

# ПРОИЗВОДСТВО ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЦБП

Ф. Ф. Чаусов, Ю. Н. Германов,  
ООО «МИП «Фильтр»

Проблема эффективной утилизации отходов целлюлозно-бумажной промышленности актуальна в сфере промышленной экологии. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в этом направлении, задача улавливания и утилизации мелкого целлюлозного волокна и коллоидно-дисперсного лигнина, присутствующих в сточных водах в виде взвесей, в настоящее время полностью не решена. Мелкое целлюлозное волокно, которое присутствует в виде относительно грубой взвеси, отделяют в отстойниках или центрифугах, и полученную сгущенную суспензию направляют на шламонакопители. Лигнин, содержащийся в сточных водах в коллоидно-дисперсном состоянии, не удаётся удалить как в отстойниках (центрифугах), так и в процессе биологической очистки. Таким образом, факторами отрицательного воздействия целлюлозно-бумажных производств на окружающую среду являются как сброс мелкого целлюлозного волокна на шламонакопители, так и сброс в окружающую среду сточных вод, содержащих коллоидно-дисперсный лигнин.

Весомая причина бесхозяйственного отношения к перечисленным выше отходам — это отсутствие технологических процессов их переработки, обеспечивающих получение существенного положительного экономического эффекта. Учитывая, что в настоящее время большое значение придается экономическим рычагам управления производством, разработка прибыльных методов утилизации вышеуказанных отходов способна привести к решению вызываемых этими отходами экологических проблем.

Учитывая вышеизложенное, разработан технологический процесс производства высококачественных фильтровальных материалов на основе отходов ЦБП.

Народное хозяйство испытывает острую потребность в удовлетворении спроса на фильтровальные материалы как по количественным, так и по качественным показателям. В современной технике известен и применяется чрезвычайно широкий спектр фильтровальных материалов — от войлока, известного со времен древнего Рима, до композиционных материалов на основе металлов и керамики — керметов [1]. Несмотря на это, наиболее распространенным фильтровальным материалом была и остается

Сравнительные эксплуатационные показатели фильтров, изготовленных на основе различных фильтровальных материалов

Показатели	Значение показателей для фильтров, изготовленных на основе:		
	отходов целлюлозы и хлопка	германской фильтровальной бумаги	фибридов
<b>Фильтры для очистки воздуха</b>			
Коэффициент отсева стандартной кварцевой пыли, %	99,8	99,0-99,5	99,0-99,6
Начальное сопротивление, кПа	0,8	0,8-1,0	1,5-3,0
Грязеемкость, кг	1,8	0,1-0,3	0,5-1,6
<b>Фильтры для очистки бензина</b>			
Коэффициент отсева стандартной кварцевой пыли, %	96	40-60	80-92
Начальное сопротивление, кПа	2,0	2,4-2,5	5,0-10,0
Грязеемкость, г	7,0	2,0-3,2	1,0-4,1

широко известная фильтровальная бумага. Она относительно дешева и производится в хорошо отработанном технологическом процессе из доступного сырья — целлюлозы. Однако фильтровальная бумага имеет целый ряд хорошо известных недостатков.

**Во-первых**, она обладает весьма ограниченными показателями эффективности фильтрования. Так, фильтры тонкой очистки топлива для карбюраторных бензиновых двигателей [2], производимые на основе фильтровальной бумаги, имеют коэффициент отсева стандартной кварцевой пыли 40-60%, то есть пропускают около половины загрязнений. Ещё ниже коэффициент отсева у фильтров, предназначенных для очистки масел.

**Во-вторых**, фильтровальная бумага имеет небольшую грязеемкость. Даже небольшой объём загрязнений вызывает быструю закупорку пор бумажного листа, причём частицы загрязнений задерживаются в основном на поверхности бумаги. Из-за этого сопротивление фильтровальной бумаги в процессе эксплуатации быстро возрастает, и фильтр рано выходит из строя.

**В-третьих**, процесс изготовления фильтровальной бумаги, неразрывно связанный с производством целлюлозы, требует массовых рубок леса и становится, как указывалось ранее, источником интенсивного загрязнения окружающей среды.

Попытки устранить перечисленные недостатки, свойственные фильтровальной бумаге, привели к созданию большого числа материалов с бумагоподобной структурой, изготавливаемых на основе синтетических полимерных материалов. Характерным примером служат фильтровальные перегородки, изготавливаемые на основе волокнисто-пленочных полимер-

ных связующих — фибридов [3, 4], отличающиеся высокой эффективностью очистки фильтруемых сред. Однако процесс производства самих фибридов связан с использованием сильнодействующих ядовитых веществ, таких, как гексаметилендиамин, имеющий класс опасности 1 по ГОСТ 12.1.005-88 (что в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 указывает на чрезвычайную опасность вещества), и гидроксид натрия, имеющий класс опасности 2 (высокоопасное вещество). Один из отходов производства — терефталевая кислота, образующаяся при побочной реакции — гидролизе дихлорангидрида терефталевой кислоты и имеющая класс опасности 1. Осуществление такого процесса исключительно опасно с точки зрения экологии. Кроме того, стоимость изготовленных таким образом фильтровальных материалов намного выше стоимости фильтровальной бумаги.

Поиски доступной сырьевой базы для производства высокоэффективных фильтровальных материалов привели к отходам целлюлозно-бумажной, а также текстильной промышленности. Это сырье практически бесплатно (затраты связаны только с его транспортированием и хранением), а располагаемые сырьевые ресурсы более чем достаточны для удовлетворения потребности в фильтровальных материалах всего народного хозяйства нашей страны. Например, Братский лесопромышленный комплекс ежедневно сбрасывает на шламонакопители от 30 до 90 т (в расчете на «абсолютно сухое вещество») мелкого целлюлозного волокна, совершенно готового для переработки в фильтровальные материалы.

Из отходов текстильной промышленности в разработанном процессе производства фильтровальных матери-

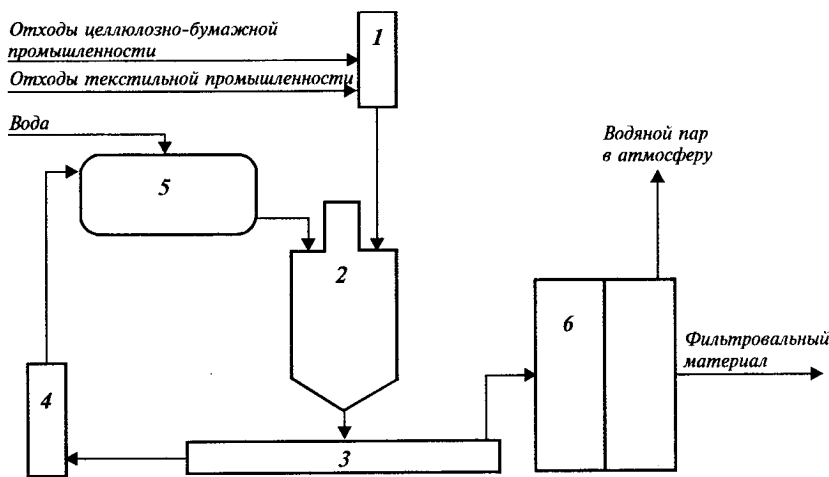


Рис. 1. Схема производства фильтровальных материалов из отходов целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности: 1 — дозатор, 2 — смеситель, 3 — ванна, 4 — устройство управления, 5 — резервуар оборотной воды

алов находят применение такие отходы, как пух подвальный трубный и с фильтров (стандарт 1 по ГОСТ 5159-78) или пух подвальный трубный и с фильтров с добавлением до 50% химического волокна (стандарт 1а по ГОСТ 5159-78), а также камвольный кноп. В настоящее время указанные отходы хлопка не используются в должном объеме из-за малой длины волокон и значительной его неровности. Широко распространенный способ утилизации этих отходов — переработка в органические удобрения путем компостирования, однако этот метод, конечно, нельзя признать целесообразным с точки зрения интересов народного хозяйства. Не менее проблематична утилизация камвольного кнопа, который вообще не поддается биологическому разложению. В текстильной промышленности выход пуха подвального трубного и с фильтров составляет 0,38%, а общий выход пригодных для производства фильтровальных материалов отходов — более 1% от массы перерабатываемого хлопка, что в масштабах страны составляет тысячи тонн в год.

Процесс производства фильтровальных материалов из указанных отходов иллюстрируется рис. 1 и осуществляется следующим образом. Отходы целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности поступают в дозатор 1, который осуществляет дозирование ингредиентов фильтровального материала в соответствии с необходимыми техническими характеристиками последнего и влажностью исходных веществ. Отдозированные ингредиенты совместно с водой поступают в смеситель 2. Смешивание приводит к получению равномерной суспензии, поступающей в ванну 3. В ванне происходит осаждение суспензии на сетке в определенном гидродинамическом режиме, для

управления которым служит управляющее устройство 4. Основная часть воды из суспензии поступает в резервуар 5 для повторного использования. Влажный осадок суспензии, имеющий форму плоского листа, подвергают сушке в сушильном агрегате 6. В процессе сушки происходит процесс физического сшивания волокон, входящих в состав фильтровального материала, водородными связями и вандер-ваальсовыми силами, с получением листа готового фильтровального материала, устойчивого к последующему увлажнению.

Таким образом, физическая сущность процесса изготовления фильтровального материала сводится к формированию слоя пористого осадка при осаждении полидисперсных волокон из водной суспензии. Авторам настоящей работы удалось показать [5], что при весьма общих допущениях на физико-механические характеристики используемых отходов и условия проведения осаждения этот процесс описывается системой уравнений следующего вида:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{1 + \alpha \int \Delta P(t) dt}$$

$$\Delta P(t) = P \left[ 1 - \frac{R}{R + K \mu s^2 \int_0^t \frac{[1 - \varepsilon(\tau)]^{2-n}}{[\varepsilon(\tau)]^p} d[\tau]} \right]$$

$$\frac{d[\tau]}{dt} = \frac{\delta w(\tau)}{1 - \varepsilon(\tau)}$$

$$w(\tau) = \frac{R}{R + K \mu s^2 \int_0^t \frac{[1 - \varepsilon(\tau)]^{2-n}}{[\varepsilon(\tau)]^p} d[\tau]}$$

где  $\varepsilon(t)$  — относительная пористость формирующегося слоя фильтровального материала;  $t$  — время;  $\alpha$  — эмпирический коэффициент (коэффициент уплотняемости),  $(\text{Па}\cdot\text{с})^{-1}$ ;  $\Delta P(t)$  — перепад давления, приложенный к слою фильтровального материала, Па;  $\tau$  — переменная интегрирования, имеющая размерность времени;  $P$  — общий перепад давления в гидравлической системе технологической установки по отношению к атмосферному давлению, Па;  $R$  — гидравлическое сопротивление гидравлической системы технологической установки при отсутствии слоя фильтровального материала,  $\text{Па}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-1}$ ;  $K$  — эмпирический коэффициент, зависящий от формы и расположения волокон фильтровального материала;  $\mu$  — динамический коэффициент вязкости воды,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ;  $s$  — удельная поверхность фильтровального материала;  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $n$  — коэффициент, зависящий от гидродинамического режима движения дисперсионной среды;  $l(t)$  — толщина слоя фильтровального материала, м;  $\delta$  — относительная объемная концентрация суспензии;  $w(t)$  — линейная скорость осаждения суспензии, м/с.

Найти аналитическое решение приведенной системы уравнений не удалось. Однако исследование численных решений, полученных при помощи ЭВМ, позволило выяснить, что пористость формирующегося листа фильтровального материала не постоянна, а весьма сложным образом изменяется по толщине листа фильтровального материала.

Распределение пористости по толщине листа фильтровального материала определяется проекцией фазовой траектории системы на плоскость  $(\varepsilon - l)$ . Слои фильтровального материала, сформировавшиеся первыми, приобретают в итоге минимальную пористость; слои же, осаждением которых завершается формирование листа фильтровального материала, — максимальную. Кроме того, в более пористых слоях фильтровального материала присутствуют, преимущественно, более крупные поры, и наоборот.

Фильтровальный материал с такой структурой используется таким образом, чтобы более пористые слои являлись входными, а менее пористые — выходными для фильтруемой среды. Это позволяет обеспечить эффективную очистку фильтруемой среды при значительной грязеемкости фильтра, так как крупные частицы загрязнений, содержащиеся в фильтруемой среде, задерживаются во входных слоях фильтровального материала, а более мелкие частицы, проходя через крупные поры входных слоев, задерживаются в глубине фильтровального материала. При этом, несмотря

на большое количество частиц загрязнений, задерживаемых фильтровальным материалом, в каждом сечении последнего остается достаточное количество открытых пор, чтобы обеспечить эффективную работу фильтра.

Для достижения оптимальных эксплуатационных показателей в каждом конкретном случае необходимо иметь определенное распределение пористости по толщине фильтровального материала, предопределяемое гранулометрическим составом загрязнений фильтруемой среды. Для получения заданного распределения пористости необходимо ввести в рассмотренную систему управляющий параметр  $u(t)$ . Практика показывает, что наиболее удобно управление по гидравлическому сопротивлению гидравлической системы, т.е. представление  $R$  в виде функции времени:

$$R = u(t).$$

В этом случае задача определения оптимального режима изготовления фильтровального материала сводится к классической вариационной задаче  $F[u(t)] \rightarrow \max$ , где  $F$  — функционал, выражающий зависимость эксплуатационных показателей конечной продукции от управления и  $(t)$ . Решение этой задачи осуществимо известными численными методами с использованием ЭВМ. Физическая реализация оптимального управления осуществляется управляющим устройством 4, показанным на схеме.

Описанный технологический процесс успешно внедрен в массовом производстве на Киевском предприятии «Технологические фильтры» (Украина). В качестве сырья предприятие использует мелкое целлюлозное волокно, образующееся в качестве отходов на Малинской БФ (Житомирская область), и коротковолокнистые хлопковые очесы с многочисленных текстильных предприятий Украины и России.

Производимый предприятием «Технологические фильтры» по описанной технологии фильтровальный материал «Тефма» используется для производства сменных фильтрующих элементов ФТВА 240.260.40 — для очистки моторного воздуха в двигателях автомобилей КамАЗ, СуперМАЗ и Икарус, а также фильтров ФТВА 36.60.40 — для тонкой очистки бензина в карбюраторных двигателях внутреннего сгорания. Фильтровальные элементы и фильтры на основе фильтровального материала «Тефма» по своим эксплуатационным показателям превосходят зарубежные аналоги на основе фильтровальной бумаги и фильтры на основе гибридных композиций, что иллюстрируется таблицей.

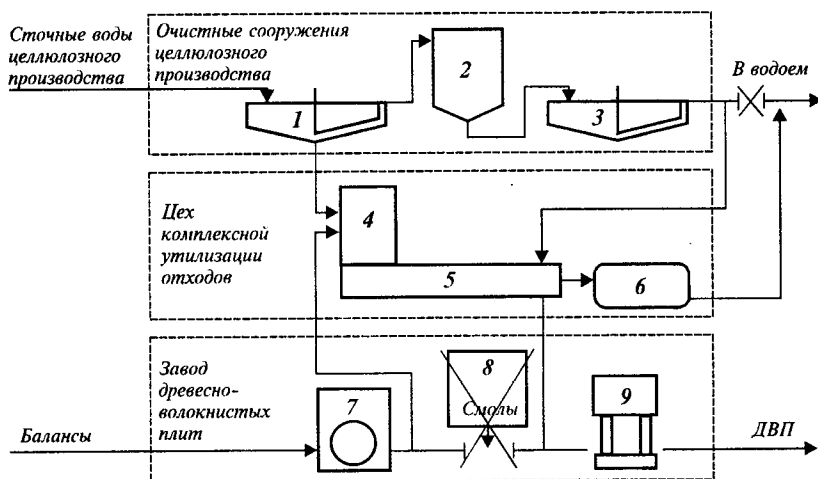


Рис. 2. Схема комплексной утилизации отходов целлюлозно-бумажного предприятия: 1 — отстойник первой очереди, 2 — сооружение биологической очистки, 3 — отстойник второй очереди, 4 — смеситель, 5 — ванна, 6 — резервуар чистой воды, 7 — дефибрер, 8 — дозатор смол, 9 — пресс

Помимо производства фильтровальных элементов и фильтров на предприятии «Технологические фильтры», фильтровальный материал «Тефма» реализуется украинским и российским потребителям, которые с успехом используют данный материал в вентиляционной технике (для очистки воздуха), приборостроении (для очистки проб газовых смесей в газоанализаторах), нефтяной и газовой промышленности (для очистки добываемых полезных ископаемых), водоснабжении и канализации (для очистки водопроводной воды и сточных вод), металлургии и сварочном производстве (для очистки пылегазовых выбросов).

Комплексная оценка воздействия на окружающую среду технологического процесса производства фильтровального материала «Тефма» учитывает следующие факторы:

1. Замена фильтровальной бумаги фильтровальным материалом «Тефма» приводит к снижению потребности в фильтровальной бумаге и, как следствие, к сокращению рубок леса и к снижению загрязнения окружающей среды отходами ЦБП.

2. Утилизация отходов ЦБП и текстильной промышленности ведет к снижению загрязнения окружающей среды указанными отходами.

3. В ряде областей использования фильтровального материала «Тефма» его применение непосредственно приводит к снижению уровня выбросов загрязнений в окружающую среду.

Собственные вредные выбросы в окружающую среду от производства фильтровального материала «Тефма» практически отсутствуют. Пыление твердых веществ предотвращается путем их переработки во влажном состоянии; водоснабжение производства осуществляется полностью по оборот-

ной схеме. Единственным и практически безвредным выбросом в окружающую среду является водяной пар.

К недостаткам организации технологического процесса на Киевском предприятии «Технологические фильтры» можно отнести неудачное размещение производства — его удаление от источников сырья. Необходимость транспортирования отходов, главным образом, мелкого целлюлозного волокна с содержанием до 5 кг воды на 1 кг «абсолютно сухого вещества» из Малина в Киев (расстояние около 120 км), является источником существенных издержек. Тем не менее внедрение производства фильтровального материала по описанной технологии обеспечило значительный экономический эффект за счет отказа от применения фильтровальной бумаги, ввозимой из-за рубежа.

Сравнительный технико-экономический анализ различных вариантов размещения производства фильтровального материала по описанной технологии приводит к выводу, что наиболее целесообразно размещение производства в радиусе не более 10 км от целлюлозно-бумажного предприятия, что позволяет организовать подачу мелкого целлюлозного волокна в виде водной взвеси по трубопроводу. Значительное влияние на экономическую эффективность производства оказывают также условия подачи и стоимость энергетических ресурсов, используемых главным образом сушильным агрегатом.

Размещение производства фильтровальных материалов в непосредственной близости от предприятия ЦБП приводит к необходимости рассмотреть отдельно один практически важный случай применения фильтровальных материалов описанного типа — примене-

ние для очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства.

Этот случай характерен тем, что отпадает необходимость в какой-либо транспортировке фильтровального материала. Следовательно, становятся ненужными технологическая операция сушки фильтровального материала и предназначенный для выполнения данной технологической операции сушильный агрегат, а также сопутствующие энергетические затраты, что резко удешевляет фильтровальный материал.

Второй особенностью рассматриваемого случая является размещение большинства предприятий ЦБП на значительном расстоянии от текстильных производств, отходы которых — важный ингредиент фильтровального материала. Однако транспортировки отходов текстильных предприятий на большое расстояние можно избежать, используя вместо указанных отходов древесное волокно, используемое в производстве древесно-волоконистых плит (ДВП), часто организованное на целлюлозно-бумажных предприятиях.

Исследование эффективности очистки сточных вод ЦБП проводилось на образцах фильтровальных материалов, изготовленных из мелкого целлюлозного и древесного волокна без последующей сушки. В результате обнаружено, что исследованные фильтровальные материалы эффективно задерживают взвешенный в сточных водах коллоидно-дисперсный лигнин. Коэффициент отсева лигнина колеблется от 50 до 85% в зависимости от состава и условий получения фильтровального материала.

Интересным дополнительным результатом исследований оказался тот факт, что задерживаемые фильтровальным материалом вещества, включая лигнин, оказались хорошими связующими, поэтому отработанный

фильтровальный материал может быть переработан методом прессования в прочные ДВП без использования дополнительных связующих типа феноло- и аминокформальдегидных смол, обычно применяемых в производстве ДВП и представляющих собой весьма вредные вещества. Таким образом, древесное волокно, отвлекаемое для очистки сточных вод из производства ДВП, впоследствии возвращается в производство и может быть переработано в экологически чистые ДВП без использования дорогостоящих и вредных синтетических смол. Полученные описанным способом ДВП по своей прочности плотности и влагостойкости не уступают плитам на основе фенолоформальдегидных смол.

Итогом выполненных исследований стало проектное решение схемы комплексной утилизации отходов ЦБП, которое иллюстрируется рис. 2. Схема предусматривает сооружение цеха комплексной утилизации отходов, связываемого трубопроводными линиями с существующими очистными сооружениями целлюлозного производства и существующим ЦБП.

Осадок из отстойников первой очереди 1 очистных сооружений целлюлозного производства, содержащий мелкое целлюлозное волокно (2-4%) и воду (96-98%), поступает по трубопроводу в цех комплексной утилизации отходов. В этот же цех с завода ДВП в виде водной взвеси поступает по трубопроводу древесное волокно, получаемое на дефибрере 7. Мелкое целлюлозное и древесное волокна подвергаются смешиванию в смесителе 4, после чего полученная суспензия используется для изготовления листа фильтровального материала в ванне 5. Полученный фильтровальный материал используется для очистки сточных вод, поступающих из отстой-

ников второй очереди 3 очистных сооружений целлюлозного производства (в существующем варианте эти воды сбрасывают непосредственно в водоем). Очищенные сточные воды собираются в резервуаре 6, откуда в дальнейшем сбрасываются в водоем. Отработанный фильтровальный материал, подвергнутый диспергированию в воде, поступает на пресс 9 завода ДВП, где подвергается переработке в плиты без дополнительных добавок синтетических смол.

Внедрение предлагаемого проектного решения позволит не только снизить уровень отрицательного воздействия ЦБП на окружающую среду, но и получить существенный экономический эффект за счет отказа от применения синтетических смол и выпуска экологически чистой продукции. Остаются надеяться, что, в отличие от производства фильтровального материала «Тефма», данное предложение не «утечет» за рубеж и будет впервые внедрено в России.

#### Список литературы.

1. Машиностроительные материалы. Краткий справочник. М.: Машиностроение, 1980. — 426 с.
2. ОСТ 37.001.226-80. Фильтры тонкой очистки топлива для бензиновых двигателей. М.: Минавтопром, 1981. — 22 с.
3. Пат. РФ № 2043137, МКИ6 В 01 D 39/00. Способ изготовления фильтровального элемента. /Ф.Ф. Чаусов, В.В. Пахомов. 1995. Бюлл. № 25.
4. Свид. РФ № 3220, МКИ6 В 01 D 39/00. Устройство для очистки аэрозолей и жидкостей. /Ф.Ф. Чаусов, Ю.Н. Германов. 1996. Бюлл. № 12.
5. Чаусов Ф.Ф., Германов Ю.Н. Производство фильтров осаждением релаксирующих волокнисто-плёночных композиций. // Хим. пром., 1996, № 5, с. 38 — 46.