструктировать во времени приходится учитывать в производственной практике при определении необходимой поверхности фильтрования через плотные ФП. Указанного недостатка практически лишены свечевые фильтры.

3.3.3 Свечевые фильтры

Конструктивно эти фильтры можно рассматривать как однопатронные, поэтому габариты их обычно невелики. Малые габариты корпуса фильтра обеспечивают создание конструкций, выдерживающих очень высокие давления, во много раз превышающие значения давления фильтрования на патронных фильтрах. Это особенно важно, если принять во внимание аномалию вязкости растворов полимеров, вследствие которой интенсификация процесса в свечевых фильтрах снижает эффективную вязкость.

В производствах химических волокон для заключительной очистки прядильных растворов перед фильтерой применяют свечевой фильтр, называемый обычно «фильтр-палец» (рис. 11), с поверхностью фильтрования от 0,01 до 0,06 м². Широкий диапазон давлений фильтрования позволяет применять в различных случаях гибкие, жесткие, намывные фильтр-материалы, и использовать в полной мере их достоинства.

Для повышения емкости свечевых фильтров предложены разнообразные многослойные конструкции:

- с кольцевыми каналами, образованными перфорированными перегородками;
- с коаксиально расположенными дренажным и распределительным устройствами и фильтровальным материалом между ними;
- с концентрическими сетками, которые можно смешать вдоль оси и под углом;
- с пористой средой в кольцевом зазоре.

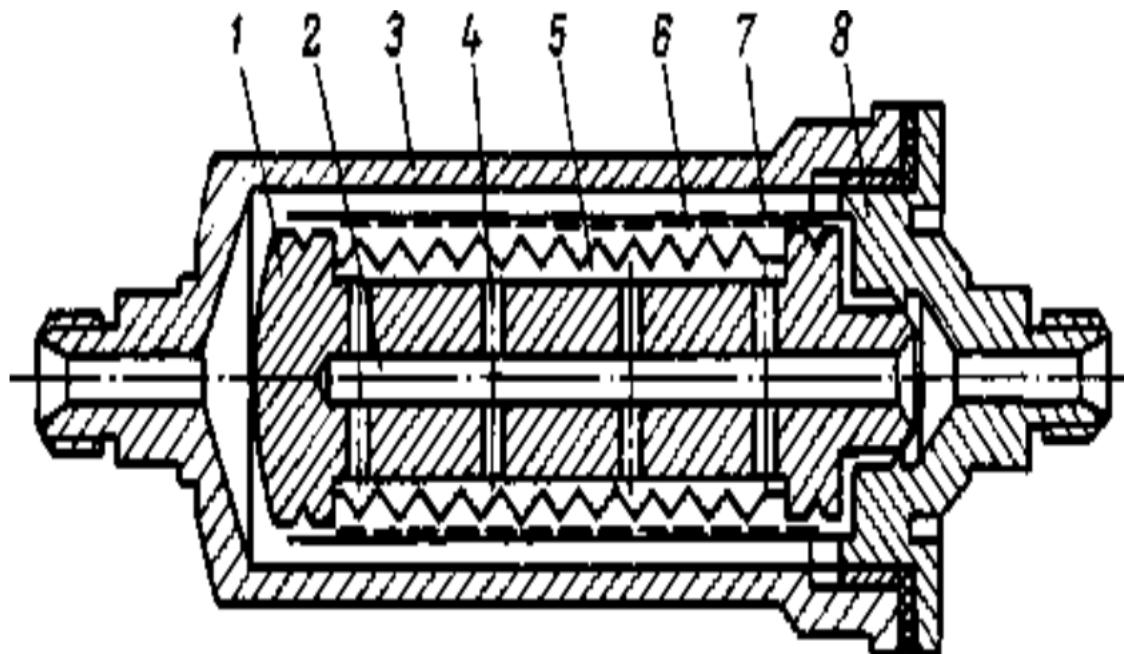


Рис. 11 – Фильтр–палец:

1 – палец; 2 – паз дренажный; 3 – корпус; 4 – отверстие дренажное; 5 – паз с рифлениями; 6 – сетка; 7 – фильтр-перегородка; 8 – переходник.

Увеличение рабочей поверхности достигается набором свечи из дисков. Предложен фильтр, в котором на каркас в виде бельчье колеса навит шнур треугольного сечения, острие которого направлено наружу.

Известно много фильтров со щелевыми свечами, обладающими хорошей способностью к регенерации при малой емкости вследствие чрезвычайно низкой доли живого сечения в общей поверхности фильтра. Предложены конструкции со специальными скребками для периодической чистки свечи (без разборки фильтра), состоящей из набора пластин; с фиксированным

зазором между витками проволоки, образующей каркас.

Для фильтрования прядильного раствора ПФТА в серной кислоте, неустойчивого при повышенной температуре, создана специальная конструкция свечевого фильтра, использующая отмеченное выше достоинство этого типа фильтров. В этой конструкции (рис. 12) коаксиальное расположение фильтровального элемента с корпусом фильтра использовано для достижения минимально возможного удельного объема фильтра, приходящегося на 1 м² поверхности фильтрования. Учитывая несущественную толщину осадка загрязнений на поверхности ФП, в фильтре использованы трубчатые крупногабаритные керамические фильтровальные элементы 1, размещаемые в цилиндрическом корпусе фильтра 2 с минимальным зазором, допускаемым гидравлическим сопротивлением течению раствора. Внутреннее пространство фильтровального элемента занято специальной цилиндрической вставкой 3, размещенной также коаксиально и также с минимальным кольцевым зазором для отвода фильтрата.

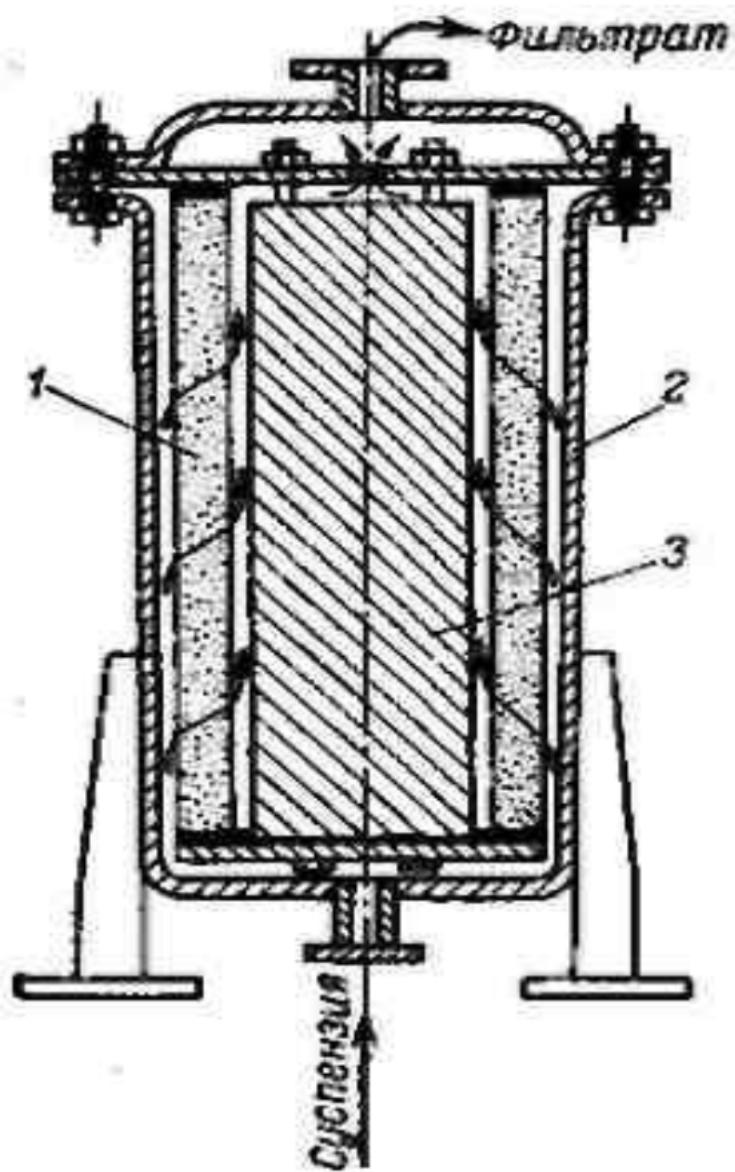


Рис. 12 – Схема свечевого фильтра:

1 – фильтровальный элемент; 2 – корпус; 3 – цилиндрическая вставка.

3.3.4 Дисковые фильтры

Для очистки высоковязких жидкостей, например вискозы, в дисковых фильтрах применяют в основном намывной слой вспомогательного вещества.

Дисковый фильтр представляет собой горизонтальный или вертикальный корпус, внутри которого по всей длине проходит полый вал с закрепленными на нем дискообразными фильтрующими элементами. В собранном виде диски образуют внутренние полости, соединенные с полостью вала. Эти полости дисков и вала являются зоной фильтрата. Каждый диск имеет каркас, покрытый дренажной сеткой. На дренажной сетке располагается фильтрующая перегородка. Дисковые фильтры с горизонтальными дисками используются шире, чем с вертикальными. Для фильтрования применяют диско-пакетные фильтры (рис.13), используя в качестве фильтрующей перегородки бумагу, картон, ткань или слой вспомогательного вещества.

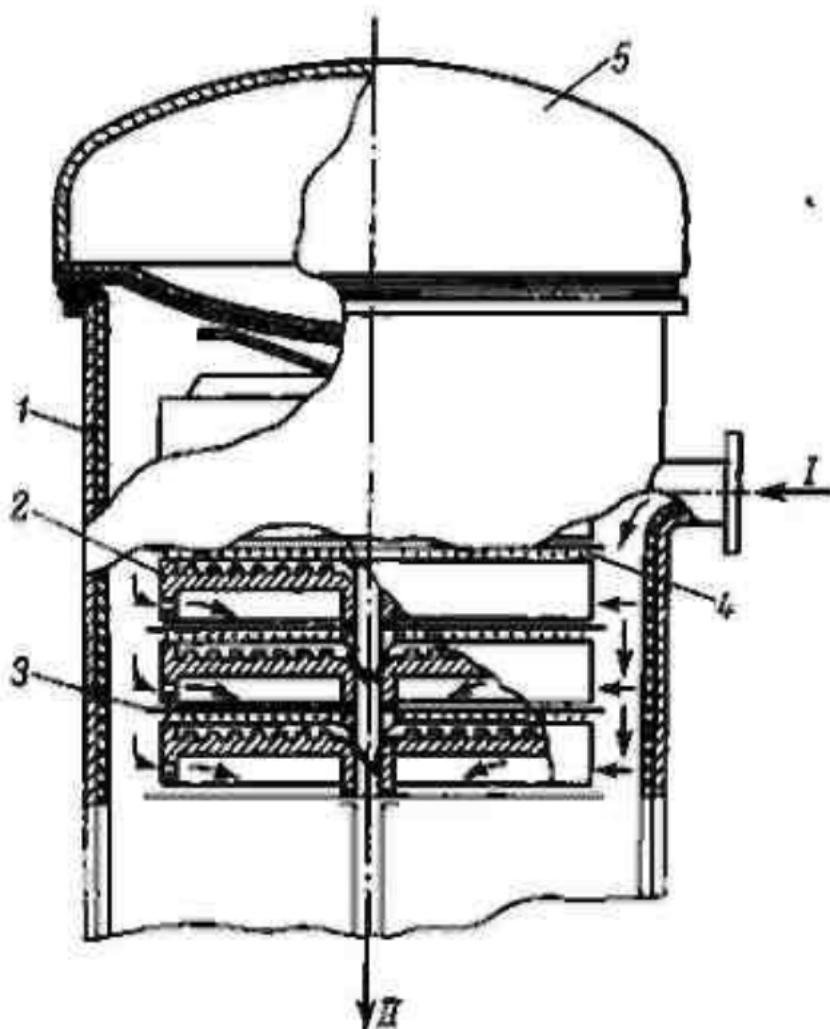


Рис. 13 – Схема дисково –пакетного фильтра:
 1 – корпус; 2 – диски; 3 – фильтровальная перегородка; 4 – сито; 5 – крышка;
 I – вход суспензии; II – выход фильтрата.

В вертикальном корпусе 1 дисково-пакетного фильтра расположен съемный блок или пакет из фильтрующих дисков 2. Фильтрующий диск состоит из днища, наружного обода и внутренней втулки, на которые уложено перфорированное сито 4 – дренажная основа для фильтрующей перегородки 3. Поверх сита укладываются лист фильтровального картона или ткани, уплотняемых при сжатии пакета. Фильтруемая жидкость попадает в корпус фильтра и через отверстия в наружном ободе дисков поступает в междисковое пространство. Жидкая фаза проходит через ФП, затем через отверстие во внутренней втулке и по центральному каналу, образуемому втулками дисков, выводится из фильтра.

Широкое распространение получил «фильтр Фунда» с намывным слоем (рис. 14).

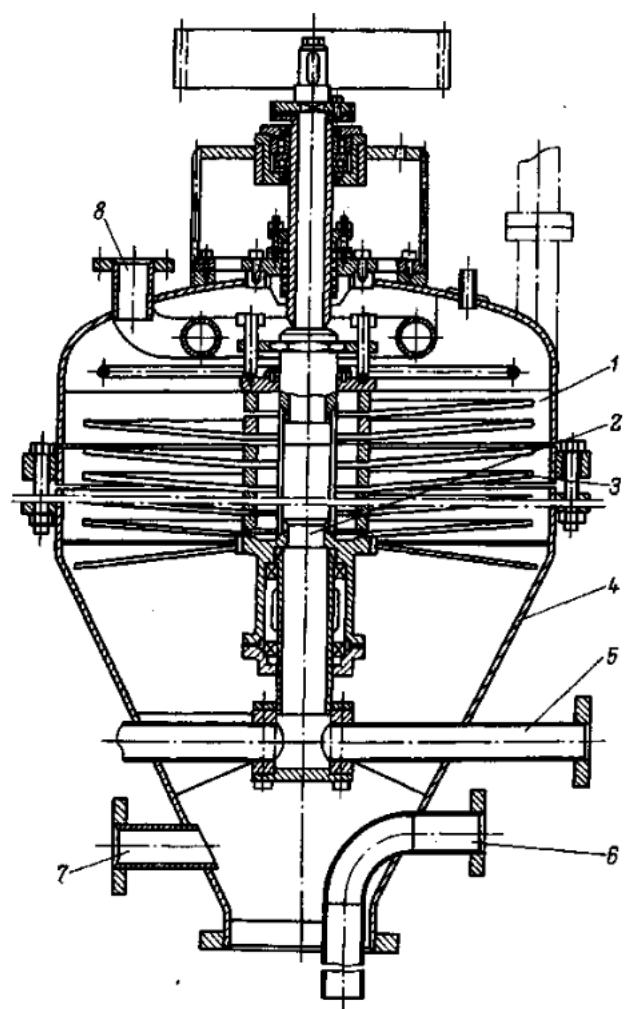


Рис. 14 – Фильтр Фунда (вертикальный разрез):

1 – корпус; 2 – полый вал; 3 – фильтровальные диски; 4 – днище; 5 – трубопровод для вывода фильтрата; 6 – патрубок для дофильтровывания; 7 – штуцер для подачи суспензии; 8 – штуцер для подачи сжатого воздуха (азота).

Фильтр представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат с коническим днищем. Суспензия подается по трубопроводу через штуцер 7.

Внутри корпуса имеется полый вертикальный вал 2, на котором крепятся диски 3. Нижняя сторона дисков служит опорой для дренажной сетки, на которой размещается фильтрующая перегородка. Между нижней сплошной стороной диска и фильтрующей перегородкой образуется полость, в которую попадает фильтрат. Эта полость сообщается с полостью вала. Из полости вала по трубопроводу 5 фильтрат выводится из фильтра. По окончании фильтрования оставшаяся в фильтре суспензия дофильтровывается. Для этого ее отбирают через патрубок 6 насосом и подают вновь на фильтровальные перегородки. Одновременно в фильтр через штуцер подают сжатый воздух (азот), с помощью которого фильтр освобождают от фильтруемой жидкости. После промывки осадка от вязкой жидкости его сбрасывают центробежной силой с дисков, которые приводятся во вращение двигателем, расположенным над фильтром.

Среди достоинств дисковых фильтров следует выделить конструктивную возможность получения самой высокой компактности аппарата, максимальной поверхности фильтрования, приходящейся на единицу объема.

Создан дисковый фильтр, в котором используются преимущественно тонкие металлокерамические или металловолокнистые ФП (рис. 15).

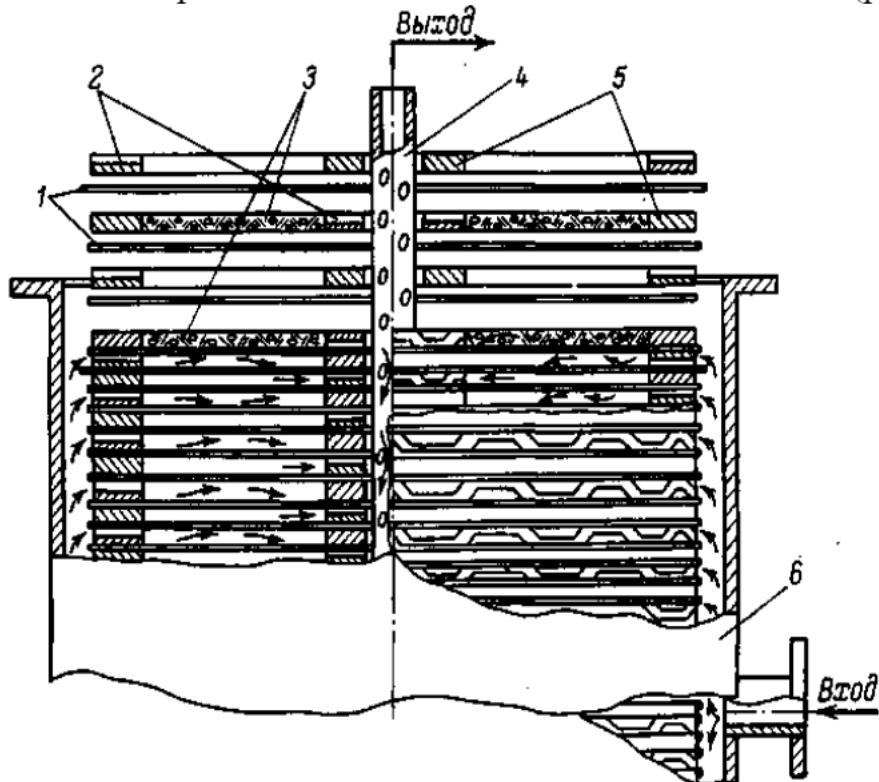


Рис.15 - Схема дискового фильтра для фильтрования через металлокерамику:

1 – фильтровальные перегородки; 2 – кольца с проточками; 3 – опорная объемная сетка; 4 – коллектор для фильтрата; 5 – гладкие кольца; 6 – корпус.

Жидкость с очень малой концентрацией взвешенных загрязняющих

частиц с целью тонкой очистки подают в корпус фильтра. Через проточки в наружных кольцах она поступает в зазоры между перегородками (через один, например, только в нечетные зазоры). Под напором давления нагнетания из этих зазоров жидкость продавливается сквозь перегородки в соседние зазоры между ФП – четные. Из этих промежутков фильтрат уходит через проточки малых колец в центральный выходной коллектор 4. Для свободного движения фильтрата и обеспечения жесткости пакета в соответствующих зазорах между ФП размещены опорные объемные сетки 3.

3.3.5 Способы фильтрования через намывной слой

Плиты фильтр–пресса с гидромеханической выгрузкой осадка имеют наружные фильтрующие сетки с размером ячейки 63–80 мкм. Они опираются на более грубые дренажные сетки с размером ячейки 800–1000 мкм, между которыми размещается каркас (сетка с размером ячейки 5 мм). На фильтрующую сетку наносится слой диспергированного материала и вместе с ней он образует ФП фильтр–пресса.

Процесс фильтрования вискозы на таком фильтре осуществляется следующим образом (рис.16). В смеситель М–1 подают расчетное количество раствора полимера (вискозы). При работающей мешалке смесителя М–1 в него из смесителя М–3 передают расчетное количество водной суспензии порошка ПВХ и перемешивают в течение 20–30 мин, добиваясь однородности суспензии порошка ПВХ в разбавленной вискозе. Суспензию подают на заполнение фильтр–пресса. Затем фильтр–пресс переводят на режим намыва первоначального фильтрующего слоя, т.е. на циркуляцию в контуре «смеситель М–1–насос–фильтр–смеситель М–1».

По окончании намыва, которое определяют по прекращению роста давления на входе фильтр–пресса, переходят к процессу фильтрования. При этом разбавленная вискоза вытесняется из фильтра и коммуникаций в смеситель, параллельный смесителю М–1. Переключением арматуры переводят фильтр в режим фильтрования. Во время фильтрования в нефильтрованную вискозу непрерывно добавляют порошок ПВХ (в виде его суспензии в разбавленной вискозе, оставшейся в одном из смесителей от предыдущего цикла). Добавки невелики по объему и практически не влияют на состав фильтрата, но постепенное наращивание намывного слоя увеличивает грязеемкость ФП и срок ее службы. Установленный в нижнем канале фильтр–пресса вал лопастями при вращении обеспечивает разрушение комков и облегчает удаление пульпы из фильтрата. После продувки фильтра сжатым воздухом фильтр подготовлен к следующему циклу. Пульпа передается сжатым воздухом в бак Б–1 (декантатор). Во избежание оседания порошка ПВХ в баке Б–1 непрерывно барботируют сжатый воздух.

Из бака суспензию центробежным насосом перекачивают во флотационную колонну К–1. Колонну подпитывают умягченной водой. Пенный слой, насыщенный порошком ПВХ, через пеносборник сбрасывают в

емкость М-2 с «плавающей» мешалкой. Здесь дополнительно дважды промывают порошок свежей водой с последующим отстаиванием. Подготовленный порошок в виде водной суспензии насосом перекачивают в смеситель М-3, где после восполнения потерь порошка свежими добавками готовят намывную суспензию.

В качестве намывного материала используют композицию мелконарезанных поливинилхлоридного и модифицированного гидратцеллюлозного волокон. По своей эффективности установка заменяет две ступени фильтрования традиционным способом на фильтр-прессах, позволяет интенсифицировать процесс, сократить расход дефицитных хлопчатобумажных материалов, уменьшить вредные выделения на производстве.

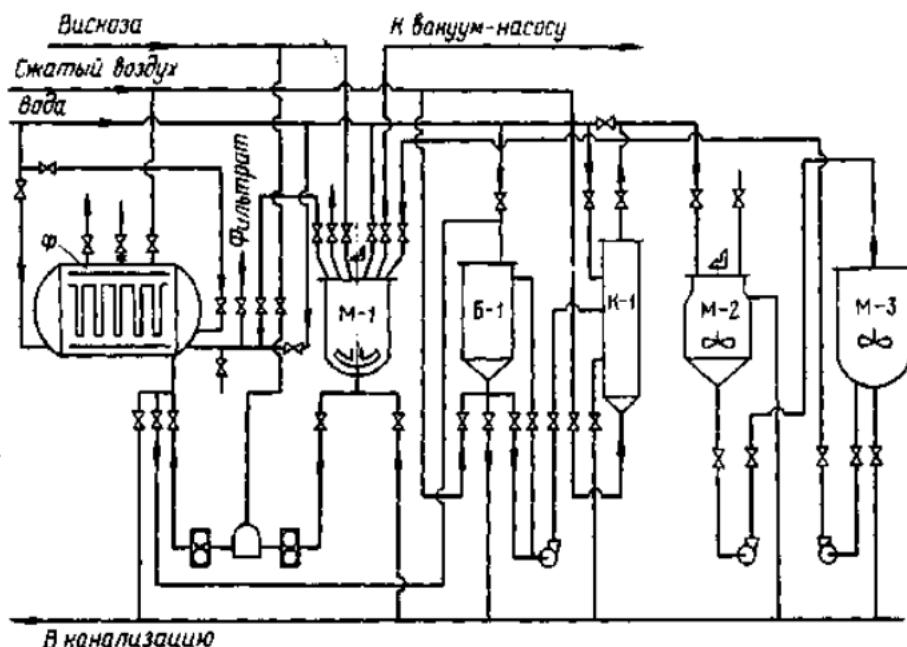


Рис. 16 – Принципиальная схема промышленной установки фильтрования вискозы через намывной слой

Технологический принцип фильтрования через намывной слой устраняет основной объем ручных операций, требующих значительных затрат физического труда. Остаются лишь изменение положения запорной и регулирующей арматуры, включение и выключение двигателей. Это создает благоприятные условия для полной автоматизации работы установок /5/.

При данном способе фильтрования утилизация полимерных отходов производства не вызывает серьезных затруднений, неизбежно возникающих при перезарядках любых фильтров для растворов полимеров.

Однако у данного способа фильтрования имеется недостаток. Он заключается в необходимости частой перезарядки фильтров и, следовательно, в низком коэффициенте рабочего времени оборудования. По этой причине невыгодно использовать способ в технологических линиях малой

производительности.

3.3.6 Фильтры непрерывного действия

Фирмой «Брансвик» (Великобритания) предложен самоочищающийся фильтр, обеспечивающий непрерывное фильтрование раствора полимера со скоростью $1,0\text{--}1,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{ч})$, т.е. на порядок, превышающей скорость фильтрования через намывной слой на дисковых фильтрах. Фильтр состоит из цилиндрического корпуса, на поверхности которого закреплен волокнистый нетканый материал, а поверх него металлическая сетка. Внутри перфорированного цилиндра перемещается поршень, состоящий из двух дисков, закрепленных на полом валу.

Швейцарская фирма «Цурн–Страйн–О–Матик» разработала фильтр непрерывного действия, состоящий из цилиндрического корпуса и фильтровального элемента из мелкоячеистых сит, внутри которого на полом валу размещена регенерационная камера, охватывающая некоторый сектор фильтровальной поверхности. Фильтр работает в режиме постоянной скорости. Производительность фильтра $2\text{--}4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В США для фильтрования вискозы создан фильтр с поверхностью фильтрования $4,75 \text{ м}^2$, подобный предыдущему фильтру, но с противоположным направлением фильтрования – регенерации.

Известен фильтр непрерывного действия шведской фирмы «Зунд АБ» типа «Вискоматик», с положительным опытом длительной эксплуатации. Раствор полимера фильтруют через двухслойный материал, состоящий из спрессованного металлического волокна различной толщины на тканой подложке. Высокая пористость при сравнительно малой толщине обеспечивает даже при малом размере пор (до 5 мкм) низкое начальное сопротивление ФП. Скорость фильтрования, на два порядка превышает скорость фильтрования на фильтр–прессах.

Главная техническая идея, реализованная в данном фильтре, состоит в поддержании минимального уровня засоренности ФП. У фильтра «Вискоматик» эта проблема решена за счет кратковременного пропускания части фильтрата противотоком через ФП. Это небольшое количество фильтрата смывает осевшие на перегородке загрязнения и вместе с ними удаляется из фильтра отсасывающим приспособлением. Отсасывающее приспособление, закрепленное на полом врачающемся валу, скользит щелевым соплом по внутренней стенке фильтровального цилиндра по всей его высоте, обегая за оборот всю фильтровальную поверхность. Оно действует как пылесос.

Удовлетворительный результат, как правило, достигается при наличии со стороны фильтрата противодавления. Давление в щели отсасывающего сопла должно быть всегда ниже, чем давление фильтрата. Для эффективной очистки эта разность должна превышать ΔP на ФП при фильтровании.

Схема фильтра «Вискоматик» приведена на рис.17. ФП из

нержавеющей стали 1 зажимают между двумя перфорированными цилиндрами 2 и 3. Две обечайки сверлятся одновременно, наружная обечайка выполняется разборной. Внутри находится вращающееся отсасывающее приспособление, состоящее из полой оси 4, рычага 5 и щелевого сопла 6. Через полый рычаг и ось сопло сообщается с отсасывающим насосом. Перфорированный цилиндр с ФП и отсасывающее приспособление размещены в корпусе 7 сосуда, работающего под давлением. Сосуд снабжен штуцерами: в днище для входа суспензии внутрь фильтровального цилиндра и сбоку для выхода фильтрата из кольцевого зазора между фильтровальным цилиндром и цилиндрической стенкой корпуса. С помощью насоса раствор полимера подают к фильтру. При этом давление P_1 , создаваемое насосом, в установившемся режиме работы фильтра составляет 1 МПа. Фильтрат по выходе из фильтра протекает через регулируемый дроссель, с помощью которого устанавливают противодавление P_2 (до 0,85 МПа), превышающее давление в отсасывающем устройстве P_3 .

Количество отсосанного фильтрата регулируется производительностью шестеренчатого насоса, которую можно менять изменением частоты вращения привода постоянного тока.

В зависимости от загрязненности исходной жидкости количество отсасываемого фильтрата составляет 68% от производительности фильтра. Фирма «Зунд АБ» рекомендует для ее разделения вновь использовать фильтр «Вискоматик». Опыты показали, что отходы в итоге составляют 0,2–0,4% от исходного количества полимерного раствора.

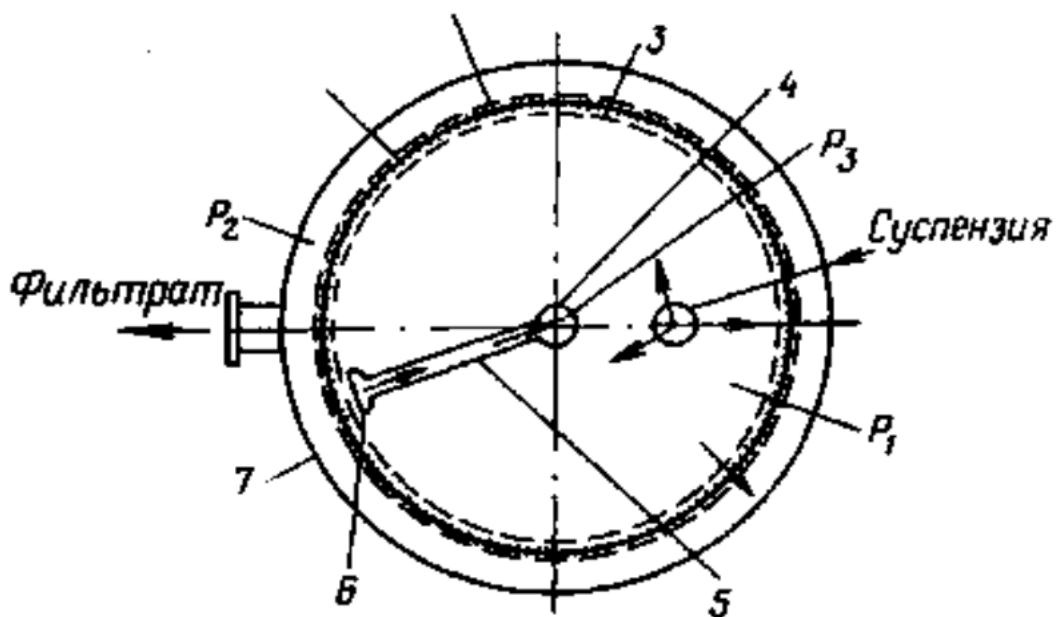


Рис. 17 – Схема фильтра «Вискоматик»:

1 – фильтр-перегородка; 2, 3 – перфорированные цилиндры; 4 – полая ось; 5 – рычаг; 6 – щелевое сопло; 7 – корпус; $P_1 > P_2 > P_3$.

По этому же принципу работает фильтрационная установка системы ККФ производства австрийской фирмы «Ленцинг АГ». Система ККФ полностью автоматизирована и непрерывна, базируется на принципе глубокой фильтрации. Металлическая ткань, используемая в виде фильтрующего материала, задерживает частицы разной фракции и формы.

Фильтр ККФ-18 предназначен для фильтрации вискозы после смешения (при подготовке к формированию). Фильтр представляет собой цилиндрический сосуд, имеющий две полости, разделенные фильтровальной металлической тканью, при этом вискоза фильтруется из внешней полости во внутреннюю (рис. 18). Во внутренней полости перемещается поршень. При достижении заданного перепада давления на входе и выходе из фильтра (не более 0,35 МПа) поршень автоматически включается и, перемещаясь, создает давление отфильтрованной вискозой, необходимое для очистки противотоком фильтровальной ткани от привнесенных загрязнений.

Нефильтрованная среда транспортируется в камеру Р1 через проем подачи подающего насоса. Выделение производится до тех пор, пока нефильтрованная среда проходит через камеру Р1 в камеру Р2 и между этими двумя камерами фильтрационный материал устанавливается на перфорированном барабане. Фильтрованная среда выгружается через выходное отверстие и подается в уравнительный напорный бак Р2 или прядильный бак.

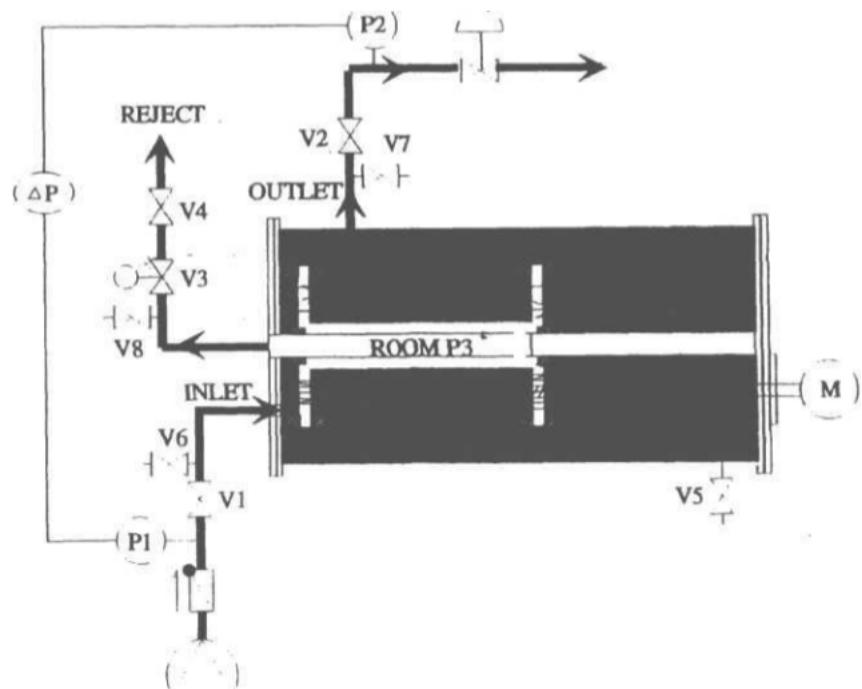


Рис. 18 – Фильтр ККФ-18

После максимального уровня загрязнения вся поверхность фильтрующего материала очищается по принципу «обратной струи» – за счет перемещения отходов от крышки до дна и обратно. Отверстия в виде каналов

между поршневыми кольцами уплотняются в сторону внутренней поверхности перфорированного барабана (опоры фильтрующего материала). Промывку в целях смычки грязи с фильтрующего материала производят струей минимального количества моющей жидкости (фильтрата). В качестве фильтрата используют воду. Мойка фильтровой сетки происходит согласно основной программе:

- вытеснение вискозы из фильтра водой;
- промывка фильтра водой (рис. 19);
- промывка фильтра щелочью;
- откачивание щелочи из фильтра с помощью вискозы.

Засорению фильтрующего материала сопутствует постепенное повышение перепада давления ΔP между камерой Р1 и камерой Р2 (для нормального рабочего режима давление должно быть в пределах от 1,0 до 4,0 бар).

Промывка осуществляется в следующей последовательности:

- a) умягченную воду наливают в водяной бак до уровня 1 м³;

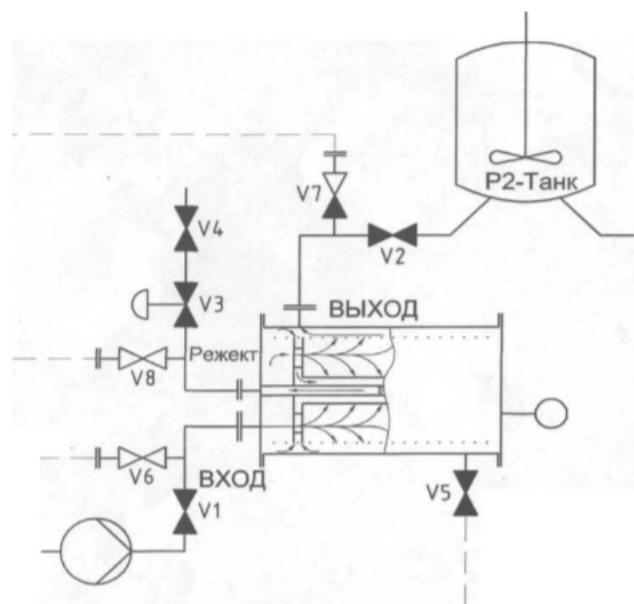


Рис. 19 – Промывка фильтра ККФ – 18 водой

б) производят рециркуляцию воды моечным насосом от водяного бака через клапан V6 и фильтр и через поршень и клапан V8. Вода должна возвращаться в водяной бак с одновременным включением поршня. Клапан V7 периодически открывают в течение рециркуляции (циклы по 2 минуты), чтобы промыть выходную линию фильтра. Такая циркуляция происходит в течение 15 мин. После этого клапан V8 закрывают и открывают клапан V5 и всю воду сливают через клапан V5 в дренажный канал.

в) клапан V5 закрывают, а клапан V8 открывают, в водяной бак наливают около 1000 литров умягченной воды и повторяют циркуляцию.

Этот моечный цикл повторяют трижды. Запуск фильтра осуществляется

со щита управления. Загрузка фильтра производится в следующей последовательности:

- 1) открывают клапан отбора проб V7;
- 2) открывают клапан подачи V1, спускной клапан (V2) должен быть закрытым;
- 3) запускают насос при пропускной способности 1000–2000 л/ч.

Для загрузки фильтра необходимо приблизительно 500 литров вискозы. При средней загрязненности вискозы процесс загрузки может вестись в направлении фильтрации из камеры Р1 до камеры Р2. При грязной вискозе камеру Р1 следует наполнить нефильтрованной, а камеру Р2 – фильтрованной вискозой.

Отфильтрованная вискоза из приемного сборника Р2 при избыточном давлении до 4 МПа направляется в аккумуляционные емкости. Регулировка суммарного расхода фильтруемой вискозы производится автоматически. Негодная к дальнейшей переработке вискоза после ККФ–фильтров собирается в приемном резервуаре с мешалкой.

После фильтра ККФ чистая вискоза, проходящая через фильтровальное полотно в обратном потоке, очищает полотно от загрязнений, смешивается с грязной вискозой и собирается в приемном сборнике с мешалкой. При помощи двух насосов (рабочий + резервный) вискозу подают на фильтр-пресс, а потом возвращают в резервуар для неотфильтрованной вискозы и еще раз подвергают фильтрованию на ККФ–фильтре. Оставшуюся в фильтр–прессе вискозу смывают водой для удаления с фильтровального полотна и сбрасывают в канализацию. Фильтровальные полотна очищают в моечной машине и возвращают в производство.

Некоторые характеристики фильтра ККФ–18:

- каждое фильтровальное устройство включает в себя привод, раму фильтра, фильтр-полотно из нержавеющей стали, обеспечивающее высокую степень сепарации;
- материал перфорированного барабана – нержавеющая сталь;
- максимальное рабочее давление – 16 МПа.

Фильтры непрерывного действия имеют высокопроницаемые ФП и работают с низкой степенью засоренности. Эти два фактора обеспечивают высокую скорость фильтрования, которая с избытком компенсирует дефицит фильтровальной поверхности, возникающий из-за нерациональной укладки фильтр–материала в объеме фильтра. Поэтому размещенные на сравнительно небольших производственных площадях аппараты составляют высокопроизводительные системы фильтрования.

На протяжении нескольких месяцев фильтры работают в установившемся режиме, с практически неизменным состоянием и свойствами ФП.

Все перечисленные достоинства фильтров непрерывного действия реализуются без особых трудностей на стадиях предварительного

фильтрования, предназначенных для отделения основной массы загрязнений. Вместе с тем режим работы фильтра не гарантирует достаточно высокой тонкости очистки, в целях доведения чистоты раствора полимера до требуемых норм требуется заключительное фильтрование через более плотную ФП, например, на фильтр-прессах, которые будут работать с длительными циклами из-за низкого содержания загрязнений в растворах, поступающих от фильтров непрерывного действия /5/.

4 Фильтровальные перегородки для вязких растворов полимеров

При выборе фильтрующих элементов учитывают специфику и особенности растворов полимеров: степень загрязненности до и после фильтрования, вязкость, агрессивность, термостойкость, стабильность во времени, ограничения по скорости фильтрования, условия безопасности.

Нефильтрованные растворы полимеров представляют собой среды с низкой концентрацией (порядка 0,01%) взвешенных частиц, включая гелеобразные. Фильтрованием необходимо обеспечить высокую тонкость очистки, поэтому ФП должна быть достаточно плотной, однородной и надежной: в ней должны быть исключены случайные нарушения цельности, ограничены дисперсия диаметра пор и их максимальный диаметр. Такая перегородка имеет сравнительно большое гидравлическое сопротивление. С этим особенно приходится считаться при фильтровании жидкостей с высокой вязкостью. С целью повышения эффективности фильтрования таких жидкостей прибегают к значительным перепадам давления, либо увеличивают поверхность фильтрования. Однако, при этом снижается надежность зарядки фильтров, ухудшается тонкость очистки. Поэтому при фильтровании высоковязких растворов полимеров (свыше 50 Па·с) предпочтительно выбирать несжимаемые или ограниченно сжимаемые перегородки.

Осадки на ФП бывают обычно липкими, мажущимися и при механическом воздействии способны пластически деформироваться, т.е. вести себя как жидкие тела. Так может вести себя осадок даже мелкокристаллических частиц, собранных и склеенных в непрочные агрегаты. Чаще всего это сгустки, гелеобразные частицы, наполненные мелкодисперсной твердой фазой, нерастворившиеся частицы с разбухшей, гелеобразной оболочкой. Они полностью блокируют отдельные поры, принимая соответствующую форму, и ведут себя как бингамовские системы: до определенного критического значения напряжения сдвига τ_{kp} – это твердые тела; при дальнейшем увеличении напряжения сдвига тело начинает скользить или даже течь, как жидкость, подчиняясь закону Ньютона. При таком движении часть агрегатов распадается на мелкие частички, часть выходит целиком и благодаря свойству тиксотропии (способности к восстановлению структуры при снятии напряжения) вновь становится твердой частицей, но уже находящейся в фильтрате. Особенно нежелательны

агрегаты, возникшие на основе гель-частиц, так как они обладают свойством обратимой деформации.

Указанные явления ограничивают допустимый перепад давления, величина которого зависит от свойств фильтруемой среды, структуры и параметров перегородки. Высокие значения перепада давления (максимальные значения ΔP достигают 5 МПа) и, соответственно, входного давления требуют высокой прочности перегородок и аппаратов, при этом не всегда оправдываются вызванные этим затраты.

Следует заметить, что чрезмерное увеличение перепада давления не приводит к большому выигрышу по ресурсу работы фильтра, поскольку отложившийся осадок уплотняется и делает перегородку малопроницаемой. При необходимости использования сжимаемых ФП и при образовании уплотняемого осадка следует искать пути снижения перепада давления, например, применяя многоступенчатое фильтрование, понижение вязкости среды и др.

Снижения общего содержания загрязнений в растворе полимера можно добиться путем тщательного фильтрования низковязких исходных растворителей, растворов мономеров и олигомеров.

Среди несжимаемых перегородок широко применяются перегородки из зернистого материала, связанного (спеченного) и несвязанного (намывного и насыпного слоев вспомогательных веществ). Такие перегородки обладают значительной дисперсией диаметров пор.

Ограничение полидисперсности зерен материала ФП диктуется не только максимально допустимым диаметром пор. Нежелательны отклонения от среднего (номинального) размера пор и в сторону их уменьшения. Слишком малого размера поры труднопроходимы для жидкости, особенно с учетом тормозящих пограничных слоев. Обилие таких пор, вызванное полидисперсностью зерен, снижает не только проницаемость перегородки, но и ее грязеемкость из-за понижения пористости; пустоты между зернами средней величины и более крупными, предназначенные для течения жидкости и отложения там загрязнений, оказываются уже занятыми мелкими частичками материала. Перегородка как бы заранее загрязнена. Изложенное выше для зернистых ФП касается однослойных перегородок или отдельных слоев комбинированных ФП любой природы и структуры пор. Мелкие поры практически полностью непроницаемы, поэтому на них нельзя рассчитывать для улавливания наиболее мелких частиц.

Для отделения мельчайших взвешенных частиц внимание уделяют повышению сорбционных свойств материала перегородки, увеличению диаметра пор с одновременным удлинением их каналов, с повышением их извилистости, разветвленности, шероховатости внутренних стенок.

При задерживании мелкодисперской фракции взвешенных частиц необходимо следовать правилу, заключающемуся в том, что чем мельче частицы и, следовательно, больше их удельная поверхность, тем в большей степени проявляется действие поверхностных и электрохимических сил. Вот почему на сравнительно крупных гранулах насыпных объемных

фильтров удается очищать до практически полной прозрачности мутные жидкости, засоренные микроскопическими частицами, а также отфильтровывать от мельчайших частиц высоковязкие прядильные расплавы и растворы.

Улучшение адгезии за счет подбора для ФП материала с повышенной капиллярной впитываемостью, лучшей смачиваемостью и набухаемостью, применение специальных лиофильных обработок перегородок и фильтруемой среды, добавка к фильтруемой жидкости специальных сорбентов значительно улучшает очистку от самых мелких фракций загрязняющих частиц.

Практически все мелкие частицы твердой фазы размером в несколько мкм несут на себе электрический заряд. На границе раздела фаз «перегородка–жидкость» возникает двойной электрический слой с поверхностным потенциалом, зависящим от химической природы материала. Величина этого потенциала влияет на прочность удержания частиц с электрическим зарядом. Если при фильтровании той или иной среды ФП и загрязняющие частицы приобретают разноименные электрические потенциалы, то чем больше абсолютная величина каждого из этих потенциалов, тем значимее при прочих равных условиях сорбционный фактор фильтрования и тем больше в задержанных загрязнениях частиц тонкодисперсной фракции.

Знак потенциалов зависит не только от материала ФП, природы частиц, но и от фильтруемой среды. Например, силикатные перегородки (песок, керамика) в кислых средах приобретают на поверхности положительный электрический заряд, а в щелочных отрицательный. В случае возникновения одноименных зарядов на поверхностях ФП и частиц фильтруемой среды увеличение абсолютной величины потенциалов приводит, очевидно, к ухудшению условий сорбционного фильтрования. Ткани из синтетических материалов в большинстве своем имеют отрицательный поверхностный потенциал, превосходящий в несколько раз аналогичный потенциал хлопчатобумажных тканей. Поэтому загрязнения большинства сред, имеющие также отрицательный потенциал, больше загрязняют ткани натуральные и чаще проскаивают сквозь поры синтетических тканей при одинаковом размере пор. По причине этого различия проницаемость синтетических тканей выше.

Несмотря на сравнительно высокие значения перепада давления на ФП, скорости фильтрования сравнительно низки, и для обеспечения необходимой производительности требуются большие поверхности фильтрования и большое число фильтров. Сокращение поверхности и соответствующее повышение скорости фильтрования не только укорачивает срок достижения той же степени засоренности ФП, но и требует прекращения процесса при более низких значениях R_{kp} , так как при увеличенной скорости предельно допустимые значения перепада давления достигаются при меньшей степени засоренности ФП. Таким образом, частота перезарядок фильтра растет быстрее, чем скорость фильтрования. Из этого ясно, насколько важна предварительная грубая очистка прядильного раствора.

Большие поверхности фильтрования повышают значимость учета агрессивных свойств фильтруемых сред, так как речь идет о сохранении фильтровальных свойств большого количества фильтр-материала, сохранении его прочности.

Большинство прядильных растворов содержит химически активные вещества, сильные растворители. К ним относятся щелочь, сероводород, соляная кислота, соли (роданиды, хлориды), серная кислота (моногидрат), свободный серный ангидрид, ацетон, диметилформамид (ДМФ), диметилацетамид (ДМАА), диметилсульфоксид и др. Наличие этих веществ в рабочих средах ограничивает выбор фильтр-материалов.

По химическому составу фильтр-материалы независимо от их структуры можно разделить на следующие группы: из полимеров растительного и животного происхождения – натуральные; из синтетических полимеров; минеральные, а также из стекла, фарфора, черепицы; измельченные или сформованные в зерно; металлические. Этим группам фильтр-материалов можно дать приблизительную оценку в отношении их применимости для фильтрования агрессивных жидкостей. Наиболее устойчивы к агрессивным средам минеральные материалы, особенно к действию кислот и органических растворителей. Щелочные среды оказывают деструктирующее воздействие на минеральные материалы, содержащие кремниевую кислоту. Металлические фильтр-материалы устойчивы в щелочах /5/.

Натуральные и синтетические полимерные материалы, применимые в одних средах, могут быть противопоказаны в случае других химически активных сред и органических растворителей (см. приложение А).

4.1 Гибкие фильтр – перегородки

Благодаря возможности регулирования и достижения высокой степени однородности фильтровальных свойств по поверхности, а также с учетом сравнительно высокой прочности, фильтровальные ткани из всевозможных волокон и проволоки являются наиболее широко распространенными фильтрующими материалами. Важное место среди тканых фильтр-материалов занимают металлические проволочные сетки. Особенно часто применяют металлические сетки квадратного плетения. Размер стороны квадрата, образованного переплетением под прямым углом проволоки круглого сечения, определяет номер сетки и является легко контролируемой оценкой тонкости фильтрования ФП. Для увеличения тонкости очистки желательно уменьшение размера ячеек. Однако, при этом снижается размер живого сечения ФП, который достигает 28 % в тонкой сетке с размером ячейки 40 мкм.

При стремлении уменьшить размер ячейки и улучшить тонкость очистки, сетку можно прокатать, однако из-за сильного роста гидравлического сопротивления сетки этот способ практикуется редко.

В зависимости от плотности и способа укладки утка относительно

основы тканые металлические сетки могут быть гладкими, саржевыми, одно- и двухсторонними. Гладкие фильтровальные сетки имеют густое полотняное переплетение, проволоки утка уложены друг к другу вплотную. Саржевые сетки оказываются еще более плотными, так как в них уточные нити располагаются в два ряда. Тем самым повышается их задерживающая способность. Тонкость очистки на таких сетках достигает 10–20 мкм. Проволоки, подобно волокнам, могут скручиваться в пряди в несколько сложений. Такого рода проволочные сетки называются прядковыми. Частицы малого размера задерживаются лучше именно такими сетками. Но для достижения тонкого фильтрования в пряди должна скручиваться очень тонкая проволока.

При очевидных достоинствах сеток в качестве фильтр-материалов они характеризуются низкой грязеемкостью и высокой стоимостью. Область их использования ограничена химической активностью металла. Механизм фильтрования через сетки основан исключительно на ситовом эффекте. Задержка на ФП частиц меньшего, чем ячейка сетки, размера может осуществляться лишь после образования слоя осадка. Указанные недостатки сеток почти не наблюдаются в случае текстильных фильтр-материалов.

Фильтровальные ткани

Фильтровальные ткани из текстильных нитей бывают полотняного, саржевого и сатинового переплетений. Полотняным переплетением характеризуются такие ткани, как фильтробельтинг, фильтромиткаль, суровая бязь, стеклоткани и некоторые другие. При сравнительно высокой тонкости очистки эти ткани имеют повышенное гидравлическое сопротивление, что связано с низкой открытой пористостью, включающей только поры между нитями. Большинство фильтровальных тканей имеет саржевое переплетение, например, фильтрофланель, байка, многие синтетические и стеклянные ткани. Рубчиковая поверхность саржевой ткани увеличивает проницаемость и грязеемкость ФП. Сатиновое переплетение придает тканям гладкую поверхность. По прочности и тонкости фильтрования сатиновые ткани уступают саржевым и полотняным.

Использование для очистки растворов полимеров тканей позволяет использовать самую компактную аппаратуру, с большой удельной поверхностью фильтрования, такую, как фильтр-пресссы и дисковые фильтры. Зажатые между металлическими или пластмассовыми поверхностями (фланцами, кольцами, плитами и рамами) ткани обеспечивают герметичность уплотнений. После засорения фильтровальные ткани могут быть отстираны и повторно использованы для зарядки фильтров.

Техника изготовления тканей обеспечивает им высокую прочность и однородность фильтровальных свойств, проницаемость и тонкость фильтрования. Фильтровальные свойства тканей зависят от таких факторов, как структура пряжи, ее пористость, наличие ворса, адгезионные свойства, пористость и шероховатость элементарных волокон, их набухаемость и гидрофильтрность.

Под действием напора фильтруемой жидкости происходит

сплющивание отдельных нитей, что приводит к уменьшению размеров проходных пор и к повышению гидравлического сопротивления. Это характерно для тканей, сотканных из низкоокрученой пряжи натуральных и искусственных волокон. Нити из синтетических и стеклянных волокон обладают высокой упругостью и практически не подвержены деформации. Поэтому бывает целесообразно использование комбинированных тканей, в которых сочетаются упругие свойства одних нитей и повышенная задерживающая способность других. Общая пористость ткани слагается из пор, образуемых интервалами между скрученными нитями, и межволоконных пор. Проницаемость определяют поры между нитями, так как они на 12 порядков крупнее межволоконных пор. Поэтому эффективная пористость ткани оказывается, как правило, небольшой, менее 10 %. Межволоконные поры улучшают лишь адгезионные свойства ткани. Эти поры, а также ворс позволяют увеличивать проницаемость и грязеемкость ФП посредством увеличения проходных пор без потери задерживающей способности. В этом отношении очень эффективно искусственное повышение ворсистости. Начес создает дополнительную грязеемкость, так как фильтрование здесь осуществляется через поры между отдельными волоконцами /5/.

Нетканые фильтровальные материалы

Нетканые материалы изготавливают из хлопка, искусственных и синтетических волокон и их смесей, а также получают непосредственно из расплава полимера аэродинамическим способом. Уступая фильтр-тканям по прочности, они превосходят их по проницаемости, грязеемкости и тонкости очистки. Для изготовления нетканых фильтровальных материалов используют волокна диаметром 0,3 – 12 мкм, в то время как в тканях диаметр комплексных нитей составляет 60 – 350 мкм. Это обусловливает очень высокую пористость и малый размер пор нетканых ФП.

Нашедшие применение в промышленности химических волокон нетканые фильтровальные материалы дали положительные результаты: скорость фильтрования вискозы повысилась в целом на 25 – 30%, а нетканые материалы поверхностью плотностью 600 – 700 г/м² и толщиной 3,5–4,4 мм из полиамидных и полипропиленовых волокон позволили добиться повышения скорости фильтрования вискозы по сравнению с байкой в три раза.

В целях сокращения расхода хлопчатобумажных материалов на первой ступени фильтрования растворов ацетилцеллюлозы хлопковый материал с успехом заменен иглопробивным нетканым материалом. При этом увеличилась продолжительность работы фильтр-прессов. Для фильтрования раствора поливинилхlorида используют полиэфирный иглопробивной материал. Это обеспечивает высокую чистоту раствора и длительный цикл фильтрования. При фильтровании высоковязких растворов полимеров в 100%-й серной кислоте используют нетканый иглопробивной материал поверхностью плотностью 500 г/м² из хлорина. Благодаря хорошей регенерируемости и возможности многократного использования, химической

стойкости и хорошим фильтровальным свойствам, нетканый материал из хлорина нашел применение для фильтрования вискозы, причем полный срок службы его в несколько раз выше, чем свансбоя и байки. Для фильтрования вискозы могут быть использованы также нетканые материалы из полипропилена, полиамида, поливинилхлорида, причем лучшими фильтровальными свойствами обладают материалы типа «спанбонд» против войлоков, полученных механической обработкой готовых волокон.

Среди различных типов нетканых материалов из химических волокон выделяются в особую подгруппу тонковолокнистые нетканые материалы, основной задачей которых является достижение особо тонкой очистки. Поскольку материалы из волокон серийных ассортиментов непригодны для производства ФП с размером пор меньше некоторого предела, обусловленного диаметром волокон, и зачастую не обеспечивают необходимой тонкости очистки, разработаны технологии получения ультратонких волокон. Распространенные нетканые тонковолокнистые фильтр-материалы (фильтры Петрянова) изготавливаются из волокон диаметром от 3 мкм до 0,1 мкм и меньше и обладают пористостью до 98 % без подпрессовки, 70 % - при подпрессовке слоя. Волокна большего диаметра используются как каркасные, ячейки материала заполняют в двухмерном беспорядке ультратонкими волокнами. Бимодальное по диаметру распределение волокон в фильтре обеспечивает более тонкую очистку. Чтобы повысить механическую прочность таких фильтров, их формируют на тканевой подложке (марля, бязь, перкаль) или проклеивают. Для сохранения высокой эластичности проклеивают только наружные слои. Важнейшим фактором, обуславливающим высокую тонкость очистки, является исключительная однородность материала фильтров: количество пор, размер которых вдвое отличается от среднего, не превышает 5%. Фильтры Петрянова, как правило, применяют на заключительной стадии очистки.

С увеличением толщины волокон повышается жесткость и сопротивление слоя фильтровального материала уплотнению, однако при этом ухудшается тонкость очистки. Хорошие результаты дает сочетание более жесткого нетканого материала в качестве грязеемкого слоя с более плотным последующим слоем. Снижение уплотняемости вспомогательного слоя фильтровального материала связано как с повышенной жесткостью, так и с тем, что из общего перепада давления на ФП лишь меньшая часть приходится на долю первого (грязеемкого) слоя /6/.

Существенный эффект по увеличению ресурса работы ФП был достигнут при использовании нетканого материала из волокна хлорин массой 500 г/м² в качестве вспомогательного слоя к керамической перегородке при фильтровании кислых прядильных растворов.

Фильтровальные бумага и картон

В ряде случаев выгоднее применять бумагу и картон - материалы, более устойчивые к сжатию, чем рассмотренные выше нетканые материалы. Бумага и картон имеют плотность в среднем 0,4 г/см³ и способны образовывать ФП пористостью свыше 0,8, что позволяет получить фильтры с высокой

проницаемостью и ресурсом работы. Это тоже волокнистый нетканый материал, но более плотный и более жесткий, чем войлоки. Наиболее дешевые бумажные и картонные фильтрующие материалы на основе целлюлозы.

Бумага и картон имеют гетерогенную структуру, состоящую из взаимно переплетенных между собой волокон и волокон, фибролированных в процессе размола. Волокна имеют различную длину, а их поперечное сечение является главным фактором, определяющим размер пор. При развесе бумаги 110 г/м², плотности 0,36 г/см³ и толщине волокон 27 мкм размер пор составляет 53 мкм, а при толщине волокон 15 мкм – 39 мкм.

Задерживающая способность бумаги и картона достаточно велика за счет извилистости пор, фиброллярности волокон, неправильной формы их сечения, шероховатой поверхности отдельных волоконец, повышенной их адгезионной способности. Иногда сорбционное действие картона усиливают специально. Так, высокая задерживающая способность фильтровального картона, состоящего из целлюлозы, асбестового волокна и диатомита, обусловлена положительным значением электрохимического потенциала и высоким адсорбирующей способностью асбестового волокна. Такой материал используется для очистки суспензий с высокодисперсной твердой фазой и может улавливать бактерии.

Вследствие низкой прочности бумаги и картона в мокром состоянии, при сборке пакета ФП используют подложку из ткани и металлической сетки. Для повышения прочности и снижения влагоемкости бумаги и картона волокнистую массу гидрофобилизируют канифольным клеем, меламиноформальдегидной или карбамидоформальдегидной смолами, латексами или кремнийорганическими соединениями, пропитывают готовые фильтр-материалы растворами фенолформальдегидных смол. Следует помнить, что гидрофобилизация снижает задерживающую способность ФП.

При фильтровании растворов полимеров в органических растворителях (ацетоне, диметилацетамиде, диметилформамиде) структура и прочность картона сохраняются лучше. В связи с этим хорошие результаты получают за счет включения в пакеты для фильтрования растворов триацетата целлюлозы картонов марок КФКС-1 и КФА. Использование их на первой, второй стадиях фильтрования увеличивает срок службы соответственно в 3,2 и 3,8 раза, а чистота фильтрата повышается примерно на 70%, вследствие чего сменяемость фильтров сокращается /6/.

Учитывая фильтрационные достоинства картонов и их сравнительно низкую стоимость, следует ожидать расширения использования этого фильтр-материала в процессах очистки растворов полимеров, например, в виде гофрированных картонных ФП, увеличивающих эффективную поверхность фильтрования.

4.2 Жесткие фильтр-перегородки

Жесткие фильтр-перегородки устойчивы в агрессивных средах, выдерживают высокие температуры, имеют высокую пористость и

грязеемкость, не меняют параметров своей структуры с ростом ΔP вплоть до разрушения фильтр-элемента.

Формуют жесткие перегородки из зерен различных твердых материалов. В зависимости от размеров зерен получают перегородки с различной проницаемостью и размером пор, в том числе с переменными порами по толщине перегородки. Толщина может быть любой и остается неизменной за все время эксплуатации. К жестким фильтр-перегородкам, относятся широко распространенные перегородки из керамики и металлокерамики. Керамические фильтр-материалы выдерживают большие усилия сжатия, исключительно стойки в агрессивных средах, изготавливаются из доступного и дешевого сырья, имеют практически неограниченную сырьевую базу.

Пористую керамику получают обжигом или спеканием силикатных, стеклянных, фарфоровых и других керамических зерен, как правило, в среде связующего или пластификатора. Наполнитель образует пористую основу, а связующее способствует образованию жесткой связи между зернами наполнителя. При использовании в качестве наполнителя шамота, фарфора, кварца или черепка связующим служит каолиновая глина и бентонит.

Особенностью керамических фильтр-материалов является то, что при различном диаметре пор пористость ФП колеблется в пределах 38 – 46 %. Это облегчает сравнение между собой керамических ФП и выбор их для конкретных целей, решающим критерием при этом является размер пор. Он определяет и тонкость очистки, и гидравлическое сопротивление. Небольшое превышение средней плотности (уменьшение диаметра пор) керамической перегородки оборачивается резким ухудшением эксплуатационных показателей фильтра. В соответствии с законом Пуазейля повышается начальный перепад давления, т. е. сокращается интервал между ним и предельным значением ΔP , и увеличивается скорость засорения фильтра. Для более успешного решения задачи выбора плотности керамической ФП стремятся снизить дисперсию диаметра пор и устранить микродефекты фильтрующих элементов /6/.

Выбор второго по важности параметра - толщины ФП (10 – 25 мм) связан не столько с задачей собственно фильтрования, сколько с соображениями сохранения целности фильтрующих элементов при транспортировке, зарядках фильтров, так как материал хрупок. Сложные лабиринтовые каналы в насадке обеспечивают высокую задерживающую способность, что позволяет идти на некоторое увеличение диаметра пор по сравнению с другими материалами при одинаковой тонкости очистки. Основная масса загрязнений, имеющих размер частиц равный четверти диаметра пор керамической перегородки, задерживается ею.

Трудность регенерации керамических фильтр-материалов является их недостатком и одной из причин ограниченного применения. Однако встречаются столь жесткие условия, например при фильтровании раствора поли-*p*-фенилентерефталамида (ПФТА) в 100%-й серной кислоте при температуре более 70°C с вязкостью несколько сот *Па·с*, что пористой

керамике трудно найти альтернативу.

Металлокерамические фильтр-элементы

Одной из отличительных особенностей жестких ФП является использование их в виде конструкционных элементов строго заданной формы и размеров для максимального удобства зарядки и перезарядки фильтра. Такой фильтр-элемент фактически является составной деталью конструкции фильтровального аппарата. Металлокерамика, как фильтровальный материал, сходна с пористой керамикой, однако, в отличие от последней, она является хорошим конструкционным материалом, что позволяет изготавливать элементы разнообразными по форме и размерам, с более жесткими допусками, чем это возможно для пористой керамики.

Металлокерамические фильтр-элементы обладают высокой прочностью, особенно при динамических нагрузках и вибрациях, хорошо выдерживают резкие изменения температуры, надежно работают при высоких температурах. Высокая механическая прочность и некоторая пластичность, по сравнению с керамикой, позволяют изготавливать и эксплуатировать металлокерамические перегородки с тонкими стенками, что соответственно снижает их гидравлическое сопротивление и материалоемкость. Их получают путем формования, прессования и спекания при высокой температуре предварительно классифицированного металлического порошка, как правило, сферической формы. В процессе спекания распадается наполнитель, добавляемый для связывания зерен при формировании, и удаляется в виде газа или жидкости, оставляя после себя свободное поровое пространство. Пористость и размер пор зависят не только от гранулометрического состава порошка, но и от давления прессования.

Для приближенного расчета тонкости очистки используют известную геометрическую модель плотной укладки сферических монодисперсных частиц, согласно которой отношение диаметров пор и частиц составляет 0,155. В реальных условиях диаметр пор принято считать равным 0,1 среднего диаметра зерен. Фильтровальные свойства улучшаются при изготовлении слоенных элементов, состоящих из крупнозернистой основы и мелкозернистого фильтровального слоя.

Известен положительный опыт использования таких фильтр-элементов в фильтр-пальцах машины ПА-240-И, позволивший уменьшить обрывность ацетатной нити и улучшить ее физико-механические показатели.

Сложность регенерации, с одной стороны, и дефицитность нержавеющих сплавов, с другой, не привели к широкому их использованию для фильтрования растворов полимеров.

Для очистки вязких жидкостей большой интерес представляют металлокерамические фильтр-элементы, изготовленные из очень тонких металлических волокон методом спекания. Благодаря небольшой толщине и высокой пористости (до 85%), их металлоемкость во много раз меньше порошковых. Волокнистые металлокерамические перегородки могут иметь тканую подложку-сетку, бимодальное распределение диаметров волокон, но в

отличие от фильтров Петрянова остаются жесткими и несжимаемыми под напором фильтруемой жидкости. Последнее свойство обеспечивает существенные преимущества этим фильтрам перед тонковолокнистыми неткаными фильтр-материалами из химических волокон:

- более полно реализуется их грязеемкость при высокой тонкости очистки благодаря несжимаемости и высокой пористости;
- тончайшие металлические волоконца неправильного сечения, имеющие острые кромки, как никакой иной фильтр-материал задерживают либо рассекают и дробят гель-частицы и всевозможные сгустки раствора полимера;
- рабочий цикл эксплуатации при одинаковых тонкости и скорости фильтрования в 2,5 раза продолжительнее, чем у порошковых фильтр-элементов.

В отличие от тканой проволочной сетки эти материалы имеют длинные, неравномерные и чрезвычайно извилистые каналы пор, а также широкое распределение размеров пор не только на поверхности, но и в толще материала. Это позволяет задерживать частицы различных размеров по всей толщине ФП. Наиболее крупные из них задерживаются у поверхности, как в случае проволочной сетки, более мелкие (включая гель-частицы) застревают в глубине слоя. По мере продвижения гель-частиц сквозь сложную структуру тонких металлических проволочек, они либо задерживаются благодаря высокой адгезии к материалу ФП, либо под действием значительного перепада давления деформируются, сильно вытягиваясь в направлении течения фильтруемой жидкости, тем самым улучшая условия их возможного растворения или разрушения. Особенно эффективно такое воздействие на гелевые включения в случае многослойной металловолокнистой перегородки, когда деформированные, сильно вытянутые при своем движении гель-частицы встречают все более плотную структуру металловолокон и задерживаются в ней, образуя развитую поверхность контакта с омывающей их жидкостью /6/.

Фильтровальные элементы из пористой пластмассы

По аналогии с фильтровальными элементами из пористой керамики и металлокерамики изготавливают фильтр-элементы из различных пористых пластмасс. Пластмассовые пористые элементы (ППЭ) используются для тонкого фильтрования жидкостей. Простота изготовления, дешевое доступное сырье, химическая стойкость, возможность полного регенерирования химическими методами (в то время как МКФ восстанавливаются только на 50- 70%) выгодно отличают ППЭ для тонкой очистки.

Пористые материалы из полиэтилена, полипропилена и других полимеров выпускают обычно в виде листов толщиной большей, чем у МКФ. Это связано с относительно невысокой прочностью полимеров, но и способствует более надежному отделению от раствора полимера частиц малого диаметра. Например, пористая полиэтиленовая перегородка с диаметром пор 15 – 18 мкм поглощает 95 – 100 % частиц размером более

6 мкм. Недостатком таких материалов является сравнительно высокое гидравлическое сопротивление в ФП для тонкой очистки /5/.

Регенерация жестких перегородок

Возможность их полной регенерации, имеет важное значение не только с точки зрения экономии материала. Перезарядка фильтра новым материалом сопряжена не только с его расходом, но и с выполнением трудоемких операций, нарушением санитарно-гигиенических условий работы, необходимостью решения сложных вопросов обезвреживания отходов. К тому же во время перезарядок безвозвратно теряется некоторое количество фильтруемого продукта.

Насущной задачей является регенерация именно жестких перегородок, так как волокнистые после извлечения их из фильтра могут быть отстираны или в крайнем случае, отжаты от полимерного раствора, что облегчает обезвреживание отходов и частичное их использование. При регенерации необходимо удалить частицы, проникшие в поры перегородки. Основу всех способов составляет промывка ФП обратным током жидкости. В качестве таковой используют растворители полимера, фильтруемый продукт (чаще всего фильтрат), водяной пар, растворы химически активных веществ.

Для очистки цилиндрических фильтровальных элементов из пористой керамики от загрязнений после фильтрования вискозы применяли в одном случае низковязкий растворитель (раствор щелочи) с продувкой сжатым воздухом и без продувки, в другом фильтруемый продукт (вискозу вязкостью 4-5 $\text{Pa}\cdot\text{s}$). Без продувки ФП воздухом полной регенерации не достигали вообще, однако подача обратным током вискозы была гораздо эффективнее промывки раствором щелочи: загрязнений в перегородке после регенерации осталось в несколько раз меньше.

Следует отметить, что механизм влияния вязкости, отмеченный выше для случая регенерации ФП, аналогичным образом действует и при засорении перегородки в процессе фильтрования. При фильтровании более вязкой жидкости частицы загрязнений, очевидно, с большим усилием заталкиваются в поры ФП, заклиниваются там и удерживаются насадкой надежнее, чем при фильтровании жидкости с меньшей вязкостью. Отсюда естественно предположить, что для эффективного использования фактора вязкости при регенерации ФП нужно, чтобы вязкость промывной жидкости была выше вязкости фильтруемого раствора полимера.

В результате экспериментальной проверки этого предположения был выбран способ регенерации ФП обратным током фильтрата. Для того, чтобы подаваемая в фильтр обратным током жидкость имела более высокую вязкость, чем фильтруемый продукт, достаточно фильтрат охладить.

Схема регенерации относительно проста. Раствор ПФТА в горячей серной кислоте вязкостью 250 – 300 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ фильтруют через керамическую ФП, нагнетая жидкость шестеренчатым насосом в патронный фильтр и принимая фильтрат в буферную емкость. Между фильтром и буферной емкостью на линии фильтрата встроен теплообменник «труба в трубе». При

фильтровании теплоноситель не подается. После засорения фильтра, путем простого переключения арматуры, тем же насосом с неизменной производительностью подают фильтрат из буферной емкости обратным током в фильтр, а в рубашку теплообменника одновременно начинают подавать холодную воду. Нижний грязевой штуцер фильтра открыт. Вязкость раствора ПФТА зависит от температуры. После прохождения теплообменника она увеличивается примерно в полтора раза. Так как производительность насоса практически не зависит от противодавления, сила воздействия на осадок в процессе регенерации ФП превышает силу воздействия на частицы загрязнений в порах перегородки при фильтровании примерно в полтора раза.

Однако при использовании для регенерации перегородки вязкой жидкости полной очистки фильтр-материала не достигают. Практически полное восстановление фильтровальных свойств жестких перегородок их регенерацией внутри фильтра можно достичь лишь при фильтровании до ограниченной закупорки пор. При периодическом фильтровании не всегда целесообразно для этого прерывать процесс задолго до вынужденной остановки фильтра, так как циклы его работы могут оказаться слишком короткими, а каждая регенерация ФП вносит в общий технологический процесс те или иные возмущения. Имеются некоторые растворы полимеров, в первую очередь высоковязкие, которые после засорения ФП, даже частичного, трудно вместе с загрязнениями вымыть полностью из каналов перегородки. Засоренные при фильтровании таких растворов фильтр-элементы сразу или после нескольких неполных регенераций утилизируют, либо регенерируют вне фильтра. То или иное решение принимают, исходя из экономической целесообразности.

Одним из способов регенерации фильтр-материала вне фильтра является восстановление ФП путем нагрева в потоке очищенного и осушенного газа. Применение этого способа сопряжено с определенными трудностями. При нагревании повышается химическая активность материала перегородки, и он начинает вступать во взаимодействие с окружающей газовой средой или с продуктами разложения осадка. Этот недостаток частично устраняют термической обработкой в потоке инертного газа /5/.

Металлокерамику из легированной стали очищают от углеродных частиц пропусканием водорода при температуре 700°C ; пористую керамику после использования ее для фильтрования раствора полиамида регенерируют пропусканием кислорода при температуре 900°C .

4.3 Несвязанные фильтровальные перегородки

Фильтрующая перегородка может быть сформована из диспергированного материала без связующего агента непосредственно в фильтре на специальной пористой подложке, не пропускающей частицы этого материала, но проницаемой для жидкости. Образованный при этом слой вспомогательного вещества сохраняет свою структуру при течении через него жидкости и задерживает взвешенные в ней загрязнения. По такому принципу

работают намывные и насыпные фильтры.

Намывной слой вспомогательного вещества широко используется в технике, в первую очередь благодаря возможности фильтрования на автоматизированных установках без применения ручного труда для перезарядки фильтра. Вторым преимуществом ФП с намывным слоем является более высокая грязеемкость, чем у связанных перегородок.

На дренирующую перегородку (подложку) наносят слой вспомогательного вещества в виде порошка или резаных волокон путем циркуляции жидкости, его содержащей, затем проводят процесс фильтрования, а после загрязнения фильтрующего слоя смывают его обратным током жидкости, регенерируют и возвращают на повторное использование. Волокнистые материалы и порошки органического происхождения образуют сжимаемые ФП; большинство гранулированных, дробленых и кристаллизующихся материалов образуют несжимаемые ФП.

Наибольший опыт по фильтрованию таким способом полимерных растворов накоплен в производствах вискозных волокон. Для фильтрования вискозы используют порошок поливинилхлорида, нарезанное ПВХ-волокно, модифицированное, химически спшитое нарезанное гидратцеллюзное волокно. При фильтровании вискозы через порошок ПВХ полностью задерживаются частицы размером более 16 мкм.

Для фильтрования растворов полимеров в органических растворителях, например, полиакрилонитрила в диметилформамиде, можно использовать полиамидные порошки; для очистки медноаммиачных растворов - порошок ПВХ с диаметром частиц 100-250 мкм. Такого же размера зерна шамота служат подходящим намывным материалом для фильтрования высоковязкого и высокоагрессивного прядильного раствора ПФТА в серной кислоте.

В отличие от намывного слоя, для насыпного применяют, как правило, более крупные частицы; толщина насыпного слоя в несколько раз больше. Этим достигается глубинное, сорбционное фильтрование с высокими скоростями. Прочность и твердость фильтрующего материала (кварцевого песка, сферических зерен шлака, карбида кремния) позволяют развивать давление фильтрования до 6 МПа при хорошем качестве очистки.

Насыпной слой зернистого материала широко используется в промышленности для очистки расплавов полимеров. Установлена возможность фильтрования полимерных растворов через природный кварцевый песок с фракциями от 0,2 до 1,6 мм при толщине слоя от 150 – 500 мм и скорости до 300 л/(м²·ч) при регенерации песка в этом же аппарате.

Применение насыпного слоя позволяет реализовать наиболее эффективную многослойную ФП. Известны разнообразные варианты фильтрования через сложные насыпные перегородки, однако их применение требует больших ресурсозатрат, поэтому для основного фильтрования прядильных растворов применение этого способа в крупнотоннажных производствах нецелесообразно /5/.

5 Фильтровальные системы для расплавов полимеров

5.1 Фильтры фирмы “Barmag”

Фирма “Barmag” разработала серию фильтров CVF. Стандартными компонентами систем формования являются фильтры с поверхностью фильтрации $0,4 - 5 \text{ м}^2$. Они являются дуплексными системами, т.е. с помощью встроенных клапанов переключения (рис.20), расплав подается в один из двух фильтрующих элементов. По достижении порога накопления загрязнений, система переключается на чистый фильтрующий элемент. Фильтрующий элемент снимается и разбирается в горячем состоянии /7/. Демонтаж фильтрующего элемента, которому дали возможность остывть, существенно осложняется. Свечи, покрытые полимером, помещают в ванну с подогретым триэтиленгликолем /8/.

Недостатки данной конструкции:

- высокие затраты при замене и регенерации фильтров;
- потери полимера при регенерации фильтр-блока;
- неблагоприятные условия труда при замене, регенерации фильтр-блока.

Для полной вентиляции фильтрующих элементов в процессе переключения, все фильтры фирмы "Barmag" новых поколений выполнены с вертикальными фильтрующими элементами.

Фильтры серии CVF, спроектированные специально для экструдерных систем формования, также оснащены вертикальными фильтрующими элементами. Благодаря такому конструкторскому решению в основание фильтрующего элемента легко встраивается приспособление для слива. Оно включает сливную трубку, ввинчиваемую снаружи в фильтрующий элемент (через крышку и нагревательную рубашку). По сливной трубке с помощью специального ключа, которым снимается уплотняющая пробка с основания фильтрующего элемента, расплав стекает из фильтрующего элемента.

В некоторых конструкциях фильтров предусмотрена возможность проведения гидролитической деструкции остатков полимера посредством генерируемого в нагревательной рубашке пара. Для минимизации риска избыточного давления в случае заблокированных фильтрующих элементов зона пара оснащена клапаном избыточного давления, который активируется при давлении 10 МПа и подает пар непосредственно в резервуар конденсации /7/.

5.2 Фильтровальные системы “Gneuß”

Предприятие "Gneuß Kunststofftechnik GmbH" специализируется на разработке и изготовлении фильтрующих систем для полимерных расплавов, а также датчиков давления и температуры материалов.

Фильтровальная система KSF (рис.21) отличается отсутствием мертвых зон и оптимальными реологическими условиями протекания расплава /10/.

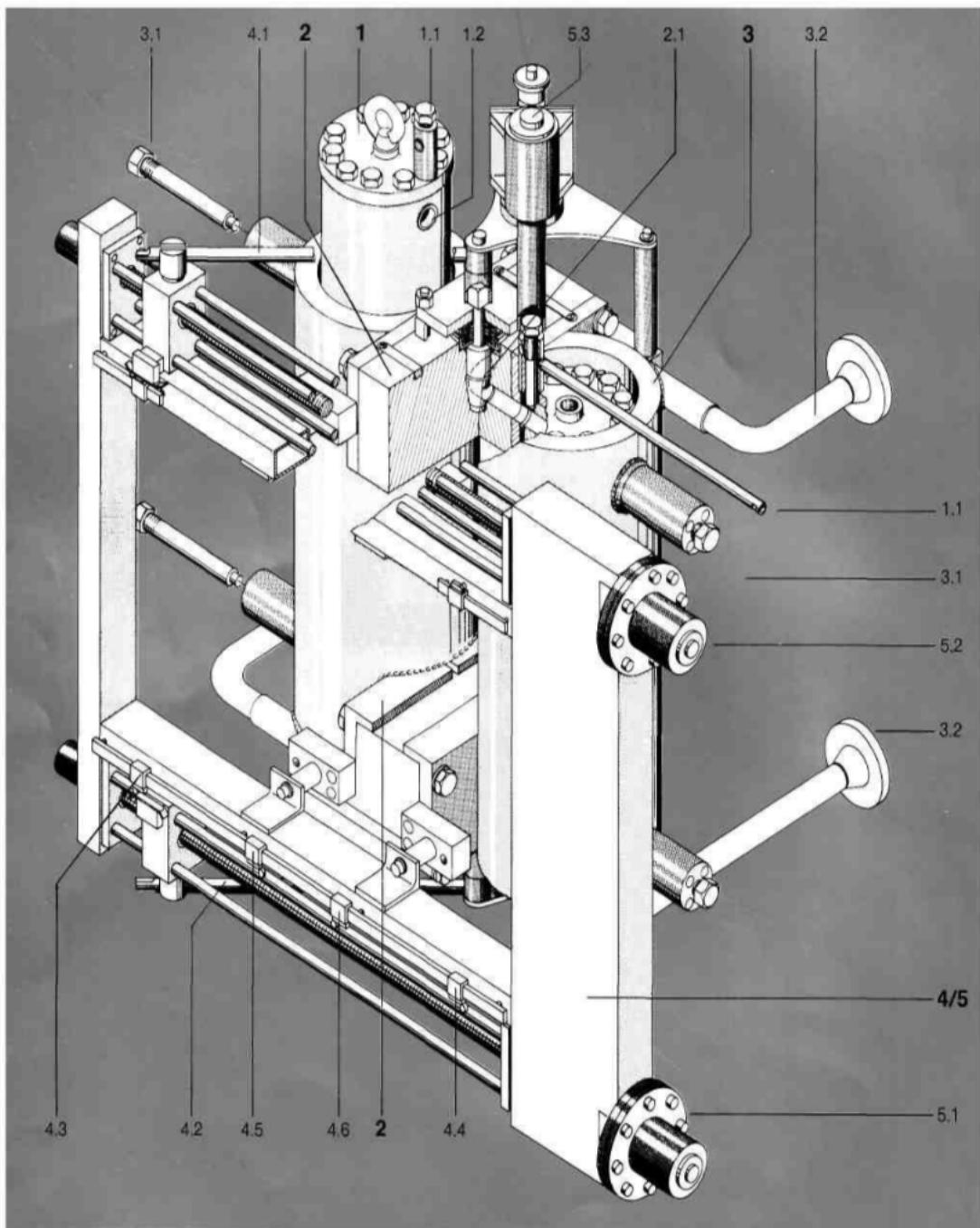


Рис.20 – Центральный фильтр расплава типа CVF:

1 – фильтр-вставка, 2 – корпус клапана, 3 – нагревательная камера, 4/5 – устройство переключения с автоматическим управлением, 1.1 – штуцер обезвоздушивания, 1.2 – прокладка между фильтрующей вставкой и корпусом клапана, 2.1 – трехходовой клапан, 3.1 – прижимной винт, 3.2 – штуцер подвода теплоносителя, 4.1 – верхний поворотный рычаг, 4.2 – нижний поворотный рычаг, 4.3 – конечное положение правой вставки, 4.4 – конечное положение левой вставки, 4.5 – точка затопления правой вставки, 4.6 – точка затопления левой вставки, 5.1 – серводвигатель нижнего клапана, 5.2 – серводвигатель верхнего клапана, 5.3 – серводвигатель винта обезвоздушивания.

Благодаря автоматическому режиму работы исключаются любые нарушения процесса. При этом возможно использование фильтров с более тонкими ячейками.

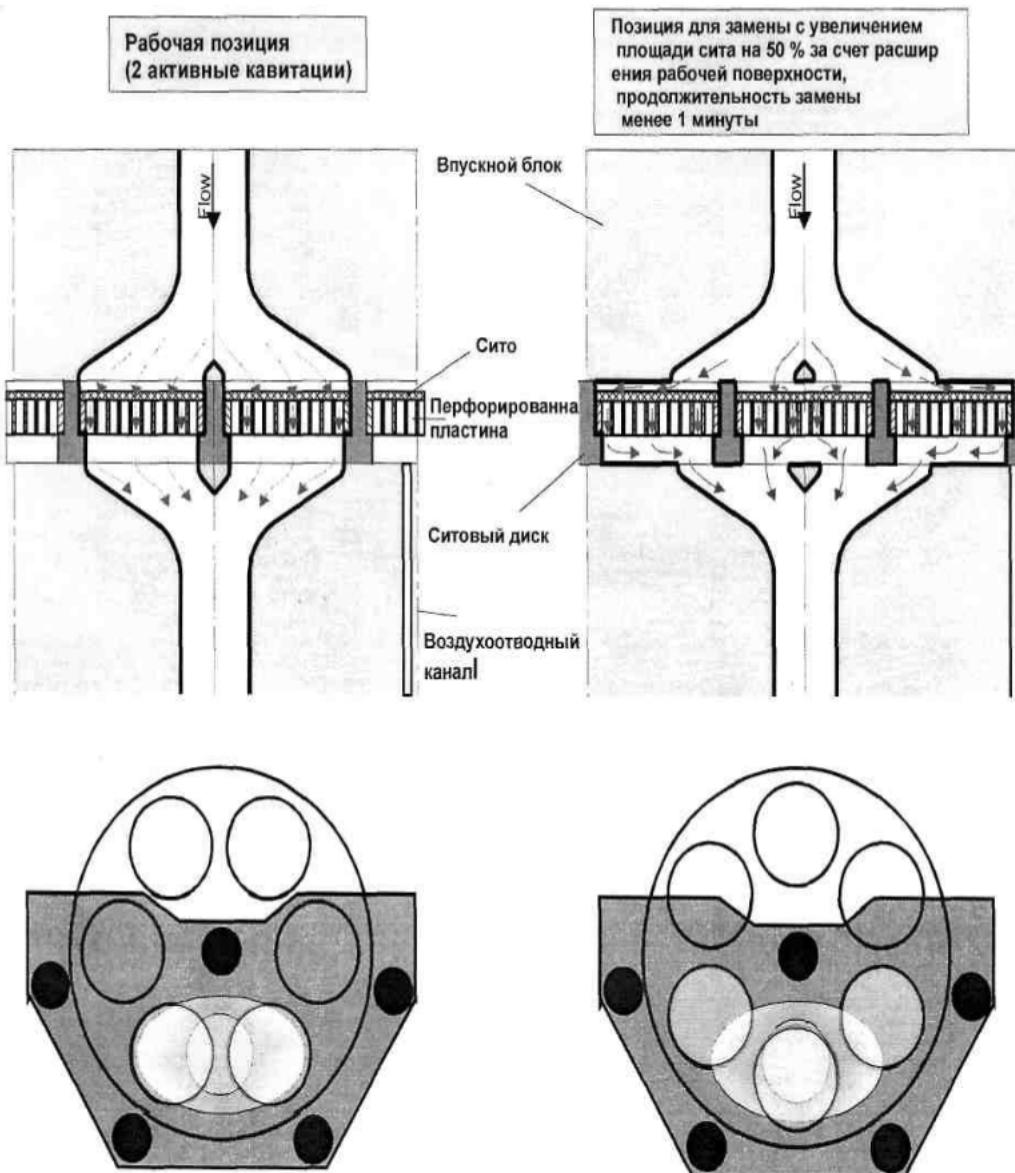


Рис.21 – Функциональная схема фильтровальной системы KSF.

Данная конструкция позволяет реализовать ряд преимуществ ротационных фильтров:

- компактная конструкция фильтра с очень короткими путями прохождения расплава без мертвых пространств обеспечивает время нахождения расплава в фильтре менее одной минуты;
- оптимальный уровень качества гарантируется стабильностью процесса при низком давлении, включая температуру расплава, вязкость и цвет продукта;
- благодаря стабильности процесса предупреждаются разрывы струек расплава, обеспечивается более длительный срок службы шнека и редуктора экструдера;

– минимальный перепад давления.

Следует отметить отсутствие обычного для процесса фильтрации повышения давления и идеальную, с точки зрения реологии, геометрию каналов для прохождения расплава /12/.

К совершенно новой системе фильтров относятся фильтры RSF-genius (рис.22), разработанные на основе ранее используемых видов RSF-фильтров. Эти фильтры, так называемые фильтры обратной промывки, позволяют вести процесс очистки в постоянном и полностью автоматическом режиме /9/.

Фильтр RSF-genius работает с постоянным давлением при полной автоматизации и непрерывности процесса. Стабильность давления и процесса фильтрования в целом обеспечиваются благодаря так называемой ротационной технологии, в которой фильтрующий элемент представляет собой вращающуюся сетчатую шайбу. Отклонение от заданного давления не превышает $\pm 0,2$ МПа. Степень загрязнения и активная площадь чистой сетки, находящейся в работе, также остаются относительно постоянными. Постоянство процесса при замене сетки, помимо обеспечения стабильной производительности, подразумевает исключение значительных колебаний таких характеристик, как давление, температура и вязкость расплава. По данному способу не происходит загрязнения полимерной массы продуктами высокотемпературного разложения благодаря тому, что сетчатая шайба со вставленными в нее фильтр-элементами (сетками) вращается между двумя металлическими поверхностями, что предотвращает контакт сетки с кислородом и влагой воздуха.

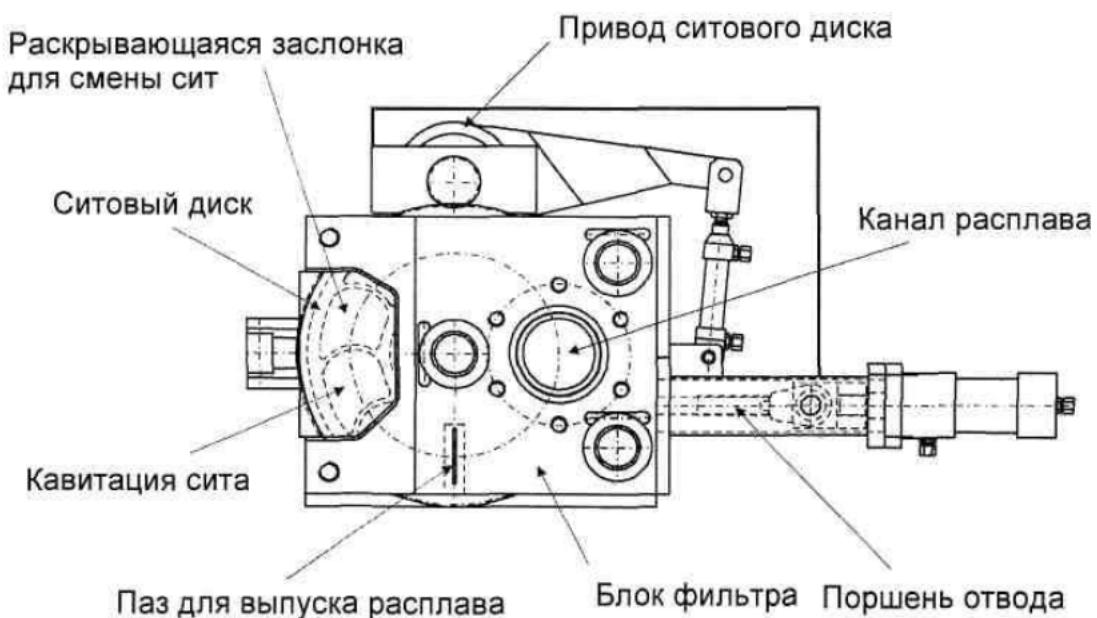


Рис.22 – Схема фильтра RSF-genius

В обычных фильтрах оператор вынужден загрязненные элементы снимать и заменять новыми, прерывая процесс фильтрования. В фильтрах данного типа сетчатая шайба с нанесенными на нее кольцеобразными

углублениями для размещения фильтр-элементов расположена между двумя блоками. Удаление этих элементов (при невозможности их очистки) и замена новыми происходит при открытой заслонке. Новые сетки после зоны очистки попадают в канал с расплавом. При этом система обратной очистки полностью вытесняет воздух и заполняет чистым расплавом углубления на сетчатой шайбе одновременно с сетками. Процесс производства и переработки полимера при этом не нарушается.

Полная автоматизация процесса достигается интегрированной системой очищения фильтр-элементов (рис.23). При повышении давления перед фильтром сетчатая шайба поворачивается (с шагом менее 1°), тем самым достигается постоянство находящейся в работе незагрязненной площади сетки и неизменность нагрузки от осевших на сетку отходов.

Перед тем, как загрязненное сетка будет использована вновь, происходит ее автоматическая очистка при помощи запатентованной системы поршня обратного впрыскивания. Отфильтрованный расплав поступает в канал с поршнем обратного впрыскивания, который в свою очередь под высоким давлением с определенным тактом "выстреливается" сквозь загрязненную часть сектки наружу. При этом количество используемого для промывки полимера в среднем составляет около 0,02 %, максимум 0,5% от общей производительности. В целях достижения оптимальной чистоты сетки скорость и давление впрыска расплава регулируются.

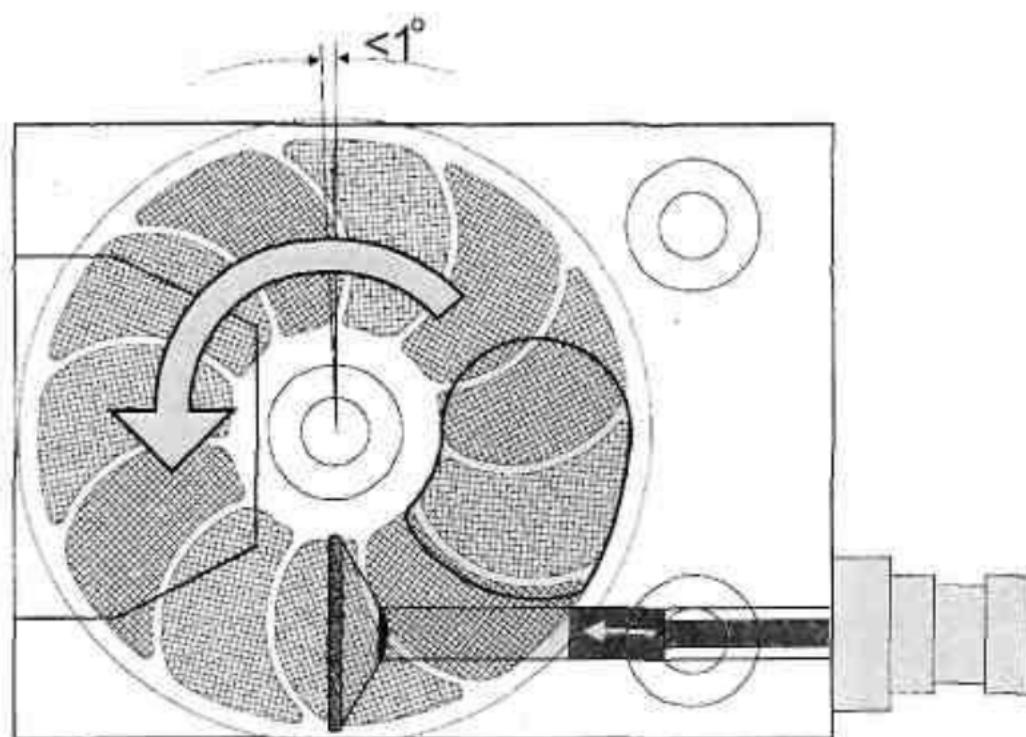


Рис.23 – Схема фильтрующего диска RSF фильтра

Эта технология обеспечивает незначительные потери материала и многоократное использование фильтр-элементов. Частота использования зависит от загрузки и достигает порой 300 раз.

Особенность фильтров типа RSF-genius заключается в том, что они универсальны в применении. Они могут быть использованы, например, при фильтрации мономеров, переработке отходов (рециклинге), а также в производстве тонких волокон и пленки. При этом не имеется ограничений по вязкости, давлению фильтруемой среды, размеру загрязнений.

В RSF-genius фильтре основной фильтр-элемент защищен от механических повреждений четырьмя другими проволочными сетками. Все пять сеток скрепляются вместе по специальной технологии, при этом образуется герметичное уплотнение, что исключает утечки расплава и обеспечивает производительность и тонкость фильтрации.

Фильтры данного типа широко используются в производстве полимеров для упаковки, которые зрительно должны быть чистыми. Видимые темные точки, пятна и гетерогенные частицы должны быть исключены. Для достижения этой цели рекомендуется тонкость фильтрации 60 – 100 мкм. При этом автоматические фильтровальные системы RSF-genius монтируются в расплавопроводе.

Преимущества фильтров данного типа:

- длительность работы фильтра и постоянство давления гарантируют выход высококачественного конечного продукта даже при большой степени загрязнения;
- работа системы в полностью автоматическом режиме позволяет производить продукцию высокого качества; затраты при обслуживании сведены до минимума; исключена возможность загрязнения расплава полимера при замене сеток;
- оптимальность конструкции: в результате размещения сетчатой шайбы внутри полимер не подвергается влиянию извне; все детали, касающиеся расплавленного полимера, не контактируют с кислородом воздуха;
- благодаря компактности фильтра, а также оригинальной конструкции проточного канала фильтрование полимеров происходит в течение короткого времени (в 5000 раз быстрее, чем свечными фильтрами);
- эффективная очистка сеток достигается тем, что скорость и объем полимера для обратной промывки регулируются; очистка сетки на очень узком сегменте менее 1 градуса гарантирует постоянство потока расплава; достигается 100 % очистка даже при очень мелком размере ячеек (до 3 мкм);
- благодаря внедрению системы обратной промывки потери расплава составляют около 1 % от общей производительности при крайне высокой степени загрязнения, что в 10 раз меньше, чем в случае других фильтров;
- работа фильтра не зависит от давления и вязкости расплава;
- возможно проведение работ на фильтре без нарушения хода самого процесса, например: замена сетки, сгоревшего нагревательного элемента; привода и его частей; системы обратной промывки.

Все это обеспечивает экономическую эффективность таких фильтров, несмотря на значительно более высокую их стоимость /10/.

Для производства эластичных нитей «спандекс» фирма предлагает комплектные автоматические фильтрационные системы "RSF genius/Spandex", обеспечивающие безупречную чистоту расплава. Фильтрационные системы имеют следующие характеристики:

- полностью автоматический режим работы;
- постоянное давление ($\pm 0,15$ МПа);
- отсутствие "мертвых зон" в фильтрующей камере и в системе обратной очистки;
- автоматическое 70-150-кратное использование сеток с помощью встроенного устройства очистки;
- обеспечение тонкости фильтрования от 3 до 15 мкм;
- непрерывный режим работы даже при замене фильтрующих элементов;
- потери материала из-за очистки сеток менее 0,02 %;
- время прохождения фильтруемой среды через фильтр менее двух минут;
- нахождение загрязненных сеток в системе менее двух часов;
- полная герметизация фильтрационной системы, исключение контакта с атмосферным воздухом;
- малые габариты системы.

Вследствие автоматического режима работы при неизменном давлении и кратчайшем времени фильтрования достигается значительное повышение качества эластичной нити, многократно увеличивается продолжительность службы фильтерных комплектов.

В результате многократного (до 150 раз) использования фильтрующих сеток при фильтрации материалов с помощью ротационных фильтров значительно снижаются эксплуатационные затраты на приобретение сменных элементов /10/.

Пользователи обычных фильтров хорошо знают, что каждая замена фильтрующего элемента, нарушая процесс производства, приводит к ухудшению качества конечного продукта. При этом они стараются, как правило, по возможности увеличивать промежутки времени между заменами. Этого можно достичь с помощью двух факторов: более грубой фильтрацией или переработкой более чистого материала. Оба фактора отрицательно сказываются на эффективности производственного процесса. Более грубая фильтрация вызывает ухудшение качества выпускаемой продукции, а использование материала с низкой степенью загрязненности приводит к значительному увеличению материальных затрат.

Непрерывный процесс производства с постоянными техническими параметрами, который обеспечивает RSF-genius, способствует выпуску высококачественной продукции и позволяет использовать более дешевые виды сырья, например, производственные отходы.

5.3 Разработки компании «Seebach»

Компании "Seebach" (Россия) удалось создать новый тип фильтрационных систем, удовлетворяющих самым высоким требованиям по чистоте фильтрования, размерам и конструкциям фильтров, применяемых в полимерной промышленности.

Фильтрационная система "Янус" (рис.24) представляет собой модульные блоки, наращиваемые из отдельных компонентов, что делает ее экономически эффективной благодаря минимальным конструкционным изменениям. Корпус такой системы может быть установлен вертикально или горизонтально. Замена фильтр-элементов происходит быстро и легко с помощью специальных инструментов фирмы.

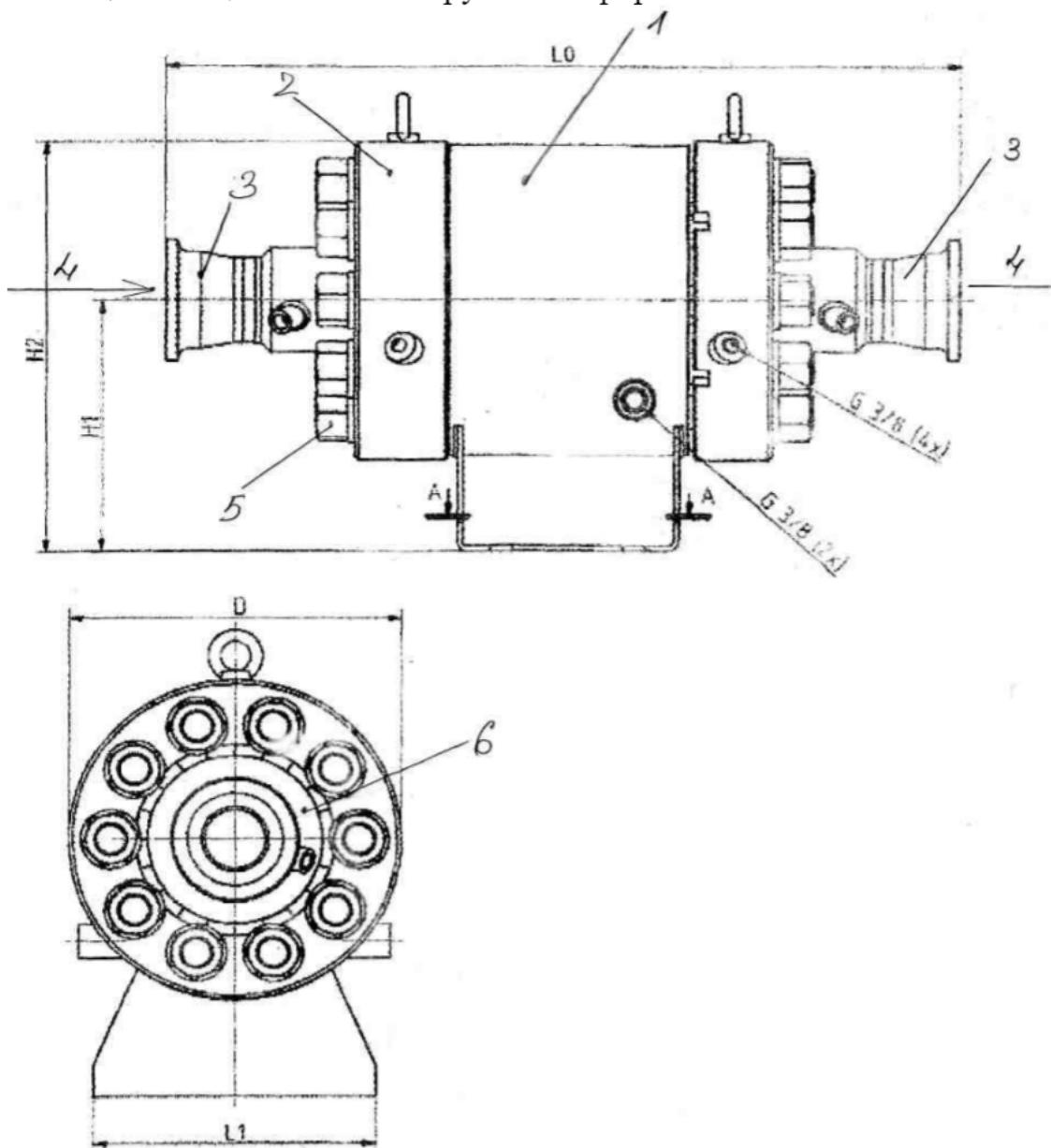


Рис.24- Фильтрационная система «Янус»:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – фланец; 4 – расплав; 5 – болт; 6 – фильтр-элемент тарельчатого типа.

На фильтрационной системе "Янус" могут использоваться как фильтр-элементы типа "свеча", так и типа "диск" /13/. Тонкость фильтрования от 2 до 40 мкм.

Фильтры термически не деформируются и легко регенерируются, характеризуются минимальным перепадом давлений.

Материал применяемых фильтр-элементов в фильтрационной системе "Янус":

"Свеча" - (металлическое волокно → ламинированная сетка → металлическая сетка → сетчатая трубка с клинообразными зазорами).

"Диск" – (металлическое волокно → ламинированная сетка → металлическая сетка).

Металлическое волокно - это высокоэффективный, коррозионностойкий материал, применяемый для глубокого фильтрования. Укладывается в несколько слоев, консолидируется путем термической обработки.

Металлическая сетка обычно применяется в 2-х вариантах: «квадратное плетение» или «голландское плетение». При «квадратном плетении» создается основной и вспомогательный слои из проволоки одинаковой толщины, а при «голландском плетении» – из проволок разных толщин, образующих треугольные открытые области. Выбор между двумя типами сеток зависит от параметров процесса: тонкости фильтрования, давления, уровня загрязненности и т.д. Ламинированная сетка получается путем термической обработки 2-5 слоев нержавеющих сеток.

Фильтр-элементы фильтрационной системы «Янус»

При выборе фильтра также важно учитывать тип фильтр-элемента. Некоторые чувствительные полимеры требуют специального типа фильтр-элементов и/или их специального внутреннего строения.

Фирмой предлагаются фильтр-элементы из нержавеющей стали для фильтрации высоко- и низковязких сред в различных производственных процессах, например, для расплавов полимеров или предполиконденсата; специальные фильтр-элементы (рис.25), отвечающие требованиям, предъявляемым к фильтрации кислот, щелочей, жидкостей /14/.

Фильтр-элементы и фильтр-патроны (рис.26) характеризуются плиссированной или гладкой цилиндрической формой с высокой способностью накопления загрязнений, совместимы со многими фильтрами других производителей. Фильтр-патроны рекомендованы для установки непосредственно в блоки управления.

Допустимый перепад давления – 36 МПа. Фильтровальный материал - металловолокно и ткань.



Рис.25 – Специальные фильтр-элементы компании "Seebach"

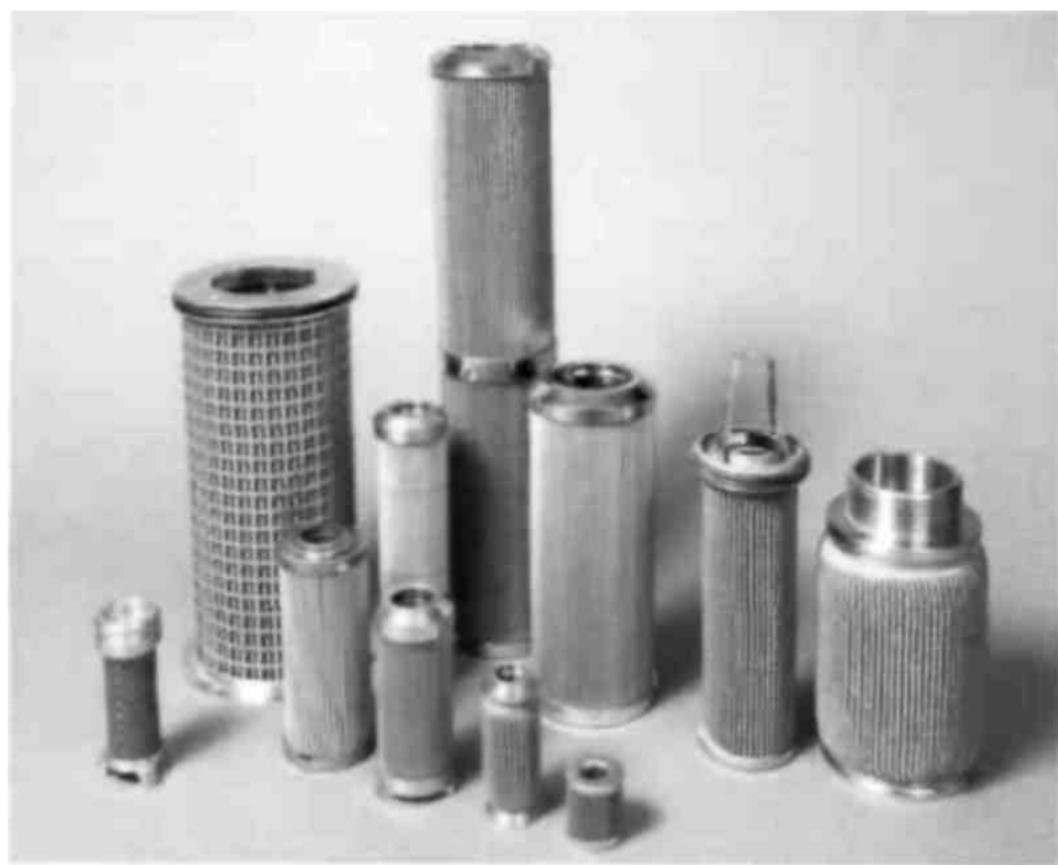


Рис.26- Фильтр-элементы и фильтр-патроны компании «Seebach»

5.4 Разработки фирмы «Maag Pump SystemTextron AG»

Фирма «Maag Pump SystemTextron AG» выполнила заказ фирмы «Uhde Inventa-Fischer» на изготовление систем фильтрования для линий по производству ПЭТ производительностью 1000 т/с. До этого времени уровень техники для фильтрования ПЭТ сводился к фильтровальным системам «DUPLEX» большой площади. Оснащенные гидравлически сбалансированным пучком свеч площадью до 100 m^2 , в которых установлены свечные фильтровальные элементы типа «micronex^R», эти фильтры предназначены для отфильтровывания мягких гелеобразных частиц из потока расплава. Как правило, эти системы изготавливаются с большей площадью фильтрования для того, чтобы увеличить до нескольких недель период работы фильтра. Однако, это неизбежно связано с продолжительным временем пребывания расплава в фильтрах большой площади. Процесс получения ПЭТ из расплава, разработанный фирмой «Уде Инвента-Фишер», в котором высоковязкий ПЭТ без твердофазной дополиконденсации можно получать в двухреакторном процессе, протекает на абсолютно новых принципах и в отношении фильтрования. Характерной особенностью процесса является малое время пребывания расплава на участке от реактора до готового гранулята. Это требование невозможно обеспечить ни с помощью обычных фильтров «DUPLEX», ни с помощью устройств смены фильтра непрерывного действия.

Фирма предложила самые успешные системы фильтрования в мире с двухпоршневым устройством смены фильтра. Эта конструкция доказала свою актуальность почти во всех существующих процессах получения и переработки полимеров.

Инженеры фирмы «Maag» разработали реологически оптимальную интеграцию трубной решетки и специального свечного оборудования поршневой геометрии. Новое поколение устройств смены свечных фильтров фирмы характеризуется следующими преимуществами:

- замену свечных фильтров может выполнять один работник, в зависимости от размера фильтра достаточно иметь ручной кран грузоподъемностью 500 – 1000 кг, на замену свечных фильтров требуется менее 15 минут (на один поршень);

- особая геометрия трубной решетки и устройства свечных фильтров обеспечивают активную площадь фильтрования $0,1\text{ m}^2$ – $50,0\text{ m}^2$. Выбор площади свечных фильтров производится в соответствии с существующими требованиями производства. Если, например, емкостной фильтр площадью в 60 m^2 заменяется на 30 m^2 -устройство, то время нахождения в работе до следующей смены свечных фильтров также сократится наполовину.

Максимальное избыточное давление расплава может составлять 35 – 50 МПа. В зависимости от пропускной способности и размера фильтра время пребывания полимера в устройстве смены фильтра составляет менее 30 с.

6 Методы определения загрязненности полимеров

Химическая природа и высокая вязкость растворов полимеров затрудняют прямое определение концентрации нерастворенных частиц - главного показателя качества раствора и определяющего параметра супензии при ее разделении. Поэтому большинство методов контроля загрязненности основано либо на определении косвенных, условных показателей раствора, либо на подробном и трудоемком непосредственном анализе очень малой пробы раствора.

Такие подходы в значительной мере оправданы целями анализа и тем, что прямая информация о массовом содержании загрязнений не представляла бы большей ценности при управлении производством, чем некоторые косвенные показатели, например, данные о фильтруемости полимера. Для оперативной оценки степени загрязненности прядильных растворов в производственных условиях методы фильтруемости получили наибольшее распространение. Ниже дается описание отдельных методов и средств, причем в первую очередь речь пойдет о наиболее распространенных /4/.

С помощью интегральных методов степень загрязненности оценивают одним числом, которое определяет или концентрацию загрязнения, или интенсивность засорения эталонной ФП, или среднюю интенсивность рассеяния света.

Дифференциальные методы дают более содержательную оценку загрязнений, в которую входит, помимо общего числа взвешенных частиц, и функция распределения частиц по размерам. Визуальный анализ загрязнений с помощью микроскопа и фотографирование позволяют получить информацию о форме частиц, контрастности их границ, окрашенности, что помогает делать выводы об их природе.

Размер пробы для дифференциального анализа составляет от долей до нескольких кубических миллиметров. Необходимость пересчитать и «рассортировать» сотни частиц в каждом кубическом миллиметре не позволяет увеличивать объем пробы, для сохранения продолжительности анализа в приемлемых границах.

Для проведения интегрального анализа берут более представительную пробу, что увеличивает достоверность результатов.

6.1 Контроль чистоты жидкости по фильтруемости

Фильтруемость – это метод определения чистоты жидкости, основанный на измерении степени уменьшения скорости отбора фильтрата или увеличении давления фильтрования по мере протекания жидкости через контрольный фильтр. С помощью показателя фильтруемости оценивается интенсивность засорения контрольного фильтра, для зарядки которого применяют плотные хлопчатобумажные или синтетические ткани, фильтровальную бумагу, металлические или полимерные сетки. Для оценки чистоты фильтрованных растворов используют фильеры с

большим количеством отверстий малого диаметра.

Одним из свойств метода фильтруемости является возможность оценки степени загрязненности жидкости на контрольной зарядке, аналогичной зарядке основного технологического фильтра. Это позволяет, с одной стороны, прогнозировать ход предстоящего процесса, а с другой – определить непосредственно эффективность задерживающей способности фильтра.

Для анализа относительной чистоты вискозы широкое применение нашел упрощенный метод определения так называемой «замедляемости», т.е. снижения скорости фильтрования вследствие засорения ФП отделяемыми от анализируемой пробы загрязнениями.

Определение фильтруемости при $\Delta P = \text{const}$ осуществляется на лабораторных приборах и вместе с подготовительными операциями занимает много времени, тогда как производство нуждается в оперативной информации о чистоте жидкостей с целью управления процессами.

Принцип действия приборов, используемых для этой цели, заключается в том, что часть потока технологической жидкости отводят и параллельно основному потоку пропускают при постоянной скорости через эталонный фильтр, непрерывно измеряя при этом возникающий на нем перепад давления. На рисунке 27 показана схема автоматизированного прибора для контроля фильтруемости суспензий.

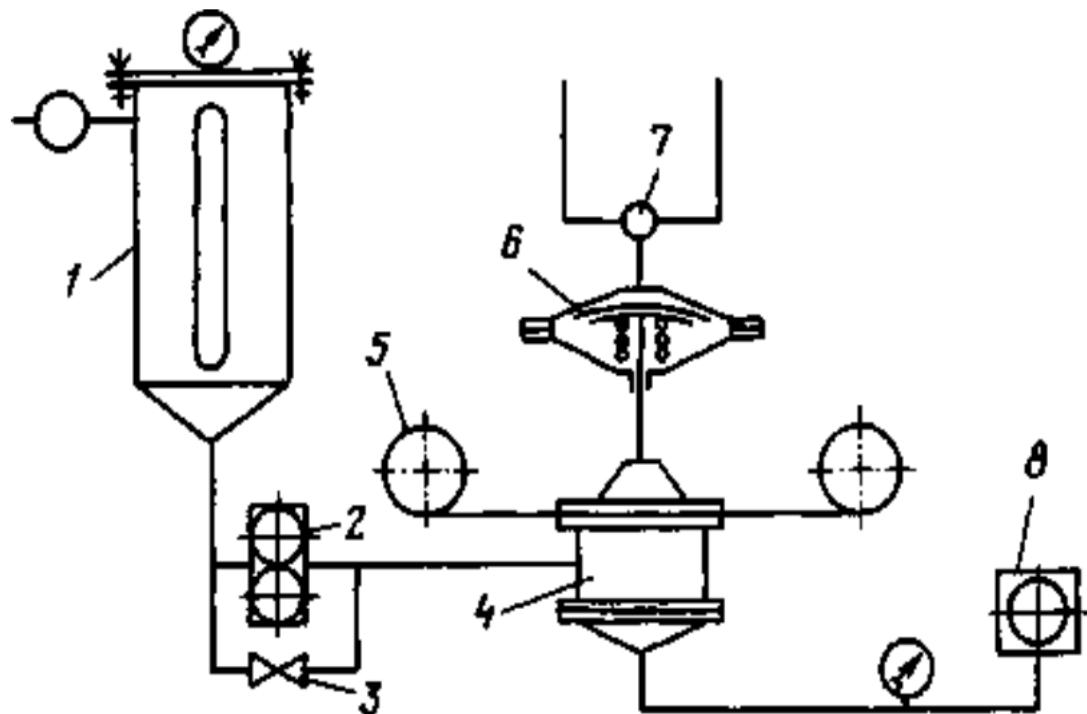


Рис. 27 – Схема автоматизированного прибора для контроля фильтруемости суспензий:

1 – бачок; 2 – дозировочный насос; 3 – вентиль; 4 – контрольный фильтр; 5 – фильтровальная лента; 6 – пневмоклапан; 7 – трехходовой кран; 8 – манометр самопишущий.

Вискоза шестеренчатым насосом нагнетается в камеру фильтрующего блока и продавливается через эталонный фильтр, в котором дискретно передвигается фильтрующая лента. После очередного перемещения и зажима ленты в фильтре постепенно возрастает давление перед ним, непрерывно контролируемое манометром. Через заданный промежуток времени или по достижении некоторого предельного значения давления крышка камеры автоматически открывается и включается привод перемещения ленты. После перемещения камера вновь герметизируется, и наступает следующий цикл пробного фильтрования.

Критерием фильтруемости (загрязненности) служит значение давления фильтрования при заданных промежутках времени или продолжительность фильтрования в каждом цикле до достижения заданного предельного давления. Недостаток метода заключается в том, что результат анализа зависит от вязкости и температуры раствора полимера. Компенсация этих влияний предусмотрена в приборе с двумя контрольными фильтрами (рис. 28).

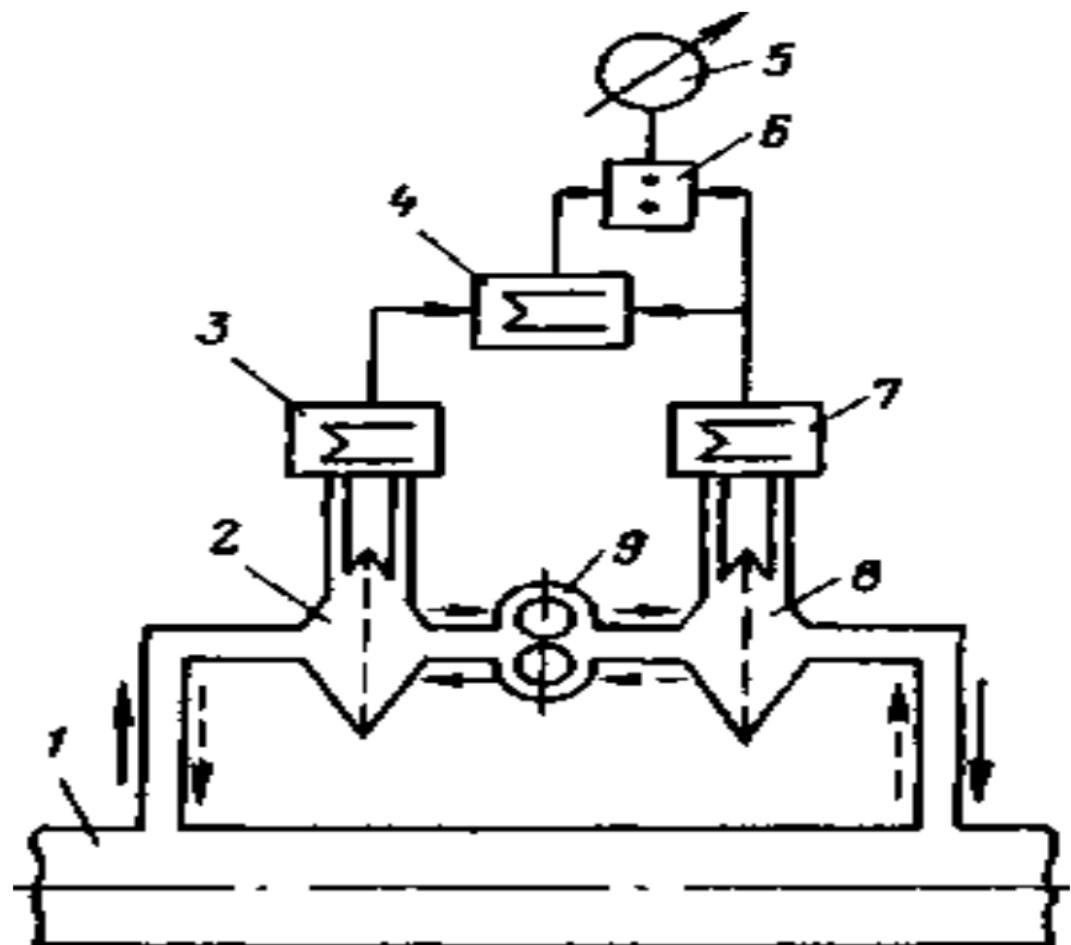


Рис.28 – Схема устройства для автоматического контроля фильтруемости супензий:

1 – трубопровод; 2,8 – контрольные фильтры; 3,7 – дифманометры; 4 – суммирующий блок; 5 – вторичный прибор; 6 – «делимое» блока; 9 – дозировочный насос.

К технологическому трубопроводу с фильтруемой жидкостью подключают два фильтрующих элемента 2 и 8, между которыми устанавливают дозировочный шестеренчатый насос 9. Измерение перепадов давления на фильтр-перегородках производят двумя дифманометрами 3 и 7, выходы которых связаны суммирующим блоком 4. Выход суммирующего блока соединен с блоком 6, выполняющим операцию деления двух сигналов. Результат деления выводят на вторичный прибор 5. Насос по заданной программе за равные промежутки времени прокачивает жидкость сначала в прямом, а затем в обратном направлениях. При протекании жидкости в прямом направлении на фильтрах 2 и 8 возникают перепады давления, измеряемые дифманометрами. В начальный момент времени эти перепады равны между собой, а затем в связи с засорением первого по потоку фильтра 2, перепад давления на нем возрастает. Через второй фильтр во время этого цикла протекает фильтрат, поэтому перепад давления на нем остается постоянным. На выходе суммирующего блока вырабатывается сигнал, пропорциональный разности перепадов давления на фильтрах, а на выходе блока 6 – сигнал, пропорциональный отношению разности перепадов давлений к перепаду давления на втором фильтрующем элементе. Этот сигнал поступает на вторичный прибор 5 и может быть использован для управления технологическим процессом.

Для удобства обработки результатов и записи показаний на автоматизированных приборах следует иметь в виду, что при фильтровании с постоянной скоростью величина объема фильтрата может быть заменена временем от начала фильтрования.

Следует заметить, что показатели чистоты по фильтруемости, охватывающие неполный спектр частиц, применимы только при условии неизменности технологии и типа аппаратурного оформления процесса приготовления раствора полимера и не могут служить абсолютными критериями для сравнительной оценки растворов различных производств /5/.

6.2 Анализ параметров частиц и концентрации загрязнений

Загрязняющие жидкость частицы образуют дисперсную fazу и характеризуются параметрами, принятыми для дисперсных систем. Принято разделять дисперсные системы по величине частиц на грубодисперсные (более 1 мкм), тонкодисперсные (0,1–1 мкм) и высокодисперсные - коллоидные (менее 0,1 мкм).

Как показано выше, в растворах полимеров спектр размеров взвешенных частиц очень широк, поэтому правильнее всего говорить об исходной суспензии частиц в полимерной жидкости. Ее полной характеристикой является дисперсионный состав, который определяют фракционированием и представляют графически в виде гистограммы распределения, а дисперсность описывают функцией распределения N_d частиц по их размерам.

Для исследования параметров распределения частиц в высоковязких

полимерных растворах и расплавах наибольшее применение нашли оптический и кондуктометрический методы анализа, к распространенным методам исследования относятся микроскопический метод, метод спектра мутности, методы прямого определения концентраций загрязнений /5/.

Оптический метод

Для получения информации о количестве и размере частиц используют способность частицы при пересечении светового потока уменьшать его величину или отражать (рассеивать) некоторую часть световой энергии.

Контролируемая суспензия проходит через кювету с калиброванным окном. Луч света пронизывает поток жидкости с частицами и попадает на фотоэлемент. При прохождении частицы часть светового потока прерывается, и фотоэлемент выдает сигнал, пропорциональный величине частицы. Мгновенное изменение светового потока передается на счетчик, который откалиброван в различных диапазонах изменения размера.

Для анализа гетерогенных включений в вискозе и ацетатных растворах использовали оптический метод подсчета частиц в рассеянном свете (рис.29).

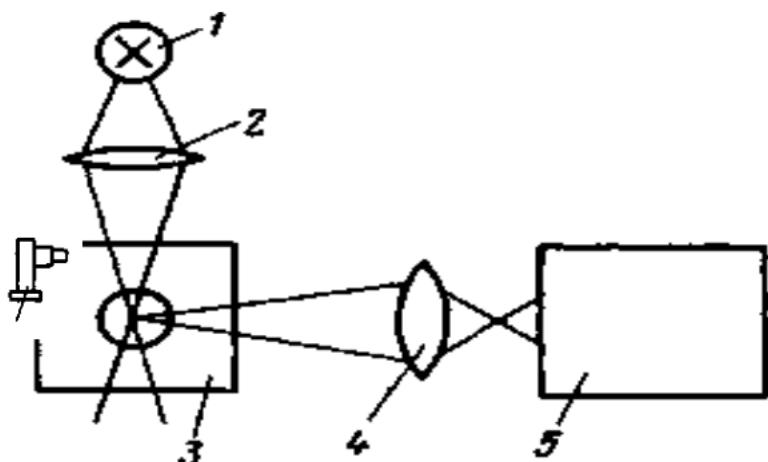


Рис.29 – Схема установки для подсчета частиц:

1 – источник света; 2, 4 – объективы 3 – кювета; 5 – фотоэлектрическая приставка.

Свет, рассеянный струей раствора, фокусируется под углом 90° с помощью объектива и направляется на щель фотоэлектрической приставки. Любые гетерогенные включения регистрируются в темной струе раствора как светящиеся частицы. Использование рассеянного света дало возможность регистрировать частицы размером более 20 мкм. Запись пиков позволила анализировать загрязненность растворов. Отмечено, что нет строгой корреляции между размерами частиц и величиной регистрируемого пика.

Кондуктометрический метод

Метод нашел широкое применение для исследования загрязнений электропроводящих жидкостей, в частности вискозы. Метод основан на определении изменения электрического сопротивления между двумя

электродами при вытеснении электролита из измерительного капилляра частицами загрязнения (рис.30).

Исследуемая жидкость, содержащая частицы, заливается в стакан 7 и пробирку 5 с капиллярным отверстием 6. Опущенные в жидкость электроды 9 подключаются к источнику постоянного тока 11, в результате чего цепь замыкается через электропроводящую жидкость.

Перед измерением прибор подключают к вакуумной линии, открыв кран 12, в результате чего жидкость поднимается по опущенной в пробирку трубке. Одновременно поднимается ртуть в правом колене U-образного манометра 4. При закрытом кране 12 ртуть перемещается из правого в левое колено и, вследствие создаваемого разряжения, жидкость перекачивается через отверстие 6 из стакана в пробирку.

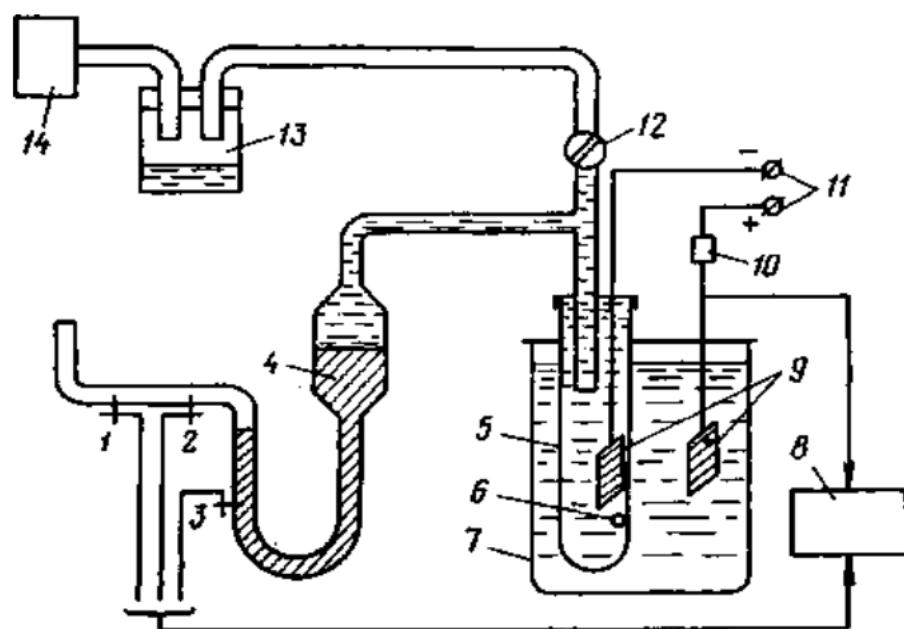


Рис. 30 – Схема кондуктометрического счетчика частиц:

1, 2, 3 – контакты; 4 – U-образный манометр; 5 – пробирка; 6 – отверстие диаметром 30 – 560 мкм; 7 – стакан с супензией частиц в электролите; 8 – счетчик прибора; 9 – электроды; 10 – сопротивление; 11 – источник постоянного тока; 12 – кран; 13 – сосуд для отработанной супензии; 14 – вакуумный насос.

При прохождении частицы через отверстие изменяется электрическое сопротивление между электродами и величина тока, а с сопротивления снимается импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна размеру частицы. Столбик ртути в левом колене при замыкании контактов 1 и 2 включает и выключает счетчик частиц. Поступающие от датчика импульсы напряжения усиливаются, сортируются дискриминатором и подсчитываются счетчиком. Дискриминатор пропускает на счетчик импульсы с амплитудой выше установленного значения. Проведя серию исследований при разных напряжениях, получают гистограмму

распределения частиц по размерам.

Автоматизированный анализ частиц в широком диапазоне размеров, достаточно хорошая точность и воспроизводимость результатов являются основными преимуществами кондуктометрического метода.

Микроскопический метод

Этот метод является модификацией оптического метода. Ценность его заключается в большой информативности о размерах, форме и природе частиц. Это помогает понять механизм образования или попадания загрязнений в жидкость и выбрать соответствующие способы уменьшения количества частиц.

Существует много разновидностей микроскопического анализа, отличающихся способом размещения пробы в поле зрения микроскопа. Рассматривают частицы в капле жидкости между предметным и покровным стеклом или между плоскопараллельными стенками кювет в медленно истекающей струе.

Для анализа гель-частиц в полимерных растворах, имеющих показатель преломления световых лучей, близкий к показателю преломления жидкости, используют микроскоп с фазово-контрастной насадкой или вводят в пробу красители. Раствор поликаaproамида, например, исследуют на простом лабораторном приборе, состоящем из цилиндра и трубки емкостью 5 мл, которая заканчивается капилляром диаметром 0,4 мм. Раствор вытекает из трубки в цилиндр со смесью этилового спирта и воды, обеспечивающей медленное течение струи без заметной коагуляции. При освещенном цилиндре и черном экране подсчитывается количество и размер частиц в растворе при скорости истечения 0,10-0,12 см³/мин.

Аналогично проводят исследование загрязнений с помощью микроскопа. Подсчитывают число гель-частиц и других загрязнений размером более 60 мкм в вискозе, вытекающей из тонкого капилляра. Метод используется для грубой оценки чистоты нефильтрованной вискозы.

Известны различные модификации микроскопического исследования загрязнений, например, путем проектирования струйки на экран или измерения частиц в сформованном моноволокне. Нижний предел размера регистрируемых частиц находится на уровне 40-50 мкм.

Для построения кривых распределения на основе микроскопического анализа рекомендуется фотографировать объект в поле зрения микроскопа с последующей математической обработкой данных. Этот метод применяется только в исследовательской практике для анализа частиц размером более одного микрометра.

Метод спектра мутности

Доля рассеянной световой энергии при прохождении света через дисперсные системы зависит не только от параметров частиц (числа и размеров), но также от длины волны рассеиваемого света. Метод спектра мутности нашел применение для определения параметров микрогелевых

частиц в растворах поливинилового спирта, ацетата целлюлозы, акриловых латексов, вискозы. Метод основан на дисперсии рассеянного света в оптически неоднородной среде и позволяет определять параметры и концентрацию достаточно мелких частиц (частиц коллоидных размеров).

Методы прямого определения концентрации загрязнений основаны на выделении осадка центрифугированием или фильтрованием через плотную перегородку с последующим отбором и анализом проб. При этом можно анализировать частицы разного размера путем фракционирования. Так, например, разработан метод определения концентрации частиц в полиэтилентерефталате путем химической деструкции диэтиленгликолем.

Измельченную смолу (20 г) помещают в круглодонную колбу (500 мл), добавляют диэтиленгликоль (300 мл) и кипятят с воздушным обратным холодильником до полного растворения. В качестве катализатора используется ацетат цинка (0,02% от навески смолы). Время разложения полиэтилентерефталата в присутствии ацетата цинка 2,5-3 ч. Полученный горячий раствор фильтруют через фильтр Шотта. Остаток на фильтре промывают горячим диэтиленгликолем до исчезновения продуктов гликолиза в фильтрате. После охлаждения осадок промывают ацетоном, высушивают до постоянной массы при температуре 100-105 °С и анализируют.

6.3 Методы определения содержания посторонних включений в полимере

Сущность одного из методов состоит в подсчете количества посторонних включений в предварительно подготовленной пленке микроскопическим способом /15/. Пробоотборником отбирают пробу гранулята с любой технологической стадии или аппарата. Навеску полимера массой 20-30 г подсушивают в вакуумном сушильном шкафу при температуре (160 ±15)°С в течение двух часов, затем охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры. Навеску обработанного полимера массой (8±0,1) г размещают в центре алюминиевой прокаленной в течение 30 мин при температуре 300°С и охлажденной пластины размером 215x215 мм и толщиной 1,5 мм, накрывают другой такой же пластиной. Помещают пластины на 45 с в пресс для расплавления полимера при (300±15)°С, создают давление на пластины до 49·10⁵ Па. Затем пластины опускают в холодную воду для охлаждения и отделяют образовавшуюся пленку. По трафарету вырезают из изотропной пленки квадрат размером 110x110 мм. Полученный квадрат пленки подвергают двухосному вытягиванию в специальном аппарате при температуре (90 – 100)°С со скоростью 3,6 м/мин при трехкратном удлинении. Полученную пленку рассматривают в аппарате поляризованного света, отмечая фломастером посторонние частицы, видимые как светящиеся точки. Затем осуществляют подсчет числа посторонних включений под микроскопом при увеличении 60 крат. Число включений, шт/ г полимера, рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{N}{M} \quad (37)$$

где N – количество посторонних частиц в пленке полимера, шт.;

M – масса пленки, г.

Широко применяется метод оценки фильтруемости полимеров фирмы «Хехст» /16/. Предварительно высушенный гранулированный ПЭТ расплавляют и экструдируют при заданных параметрах через металлическую сетку (приложение В). Фиксируют количество продукта, G, прошедшего через систему до значения $\Delta P = 10$ МПа. Из сложившейся практики устанавливают граничные значения показателей фильтруемости. Например, при $G \leq 4$ кг констатируется неудовлетворительная фильтруемость, при $G > 4$ кг – пригодные значения, при $G > 8$ кг – хорошая фильтруемость. Эти значения применяют для матированного и микроматированного ПЭТ. Использование в промышленной практике продукта с показателем $G < 3$ кг сопряжено с резким возрастанием давления в расплавопроводах и массовой разгерметизацией фильтерных комплектов. Данные коррелируют с оценками стабильности процесса формования волокон из расплава (продолжительность работы фильтерных комплектов до отказа, устойчивость истечения струек расплава и др.).

На фильтруемость влияют:

- состояние суспензии двуокиси титана, применяемой в качестве матирующего агента;
- перегрев в реакторах, линиях, колебания уровня их заполнения;
- наличие высококристаллической полимерной пыли, что связано с неудовлетворительным качеством ножей грануляторов, плохим рассевом гранулята, разбросом времени пребывания ПЭТ в сушилке, истираемостью полимера при высоких скоростях транспортирования.

Остаток на фильтрах может быть изучен следующими методами: исследование раствора ПЭТ в гексафторизопропаноле или в дихлоруксусной кислоте; визуальное определение в ультрафиолете с $\lambda = 366$ нм (гель-частицы – светло-желтые или оранжевые точки, остатки катализаторов – темные точки); микроскопическое исследование неорганических компонентов фотографированием под стереомикроскопом при многократном увеличении и др.

Многообразие методов определения загрязненности полимеров обусловлено не только различием в целях анализа, но также трудностями получения достоверной информации по загрязненности больших объемов контролируемой среды. Каждая методика имеет свои достоинства, а также свои характерные трудности. Для решения частных задач контроля в практике реализуют конкретные рекомендации и сопоставления различных способов определения загрязненности.

7 Пути повышения эффективности фильтрования в производстве химических волокон

Совершенствование процесса фильтрования растворов полимеров направлено на повышение качества очистки, т.е. полноты отделения

взвешенных частиц, снижение общей стоимости проведения технологической стадии фильтрования, ее трудоемкости, а также улучшение условий труда и экономических показателей /5/. Все это достигается решением комплекса задач, примерный перечень которых приводится ниже.

Принципиальные пути повышения эффективности фильтрования можно сформулировать следующим образом:

для фильтровальной перегородки - повышение тонкости фильтрования; увеличение грязеемкости ФП и ресурса ее работы; повышение надежности удерживания перегородкой как твердых, так и гелеобразных частиц или их эффективное дробление;

для фильтра - удлинение интервала времени между заменами фильтровальной перегородки посредством увеличения удельной эффективной поверхности фильтрования, регенерации ФП внутри фильтра, повышения эффективности регенерации; уменьшение частоты замены ФП и ее периодической регенерации (этой цели может служить не только увеличение эффективной поверхности фильтрования, но и совмещение во времени операций фильтрования и удаления из фильтра загрязнений); сокращение числа ручных операций.

При решении задачи повышения тонкости очистки растворов полимеров возникают трудности в изготовлении ФП с малыми порами. Техника изготовления основана на использовании диспергированных материалов, проволоки, нитей, волокон для создания из них простенков между порами. При использовании крупных частиц и волокон большого диаметра получаются толстые простенки между порами ФП и, как правило, поры большого диаметра. Плотным ткачеством можно добиться малого размера пор, но пористость ФП окажется в этом случае низкой. Керамические и металлокерамические ФП из тонких порошков из-за возрастающего влияния сил когезии получаются полидисперсными, с большой дисперсией размера пор, ибо возникают не только мелкие поры между отдельными частицами, но и крупные между их агрегатами. Для достижения однородности по размеру пор требуются значительные усилия прессования, что вместе с тем приводит к уменьшению пористости, проницаемости и грязеемкости ФП.

При намывке на дренирующие подложки тонких порошков формируются высококачественные однородные ФП. При этом возрастает опасность проскока частиц намывного материала в фильтрат, и требуется плотная подложка. В итоге получаются перегородки с большим гидравлическим сопротивлением, обусловливающим высокую частоту перезарядки фильтра.

Таким образом, несмотря на отсутствие серьезных технических трудностей достижения тонкой очистки в принципе, она всегда влечет за собой проблему грязеемкости ФП. Это одна из причин, по которым приходится отказываться от «сверхтонкой» очистки растворов полимеров. Изыскание же технических путей повышения грязеемкости ФП может сместить результаты этого решения в сторону более плотных перегородок и,

следовательно, более тонкого фильтрования.

Повышение грязеемкости фильтр-перегородок

Важную роль в повышении грязеемкости играет выбор фильтровального материала. Среди рассмотренных в гл. 4 материалов для тонкого фильтрования растворов полимеров большими преимуществами обладает, например, войлок из тончайших металлических волокон. Имея более высокую жесткость, волокна из нержавеющей стали в спрессованном и спеченном состоянии образуют высокопористую несжимаемую ФП с толщиной простенков между порами от 2 мкм и меньше. При такой толщине даже при очень малом размере пор и, следовательно, очень тонком фильтровании сохраняется высокая пористость (до 85%) и грязеемкость материала.

Оценки некоторых металлических ФП различного типа, приведенные в приложении Б, свидетельствуют о преимуществах металлических войлоков. Ниже приведены значения гидравлического сопротивления (Па) металлических ФП со средним размером пор, равным 10 мкм:

Проволочная сетка	270;
Металлические волокна	318;
Металлический порошок	1715.

Металловолокнистая ФП при одинаковом размере пор по сопротивлению превосходит металлокерамический ФП в 5,4 раза, а по пористости почти вдвое. Ресурс продолжительности фильтрования через такие ФП в 2,5 – 3,0 раза выше, чем в случае металлокерамических перегородок.

Низкое начальное сопротивление проволочной сетки обусловлено ее однослойностью. Недостатки такой сетки наряду с преимуществами нетканого металлического фильтр-материала, обсуждались в гл. 4.

Структура фильтр-материала должна обеспечивать надежное удаление мелких и гелеобразных частиц из фильтруемой жидкости, а также обладать большим объемом пустот (пористостью) для вмещения максимального количества загрязнений. Очевидно, качество продукта стоит на первом месте, и для достижения хороших результатов ФП комплектуют из 2, 3, 4 и более слоев металлического войлока. Благодаря использованию волокон различного диаметра каждый слой служит определенной цели. Например, в трехслойной композиции наружный слой может состоять из волокон диаметром 25 мкм и обеспечивать удаление крупных и твердых частиц, а также препятствовать пути гель-частицам, вытягивая их в глубине материала и предотвращая тем самым засорение более тонких слоев. Промежуточный слой состоит из волокон диаметром 12 мкм и задерживает мелкие и деформируемые частицы. Последний слой из волокон диаметром 2- 4 мкм задерживает отдельные гелеобразные и мельчайшие частицы.

Увеличение грязеемкости ФП может быть достигнуто путем придания ей складчатой или рифленой формы; созданием сложной структуры ФП, способствующей лучшему распределению по ее толщине задерживаемых

частич.

Для изготовления складчатых перегородок материал должен, с одной стороны, складываться без разрушения, с другой, обладать необходимой мерой жесткости для сохранения при фильтровании первоначальной формы. В последнее время получают распространение фильтровальные элементы из гофрированных металловолокнистых перегородок (рис.31). Жесткость этих элементов достаточна для фильтрования растворов полимеров, однако вследствие их высокой стоимости необходима эффективная и многократная очистка засоренных элементов для их повторного использования. Простой промывки для этого недостаточно. Ее необходимо сочетать с ультразвуковым или химическим воздействием, например, с вакуум-пиролизной обработкой.

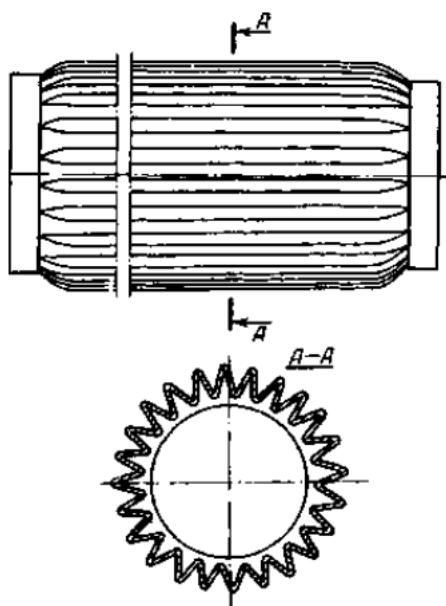


Рис.31 – Фильтровальный элемент из гофрированного металловолокнистого материала

Аналогичной цели можно достигнуть рифлением толстостенных жестких фильтровальных элементов из керамики, металлокерамики или полимерного материала. Правомерность такого приема базируется на том, что однородная жесткая объемная ФП засоряется, в основном, у поверхности. Поэтому рифление приводит к неравномерности скорости фильтрования по поверхности ФП: впадины фильтруют быстрее выступов. По мере засорения элемента эта неравномерность нивелируется. Недостатком способа является снижение механической прочности рифленого элемента.

Вторым направлением является создание более сложной структуры ФП, способствующей распределению по толщине задерживаемых частиц. Применение двухслойных керамических фильтровальных элементов (рис.32) известно из опыта фильтрования прядильного раствора в производстве вискозных волокон. Второй, более плотный, слой керамики задерживает

частицы, не задержанные первым слоем. Идеальным является такое соотношение размера пор, при котором к моменту перезарядки распределенные загрязнения уравнивают сопротивление слоев, что практически недостижимо, так как послойное распределение загрязнений по своей физической природе – процесс неустойчивый. Еще труднее реализовать оптимальное соотношение темпа засорения в многослойной жесткой перегородке, которая, казалось бы, должна быть особенно грязеемкой, поэтому многослойные жесткие ФП не находят промышленного применения.

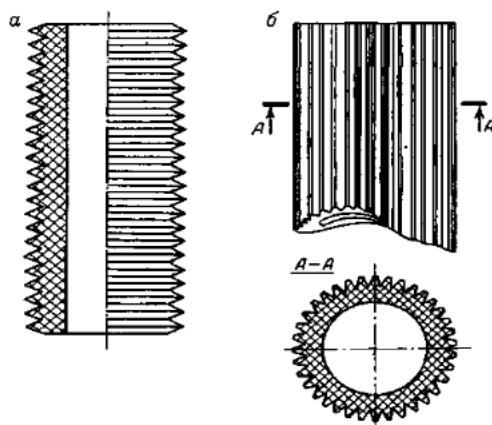


Рис.32 – Металлокерамические патроны с кольцевыми (*а*) и продольными (*б*) рифами на наружной поверхности

Повышение грязеемкости двухслойного жесткого элемента обусловлено не только механизмом расслоения задерживаемых загрязнений, но и снижением начального гидравлического сопротивления. Помимо того, что основной, более плотный слой освобождается от засорения некоторой крупнодисперсной фракцией загрязнений, начальное сопротивление такого комбинированного патрона ниже, чем однослойного, так как толщина стенки выбирается из условия механической прочности, которая мало зависит от размера пор, а уменьшение толщины плотного слоя приводит к падению сопротивления ФП. Эффект суммарного влияния обоих факторов проиллюстрирован (рис.33) двумя кривыми фильтрования раствора ароматического полиамида в диметилацетамиде (ДМАА) через однослойную (1) и двухслойную (2) пористую керамику при одинаковой скорости.

Комбинированием жестких ФП и высокопористых волокнистых материалов, подбором линейной плотности волокон, поверхностной плотности войлока, числа его слоев удается достичь желаемых результатов, в частности, обеспечить желаемое соотношение сопротивлений волокнистого слоя и жесткой перегородки, избежать не только вредного сжатия нетканого материала, но и сохранить его грязеемкость, обеспечить задерживание основной массы загрязнений. Лишь самые мелкие (вредные для фильтрата) частицы проходят волокнистый слой и задерживаются жесткой перегородкой. Намывом вспомогательного слоя

мелконарезанного волокна (МНВ) на поверхность жесткой ФП можно повысить ресурс ее работы. Это не намывной фильтр. Намытый слой МНВ не обеспечивает необходимой полноты отделения загрязнений. Вспомогательный же слой МНВ по аналогии со слоем войлока в предыдущем способе защищает ее от основной массы загрязнений. Пористость и грязеемкость у слоя намытого волокна выше, чем у нетканого волокнистого материала.

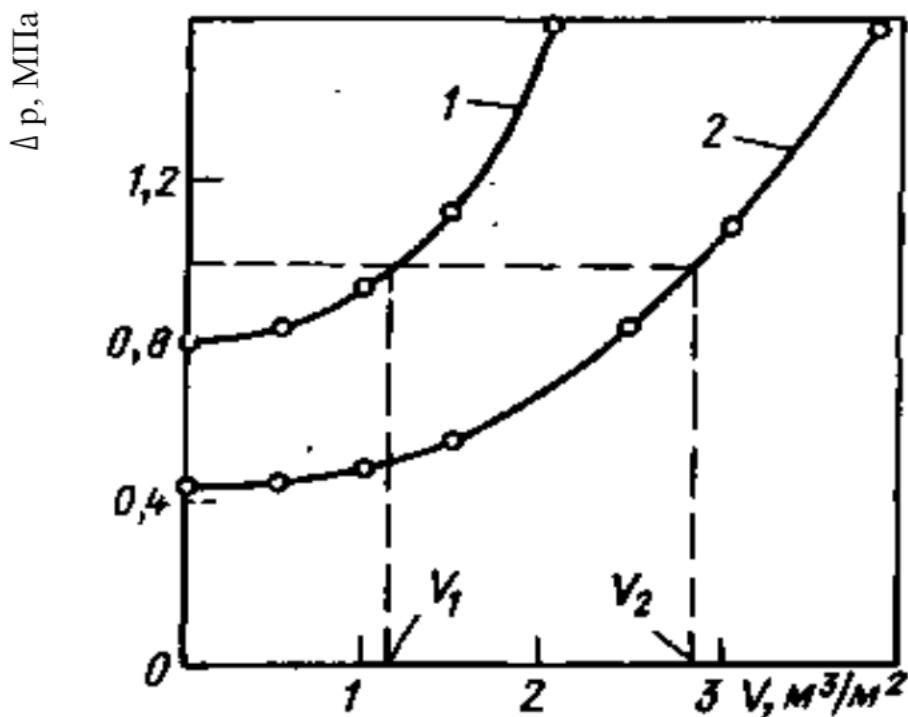


Рис.33 – Кривые фильтрования раствора полимера через керамическую ФП толщиной 10 мм:

1 – однослойная (40 мкм); 2 – двухслойная (80/40 мкм);

ΔP – перепад давления на ФП; V – объем фильтрата.

При фильтровании раствора поли-*p*-фенилентерефталамида в серной кислоте через керамический фильтровальный элемент трубчатого типа с толщиной стенки 10 мм и размером пор 75 мкм был применен намыв на поверхность пористой керамики нарезанного длиной 5 – 6 мм полипропиленового волокна линейной плотностью 0,3 текс в количестве 0,75 кг/м². Вязкость раствора 260 Па с, скорость фильтрования 91 л/(м²·ч). Применение намыва МНВ увеличило продолжительность работы фильтровального элемента в 3 раза.

Регенерация таких ФП противотоком промывной жидкости проходит успешнее, чем обычных однослойных или двухслойных жестких фильтр-элементов, так как основная масса загрязнений отслаивается от наружной поверхности жесткого фильтр-материала вместе с намывным слоем МНВ /5/.

Примеры расчетов параметров фильтровальных систем приведены в приложении Г.

Предложенный материал, несомненно, позволит обучающимся сложить представление о роли фильтрования, как важнейшей операции в производстве химических волокон и в дальнейшей производственной деятельности акцентировать их внимание на грамотном оформлении приемов фильтрования сред.

Литература

- 1 Материалы третьей Белорусской научно-практической конференции «Научно-технические проблемы развития производства химических волокон». Могилев. 2007 – 22 с.
- 2 Методическое пособие «Современные процессы и оборудование для формования волокон из расплавов полимеров» по курсу «Оборудование заводов химических волокон». УО МГУП. 2005.
- 3 Сборник задач и упражнений по курсу «Физико-химические основы формования химических волокон», ч.2. УО МГУП. 2004.
- 4 Плаксин, Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. – М.: КолосС. 2003 – 760 с.
- 5 Матвеев, В.С. Фильтрование вязких растворов полимеров / В.С. Матвеев, О.В. Оприц. – М.: Химия. 1989 – 208 с.
- 6 Жужиков, В.А. Фильтрование: Теория и практика разделения суспензий. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1980. – 398 с.
- 7 Каталог «Nonstop-Filter, Longlife-Filter фирмы Barmag» . 12 с.
- 8 Pohl H., Sauter M. New technology for PET large area filtration // J. FiberJournal. April 2007 – P. 22-24.
- 9 Gneus S. Process-constant melt filtration // J. FiberJournal. April 2007 – P. 28-29.
- 10 Каталог «Обзор фильтрующих систем фирмы «Gneuss Kunststofftechnik GmbH». 2001. – 17 с.
- 11 Uhrner H. Modern thermal filter cleaning // J. FiberJournal. April 2007 – P. 30-32.
- 12 Vandendijk S. Optimized system design gives lowest cost of filtration // J. FiberJournal. April, 2007. – P. 33-35.
- 13 Каталог «Фильтровальные системы для обеспечения чистоты технологических процессов от фирмы Seebach (Россия)». - 13 с.
- 14 Technical Textiles. The spinfinish makes the difference. March, 2001. № 1 – 57 Р.
- 15 Методика определения числа посторонних включений в полимере фирмы «Toyo Baldwin» (Япония).
- 16 Методика определения фильтруемости полимеров фирмы «Хехст».

Приложение А

Стойкость фильтр-материалов в агрессивных средах

Материал	Стойкость			
	В кислотах	В щелочах	В органических растворителях	В других химикатах
Хлопок, лен	Устойчивы при t<90°C в разбавленных соляной и серной кислотах (до 1,5 % концентрации)	Устойчивы в разбавленных (до 10%-й концентрации) растворах без нагревания	Устойчивы	Растворяются в аммиачных растворах Cu, Ni, Co и щелочном растворе сероуглерода
Шерсть	Устойчива в серной (до 20 % концентрации) и соляной (до 10 % концентрации) кислотах	Нестойка	Устойчива	Устойчива
Шелк натуральный	Устойчив, однако несколько меньше, чем шерсть	Устойчив несколько более, чем шерсть	Устойчив	Растворяется в концен- трированных растворах некоторых солей
Ацетатное, триацетатное волокна	Нестойки в сильных кислотах и в ледяной уксусной	Нестойки	Растворяются в ацетоне (триацетатное - набухает), феноле, трибутилфосфате, смеси дихлорэтана со спиртом и в других растворителях	Разрушается сильными окислителями

Продолжение приложения А

Материал	Стойкость			
	В кислотах	В щелочах	В органических растворителях	В других химикатах
Вискозное волокно	Разрушается в горячих разбавленных кислотах и при любой температуре в концентрированных кислотах	Нестойко в концентрированных растворах, в разбавленных падает прочность	Устойчиво	Разрушается сильными окислителями. Обработка отбеливающими веществами слабых концентраций допустима непродолжительное время
Полиамидное волокно	Нестойко	Устойчиво	Устойчиво, кроме некоторых фенольных соединений	Высокоустойчиво
Полизифирное волокно	Устойчиво в водных растворах кислот (кроме смеси соляной и азотной). В 100 % серной кислоте растворяется	Устойчиво, кроме раствора аммиака. Разрушается в крепких растворах при кипячении	Растворяется лишь в некоторых фенольных соединениях	Устойчиво к действию окислителей
Полиакрилонитрильное волокно	Нестойко только в концентрированных кислотах	Устойчиво в слабых растворах при комнатной температуре	Большинство широко применяемых растворителей не действует. Растворяется в DMAA, ДМФ, тетраметилсульфоне	То же
Волокно винол	Устойчиво в кислотах средних концентраций	Устойчиво к щелочам средних концентраций	Устойчиво к большинству растворителей	Устойчиво к действию восстановителей

Продолжение приложения А

Материал	Стойкость			
	В кислотах	В щелочах	В органических растворителях	В других химикатах
Полиолефиновое волокно	Очень устойчиво	Очень устойчиво	Набухает в хлорзамещенных углеводородах. При нагревании растворяется	Подвержено действию некоторых окислителей
Поливинилхлоридное волокно	Устойчиво	Устойчиво	Во многих растворяется или набухает, но в меньшей мере, чем хлорин и ПАН	Устойчиво
Политетрафторэтилен (пористый материал, волокно)	Очень устойчив	Устойчив	Устойчив	Устойчив
Поликарбонатное волокно	Устойчиво в слабых и разбавленных кислотах	Устойчиво в 9 % растворе KOH	Не растворяется, но набухает во многих растворителях	
Фторлон (ткань)	Устойчив в слабых и разбавленных кислотах	Низкая устойчивость	Растворяется в кетонах, DMAA	Устойчив

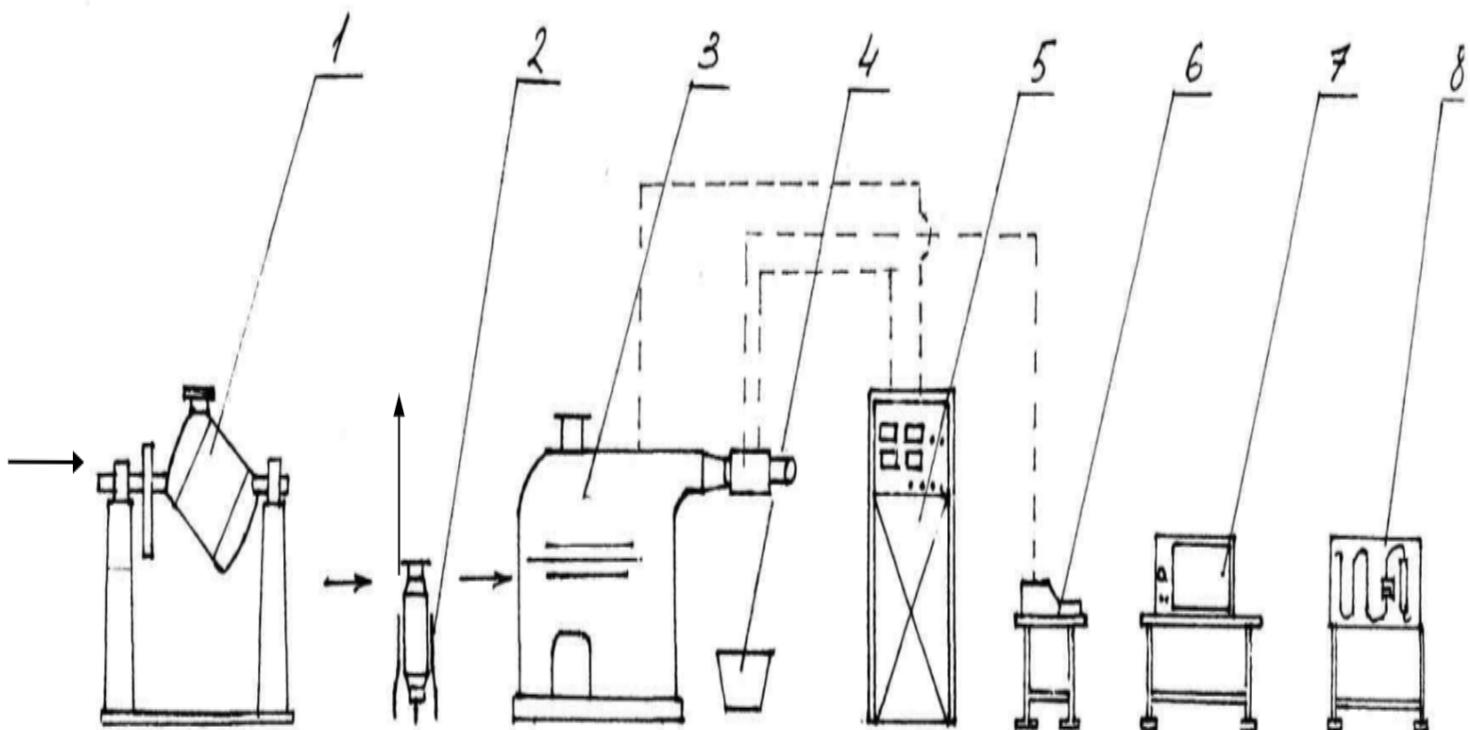
Приложение Б

Характеристика металлических фильтровальных перегородок

Показатели	Сетка		Металлический порошок		Металлическое волокно	
	грубая	тонкая	крупный	мелкий	грубоё	тонкое
Размер удаляемых микрочастиц, мкм	100	5	55	2	80	1
Распределение размера пор	Узкое	Узкое	Широкое	Среднее	Широкое	Среднее
Классификация частиц (ситовый эффект)	Есть	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет
Объем пустот (пористость)	Средний	Малый	Средний	Малый	Большой	Большой
Фильтрование от геля	Плохое	Плохое	Среднее	Среднее	Среднее	Хорошее
Сопротивление течению жидкости	Низкое	Среднее	Среднее	Высокое	Низкое	Среднее
Складчатость	Есть	Есть	Нет	Нет	Есть	Есть
Фильтрование загрязнений	Плохое	Плохое	Среднее	Среднее	Хорошее	Хорошее
Сопротивление регенерации	Низкое	Среднее	Среднее	Высокое	Среднее	Высокое
Стоимость единицы площади фильтра	Низкая	Высокая	Средняя	Высокая	Средняя	Высокая

Приложение В

гранулят полимера



Технологическая схема установки для определения фильтруемости полимеров:

- 1 - сушилка комплектная с нагревательным устройством и вакуумной установкой; 2 - промежуточный бак;
- 3 - экструдер с прифланцеванным прядильным насосом; 4 - емкость сбора расплава;
- 5 - измерительный шкаф; 6 - самописец для записи давления между прядильным насосиком и фильтровальным комплектом;
- 7 - шкаф для подогрева фильтровальных комплектов; 8 - прибор для контроля сеток.

Задача 1

Вычислить количество фильтр-прессов, необходимых для проведения одной фильтрации (+20 % резерва) при производстве вискозной сосисочной оболочки мощностью 10 т/с. Средняя скорость фильтрации 40 дм³/м²·ч. Концентрация вискозы по α -cell 8,3 %. Плотность вискозы 1120 кг/м³. Содержание пластификатора (глицерина и вазелинового масла) в оболочке 15 % (масс). Влажность оболочки 12 % (масс). Рабочая площадь фильтр-пресса

50 м². Потери по α -cell по всему технологическому циклу 10 % (масс).

Решение

Рассчитаем объем вискозы Q , м³/с, необходимый для производства 10 т/с вискозной сосисочной оболочки:

$$Q = \frac{\text{Пр} \cdot (1 - w) \cdot (1 - z) \cdot 100}{C \cdot \rho \cdot (1 - \Pi)} = \frac{10000 \cdot (1 - 0,12) \cdot (1 - 0,15) \cdot 100}{8,3 \cdot 1120 \cdot (1 - 0,1)} = 89,41 ;$$

где Пр – производительность предприятия по готовой сосисочной оболочки, кг/с;

$K_w = (1 - w)$ – коэффициент, учитывающий влажность сосисочной оболочки;

$K_z = (1 - z)$ – коэффициент, учитывающий содержание пластификатора на сосисочной оболочке;

C – концентрация раствора полимера, % (масс.);

ρ – плотность раствора полимера, кг/м³;

Π – потери полимера по разным стадиям технологического процесса.

Рассчитаем общую фильтрующую поверхность всех фильтр-прессов:

$$\text{Выразим из уравнения Дарси } (V_\phi = \frac{dQ}{F_{\text{общ}} \cdot dt}) \text{ площадь фильтрующего слоя, } F, \text{ м}^2:$$

$$F_{\text{общ}} = \frac{dQ}{V_\phi \cdot dt} = \frac{89,41 \cdot 1000}{40 \cdot 24} = 93,14$$

где Q – объем профильтрованного раствора, м³/с;

V_ϕ – средняя скорость движения прядильного раствора через фильтр, дм³/м²·ч;

t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета 1 м³ = 1000 дм³.

Рассчитаем количество фильтр-прессов, которые необходимо иметь одновременно в работе:

$$n = \frac{F_{\text{общ}}}{F} = \frac{93,14}{50} = 1,86 \approx 2;$$

где F – площадь фильтрации одного фильтра, м².

Рассчитаем количество фильтр-прессов (с учетом резерва), которые необходимо одновременно иметь в работе:

$$n = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \approx 3.$$

Ответ: Необходимо установить для одной фильтрации 3 фильтр-пресса с рабочей поверхностью каждого 50 м².

Задача 2

Рассчитать производительность завода полиакрилонитрильного (ПАН) волокна марки нитрон- С, если заключительная фильтрация осуществляется на 5 рамных фильтр-прессах с площадью фильтрации каждого 50 м². Концентрация прядильного раствора 12 % (масс). Плотность прядильного раствора 1315 кг/м³. Скорость фильтрации 26 дм³/м²·ч . Содержание замасливателя на волокне 0,9 % (масс), влажность волокна 2,4 % (масс). Потери ПАН по всем переходам технологического процесса 5,8 % (масс).

Решение

Рассчитаем общую рабочую площадь фильтрации на производстве, F , m^2 :

$$F_{\text{общ}} = n \cdot F = 5 \cdot 50 = 250$$

где n – количество фильтров.

Рассчитаем количество фильтруемого прядильного раствора в сутки.

Выразим из уравнения Дарси ($V_\phi = \frac{dQ}{F \cdot dt}$) объем профильтрованного раствора Q , $m^3/\text{с}$:

$$Q = F_{\text{общ}} \cdot V_\phi \cdot t = \frac{250 \cdot 26 \cdot 24}{1000} = 156$$

где V_ϕ – средняя скорость движения прядильного раствора через фильтр, $dm^3/m^2 \cdot \text{ч}$;

t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета $1 m^3 = 1000 dm^3$.

Рассчитаем производительность завода Пр, т/с:

$$\text{Пр} = \frac{Q \cdot C \cdot \rho \cdot (1 - \Pi)}{(1 - w) \cdot (1 - z) \cdot 100} = \frac{156 \cdot 0,12 \cdot 1315 \cdot (1 - 0,058)}{(1 - 0,024) \cdot (1 - 0,009)} = 23,975$$

где $K_w = (1 - w)$ – коэффициент, учитывающий влажность волокна;

$K_z = (1 - z)$ – коэффициент, учитывающий содержание замасливателя на волокне;

C – концентрация раствора полимера; ρ – плотность раствора полимера, kg/m^3 ;

Ответ: производительность завода ПАН волокна марки нитрон-С равна 23,975 т/с.

Задача 3

Определить число фильтров и расход фильтрующих материалов для фильтрации 470 $m^3/\text{с}$ вискозы. Фильтрация может осуществляться по двум вариантам: 1-й вариант — двухступенчатая фильтрация на фильтр-прессах; 2-й вариант — первая фильтрация — на фильтрах с намывным слоем и центробежной очисткой, вторая — на фильтр-прессах.

Исходные данные:

Для 1-го варианта

Поверхность фильтрации одного фильтр-пресса, $56 m^2$.

Зарядка фильтр-прессов:

первой фильтрации – байка – 2 слоя, бязь – 1 слой; второй фильтрации – гамджа – 1 слой, линтинг – 2 слоя. Сменяемость фильтр – материалов: первой фильтрации – ежедневно, второй фильтрации – 1 раз в 45 суток. Скорость фильтрации, $dm^3/m^2 \cdot \text{ч}$: первой фильтрации – 20, второй фильтрации – 30. Число стирок фильтр – материалов: на первой фильтрации – 10, на второй фильтрации – одноразовое использование.

Для 2-го варианта

Поверхность фильтрации фильтра с намывным слоем $42 m^2$.

Зарядка фильтров: первой фильтрации – намывной слой модифицированного волокнистого материала, второй фильтрации – гамджа – 1 слой, линтинг – 2 слоя. Сменяемость фильтр – материалов: первой фильтрации – ежедневно, второй фильтрации – 1 раз в 45 суток.

Скорость фильтрации, $dm^3/m^2 \cdot \text{ч}$: первой фильтрации – 100, второй фильтрации – 30. Число обработок фильтр – материалов: первой фильтрации – 10, второй фильтрации – одноразовое использование.

Решение**1-й вариант**

Выразим из уравнения Дарси ($V_\phi = \frac{dQ}{F_{\text{общ}} \cdot dt}$) площадь фильтрующего слоя, m^2 :

$$F_{\text{общ}} = \frac{dQ}{V_\phi \cdot dt};$$

где Q – объем фильтруемого раствора, $m^3/\text{час}$;

V_ϕ – средняя скорость движения жидкости через фильтр, $\text{dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$;

t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$.

Необходимая площадь первой фильтрации, m^2 :

$$F_{\text{общ}} = \frac{470 \cdot 1000}{20 \cdot 24} = 970$$

Необходимая площадь второй фильтрации, m^2 :

$$F_{\text{общ}} = \frac{470 \cdot 1000}{30 \cdot 24} = 650$$

При КПВ фильтров, равном 0,95, потребуется фильтр - прессов первой фильтрации

$$n = \frac{F_{\text{общ}}}{F} = \frac{970}{56 \cdot 0,95} = 18,2 \approx 19;$$

где F – площадь фильтрации одного фильтра, m^2 .

Фильтр – прессов второй фильтрации

$$n = \frac{F_{\text{общ}}}{F} = \frac{650}{56 \cdot 0,95} = 12,2 \approx 13;$$

Раскрой фильтр-материалов:

необходимая ширина ткани, мм, составит $b = 820 + 30 \cdot 2 + 50 \cdot 2 = 980$

где 820 – ширина рамы, мм; 30 – ободок рамы, мм; 50 – запас ткани по ширине, мм.

необходимая длина ткани, мм, составит $l = 820 \cdot 2 + 100 \cdot 4 + 30 \cdot 4 = 2160$

где 820 – высота рамы, мм; 30 – ободок рамы, мм; 100 – запас ткани по длине, мм.

Количество материалов для первой фильтрации, m^2 :

$$\text{байка} - 2 \cdot 2,12 \cdot 19 = 80,56 \quad \text{бязь} - 1 \cdot 2,12 \cdot 19 = 40,28$$

для второй фильтрации - гамджа – $1 \cdot 2,12 \cdot 13 = 27,56$ линтин – $2 \cdot 2,12 \cdot 13 = 55,12$

Расход фильтр – материалов с учетом стирок и сменяемости фильтр-материалов, $\text{m}^2/\text{с}$:

$$\text{байка} - 80,56/10 = 8,06 \quad \text{бязь} - 40,28/10 = 4,03 \quad \text{гамджа} - 27,56/45 = 0,61$$

линтин – $55,12/45 = 1,22$

2-й вариант

Выразим из уравнения Дарси ($V_\phi = \frac{dQ}{F_{\text{общ}} \cdot dt}$) площадь фильтрующего слоя, m^2 :

$$F_{\text{общ}} = \frac{dQ}{V_\phi \cdot dt};$$

где Q – объем профильтрованного раствора, $\text{m}^3/\text{с}$;

V_ϕ – средняя скорость движения жидкости через фильтр, $\text{dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$

t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$.

Необходимая площадь первой фильтрации, m^2 :

$$F_{\text{общ}} = \frac{470 \cdot 1000}{100 \cdot 24} = 196$$

При общем цикле работы фильтра с намывным слоем, равном 24 ч., в том числе смыве загрязненного фильтр – материала и намыве чистого в течение 2 ч., число необходимых фильтров равно

$$n = \frac{F_{\text{общ}}}{F} = \frac{196 \cdot 22}{42 \cdot 24} = 4,3 \approx 5;$$

где F – площадь фильтрации одного фильтра, m^2 .

Расход модифицированного волокнистого материала на намыв одного фильтра – 10 кг, или $10 \cdot 5 = 50 \text{ кг/с}$.

Расчеты для материалов фильтров второй фильтрации смотри решение для 1-го варианта.

Ответ: Требуемое количество фильтр – прессов первой фильтрации – 19; второй фильтрации – 13. Расход фильтр – материалов с учетом стирок и сменяемости, м²/с: байка – 8,06; бязь – 4,03; игамджа – 0,61; линтин – 1,22. Требуемое количество фильтров с намывным слоем – 5.

Задача 4

Рассчитать необходимое количество свечевых фильтров (площадь фильтрации каждого из них 2,5 м²) при производстве полиамидной (ПА) технической нити в количестве 30 т/с. Средняя скорость фильтрации 30 дм³/м²·ч. Плотность расплава ПКА980 кг/м³. Содержание замасливателя на нити 1,0 % (масс). Влажность нити 3,4 % (масс). Потери полимера по всему технологическому циклу 6,8 % (масс).

Решение

Рассчитаем объем ПКА, м³/с, необходимый для производства 30 т/с ПА технической нити:

$$Q = \frac{\text{Пр} \cdot (1 - w) \cdot (1 - z)}{\rho \cdot (1 - \Pi)} = \frac{30000 \cdot (1 - 0,034) \cdot (1 - 0,010)}{980 \cdot (1 - 0,068)} = 31,41$$

где Пр – производительность предприятия по готовой нити, кг/с; K_w = (1 – w) – коэффициент, учитывающий влажность нити; K_z = (1 – z) – коэффициент, учитывающий содержание замасливателя на нити; ρ – плотность расплава полимер, кг/м³; Π – потери полимера по всем стадиям технологического процесса, %.

Рассчитаем необходимую общую фильтрующую поверхность всех фильтров.

Выразим из уравнения Дарси ($V_\phi = \frac{dQ}{F_{\text{общ}} \cdot dt}$) площадь фильтрующего слоя, м²:

$$F_{\text{общ}} = \frac{dQ}{V_\phi \cdot dt} = \frac{31,41 \cdot 1000}{30 \cdot 24} = 43,6$$

где Q – объем профильтрованного расплава, м³/с; V_φ – средняя скорость движения расплава через фильтр, дм³/м²·ч; t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета 1 м³ = 1000 дм³.

Рассчитаем количество фильтров, которые необходимо иметь одновременно в работе:

$$n = \frac{F_{\text{общ}}}{F} = \frac{43,6}{2,5} = 17,4;$$

где F – площадь фильтрации одного фильтра, м².

Ответ: Необходимо установить 18 свечевых фильтров с рабочей поверхностью фильтрации каждого 2,5 м².

Задача 5

Рассчитать производительность завода ПЭФ текстильной нити, т/с, если на предприятии установлено 30 свечевых фильтров с площадью фильтрации каждого 2,5 м². Плотность расплава ПЭТ 1300 кг/м³. Скорость фильтрации 10 дм³/м²·ч. Содержание замасливателя на нити 0,94 % (масс), влажность нити 1,1 % (масс). Потери полимера по всем переходам технологического процесса 3,7 % (масс).

Решение

Рассчитаем общую рабочую площадь фильтрации на производстве, м²:

$$F_{\text{общ}} = n \cdot F = 30 \cdot 2,5 = 75$$

где F – площадь фильтрации одного фильтра, м²; n – количество свечевых фильтров.

Рассчитаем количество фильтруемого расплава в сутки

Выразим из уравнения Дарси ($V_\phi = \frac{dQ}{F \cdot dt}$) объем фильтруемого расплава, м³/с:

$$Q = F_{\text{общ}} \cdot V_{\phi} \cdot t = \frac{75 \cdot 10 \cdot 24}{1000} = 18$$

где Q – объем профильтрованного расплава, $\text{м}^3/\text{с}$; V_{ϕ} – средняя скорость движения расплава через фильтр, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ дм}^3$.

Рассчитаем производительность завода ПЭФ текстильной нити, т/с:

$$\text{Пр} = \frac{Q \cdot \rho \cdot (1 - \Pi)}{(1 - w) \cdot (1 - z)} = \frac{18 \cdot 1300 \cdot (1 - 0,037)}{(1 - 0,011) \cdot (1 - 0,0094)} = 23,0$$

где Пр – производительность предприятия по готовой нити, кг/с; $K_w = (1 - w)$ – коэффициент, учитывающий влажность нити; $K_z = (1 - z)$ – коэффициент, учитывающий содержание замасливателя на нити; ρ – плотность раствора полимера, кг/м³.

Ответ: производительность завода ПЭФ текстильной нити равна 23,0 т/с.

Задача 6

Вычислить скорость фильтрации расплава ПЭТ на фильтре «грубой» очистки (фильтрационная система «Янус»), если диаметр рабочей поверхности одной свечи равен 500 мм, в фильтре размещено 10 свечей. Производительность прядильной машины 18 т/с. Сформованная нить содержит 1,2 % (масс.) замасливателя; влажность нити 1,5 % (масс.). Потери полимера при формировании 5,8 % (масс.). Плотность расплава ПЭТ 1240 кг/м³.

Решение

Вычислим количество расплава ПЭТ, проходящего через фильтр «грубой очистки», $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = \frac{\text{Пр} \cdot (1 - w) \cdot (1 - z) \cdot (1 + \Pi)}{\rho} = \frac{18000 \cdot (1 - 0,015) \cdot (1 - 0,012) \cdot (1 + 0,058)}{1240} = 14,95$$

где Пр – производительность предприятия по готовой нити, кг/с; $K_w = (1 - w)$ – коэффициент, учитывающий влажность нити; $K_z = (1 - z)$ – коэффициент, учитывающий содержание замасливателя на нити; ρ – плотность расплава полимера, кг/м³; Π – потери полимера по разным стадиям технологического процесса, %.

Вычислим рабочую площадь фильтрации фильтра:

$$F_{\text{общ}} = n \frac{\pi d^2}{4} = 10 \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 1,96$$

где d – диаметр рабочей поверхности фильтра, м; F – рабочая площадь фильтрации фильтра, м²; n – количество свечей.

Рассчитаем скорость фильтрации расплава ПЭТ по уравнению Дарси:

$$V_{\phi} = \frac{Q}{F_{\text{общ}} \cdot t} = \frac{14,95 \cdot 1000}{1,96 \cdot 24} = 317,4$$

где Q – объем профильтрованного расплава, $\text{м}^3/\text{с}$; V_{ϕ} – средняя скорость движения расплава через фильтр, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; t – продолжительность фильтрации, ч; 1000 – коэффициент пересчета $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ дм}^3$.

Ответ: Скорость фильтрации расплава ПЭТ через фильтр «грубой» очистки равна 317,4 $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

Учебное издание

**Фильтрование
вязких растворов и расплавов полимеров**

Учебно- методическое пособие

Составители Жмыхов Иван Николаевич
Рогова Евгения Алексеевна

Редактор
Технический редактор

Т.Л. Бажанова
А.А. Щербакова

Подписано в печать
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л.
Тираж экз.

Формат 60x84 1/16
Печать трафаретная.
Уч.-изд. л.
Заказ

Учреждение образования
«Могилёвский государственный университет продовольствия».
212027, Могилев, пр-т Шмидта, 3.
ЛИ № 02330/0131913 от 08.02.2007 г.

Отпечатано на ризографе редакционно-издательского отдела
учреждения образования
«Могилёвский государственный университет продовольствия».

212027, Могилев, пр-т Шмидта, 3.
ЛП № 226 от 12.02.2003 г.