

Целлюлоза Бумага Картон

Pulp

Paper

Board

01 [2016]

- Путешествие продолжается.
- “Большой Проект” – Архангельский ЦБК.
- Проблемы оптовой торговли.
- “Бум Техно” – 25 лет!
- На российских предприятиях: Усть-Илимск; Кондопога; “Пролетарий”.
- “Обзор Рынка” – о снова о картоне.
- Статистика: итоги 2015 года.
- “Дискуссионный Клуб”.
- Наука и технология: статьи специалистов СПб ГТУРП; СГАФУ и ВНИИБ.
- Календарь выставок (продолжение публикации).
- Листая страницы истории...

УДК 676

Проблема развития систем газ – жидкость в ЦБП и возможность применения струйных газопромывателей

С. В. Анискин,
к. т. н., СПб ГТУРП

В настоящее время существует проблема развития систем газ – жидкость в ЦБП. Известно, что ряд технологических процессов производства целлюлозы протекает в условиях переноса вещества в газожидкостной среде, как в направлении из газа в жидкость, так и в направлении из жидкости в газ [1, 2, 3]. Такие системы газ – жидкость используются при подготовке технологических растворов (рис. 1, 2).

В процессе производства целлюлозы в атмосферу выбрасывается значительное количество токсичных газов и пыли. Проблема заключается в том, что задача подготовки технологического раствора и задача снижения количества выбросов вредных веществ в атмосферу, как видно на рис. 1 и 2, решаются отдельно.

Системы газ-жидкость широко применяются для снижения газопылевых выбросов ЦБП. Схема источников газовых выбросов в производстве целлюлозы, для которых применяются или могут быть применены скрубберы, представлена в табл. 1 [1, 2].

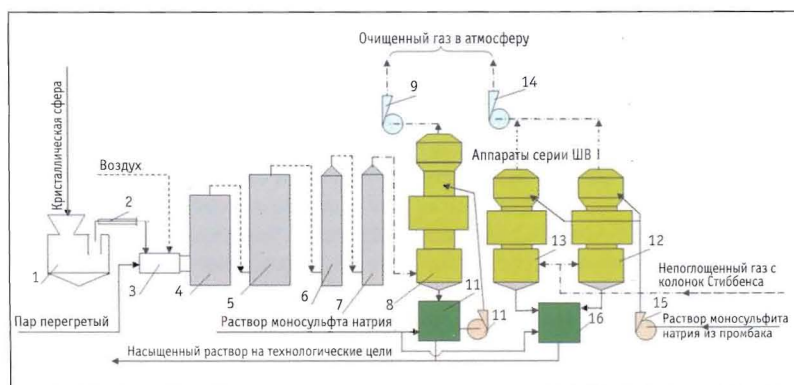


Рис. 1. Схема подготовки варочного раствора сульфитного производства целлюлозы:

1 – бункер-плавильник серы; 2 – транспортная труба плавленной серы; 3 – печь для сжигания серы; 4, 5 – скрубберы 1-ой и 2-ой ступени охлаждения серных газов; 6, 7 – абсорбер № 1 и № 2 получения бисульфита натрия; 8 – абсорбер очистки газа от SO_2 ; 9, 14 – эксгаустеры; 10, 15 – насосы подачи раствора; 11, 16 – емкости для моносульфита натрия; 12, 13 – абсорберы для очистки газа колонок Стибенса.

На все источники установлены нормативы выбросов по тому «Предельно допустимые выбросы» (ПДВ). Превышение выбросов учитывается лимитами в пределах временно согласованных выбросов (ВСВ). Разрешение на выброс загрязняющих веществ

выдается сроком на один год и более чем по 40 ингредиентам с указанием (ВСВ) [4].

Учитывая, что технологическое и экологическое оборудование систем газ-жидкость обладает общими принципами работы, возможно объединение

технологической и экологической задачи. Объединению также способствует новый технологический подход к решению задачи предотвращения и контроля загрязнений. В ряде зарубежных стран применяется понятие BAT – Best Available Techniques [5]. Выбросы связываются с технологией. При оценке используется небольшое количество суммарных параметров по всем источникам выбросов предприятия. По аналогии, в России принят **Федеральный Закон «Об охране окружающей среды»**, где введено понятие наилучшей существующей технологии (НСТ), основанной на последних достижениях науки и техники [6].

Объединение экологической задачи с технологической позволяет совершенствовать системы газ-жидкость, как основной технологии, так и технологии очистки газовых выбросов, совместно, обосновывает перспективность разработки соответствующего оборудования на основе новейших исследований.

Одним из наиболее простых и эффективных аппаратов систем газ-жидкость, применяемых в ЦБП, является струйный газопромыватель (СГП, в англоязычной литературе – **Jet scrubber**) [7]. В СГП отсутствует насадка, жидкость взаимодействует с газом в виде капельного потока. СГП применяют для улавливания пыли и токсичных газов, таких как диоксид серы, сероводород, метилмеркаптан и других газов. В качестве орошающей жидкости используют химические растворы, что придает им свойства химических реакторов, они могут быть использованы в качестве абсорберов или десорберов основных технологических процессов. В зависимости от формы профиля корпуса известны струйные газопромыватели двух видов: с линейным профилем (рис. 3) и с профилем трубы Вентури (рис. 4) [8].

Капельный поток образуется с помощью форсунок. На рис. 5 изображена форсунка с крестообразным вкладышем, в которой вращение жидкости в

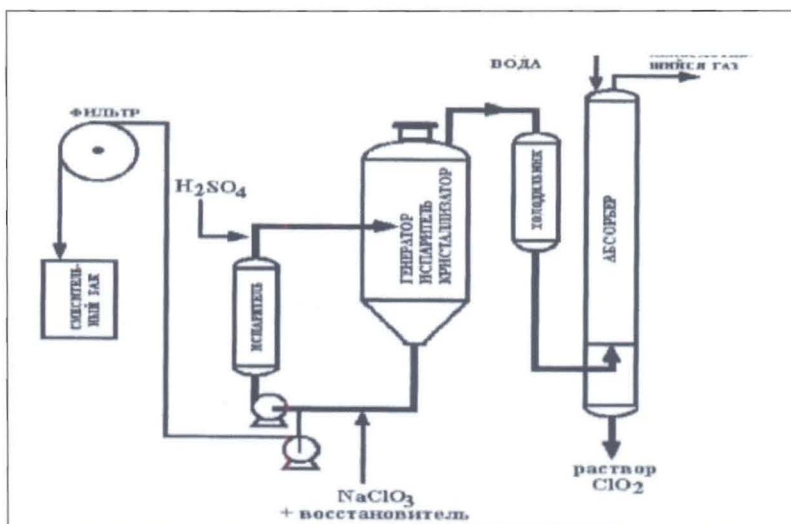


Рис. 2. Технологическая схема получения ClO_2 способом R3/SVP: 1 – десорбер, 2 – холодильник, 3 – абсорбер для получения отбеливающего раствора.

Схема источников газовых выбросов и мест применения скрубберов в производстве целлюлозы

Сульфатное производство целлюлозы		
№		
1	После бака - аккумулятора	Варочный цех
2	После терпентинного конденсатора	Варочный цех
3	После отстойника - Флорентины	Варочный цех
4	Неконденсируемые газы после выпарки	Выпарной цех
5	Приямки барометрического конденсатора	Выпарной цех
6	Дымовые газы СРК после электрофилтра	Содорегенерационный
7	Вентиляционные газы растворителя плава	Содорегенерационный
8	Дымовые газы ИРП	Известерегенерационный
9	После установки очистки скипидара	Лесохимический цех
10	После установки очистки метилового спирта	Лесохимический цех
11	После установок получения талового масла	Лесохимический цех
12	После абсорбера диоксида хлора и фильтров	Цех отбелики целлюлозы
Сульфитное производство целлюлозы		
№		
1	После печи сжигания серы	Цех приготовления варочного раствора
2	После абсорбера диоксида серы	Цех приготовления варочного раствора
3	После сушки лигнина	Цех сушки лигнина
4	После сушки дрожжей	Дрожжевой цех

периферийной и центральной области происходит в разных направлениях вследствие специального выреза в лопастях обтекаемой формы [9].

Дробление струи жидкости центробежно-струйной форсунки сопровождается структурными изменениями в струе, рис. 6, которые в значительной мере

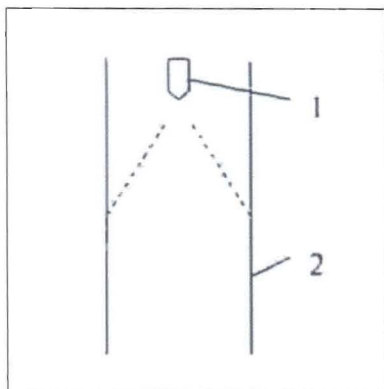


Рис. 3. СГП с линейным профилем:
1 – форсунка; 2 – корпус.

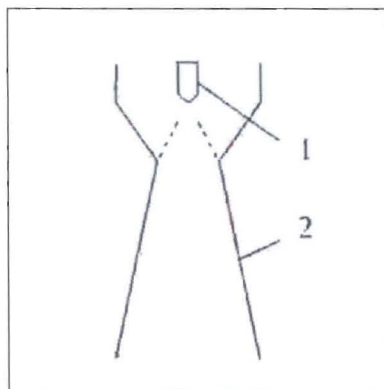


Рис. 4. СГП с профилем трубы
Вентури: 1 – форсунка; 2 – корпус.

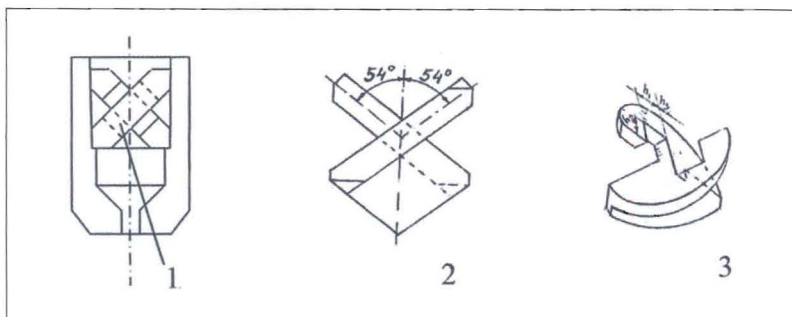


Рис. 5. Крестообразные вкладыши: 1 – фирмы Варкауз; 2 – патент Валина;
3 – патент Боуэна.

определяют интенсивность абсорбции и десорбции. По мере удаления от сопла струя меняет свою структуру, которую условно можно разделить на три отдельных участка: 1 – участок связанного течения жидкости, 2 – фрагментарного течения и 3 – капельного течения.

Более детально движение жидкости на первом и втором участке можно увидеть на **рис. 7 и 8**, где сфотографирована та же форсунка. На фотографиях видно последовательное развитие волнового движения в струе. Волны имеют сложную форму. Их масштаб возрастает по мере расширения струи. На краях возникают всплески в виде множества тонких струек, дробление которых приводит к образованию капель. Увеличение масштаба волн приводит к возникновению внутренних пленочных структур (**рис. 8**). Из анали-

за фотографий следует, что причиной быстрого развития колебаний струи является неустойчивость, вызванная не столько поверхностным натяжением, сколько внутренним напряжением, которое возникает в результате инерционного расширения струи. Основная масса капель центробежно-струйных форсунок образуется в результате формирования на поверхности струи отдельных струек, как на участке связанного течения, так и на фрагментарном участке при разрыве пленок.

Отрыв капель в струйках сопровождается интенсивным перемешиванием жидкости. Проведено экспериментальное исследование процесса десорбции сероводорода с использованием генератора монодисперсных (ГМК) капель. В опытах был обнаружен сильный концевой эффект в момент

образования капли [10]. Оказалось, что десорбция при образовании капли составляет 84-90 % всей возможной десорбции сероводорода из слабо-щелочного раствора сульфида натрия. Рост капли на конце струйки сопровождается внутренним течением похожим на вихри Хилла (**рис. 9**) [11].

Важной особенностью СГП является возникновение струйного эффекта, который позволяет существенно интенсифицировать процессы переноса в системе газ-жидкость [12].

В СГП скорость движения капель выбирается всегда больше скорости газа. Сопротивление движению капель создает объемную силу, которая втягивает газ внутрь капельной струи. Образуется газовая струя. Поскольку она возникает в пределах капельной струи, их совместное движение называют газо-жидкостной струей. На **рис. 10** показано, что распределение скорости движения газа (кривые 1 и 2) в поперечном сечении струи подобно распределению плотности орошения (кривая 3). Расчеты показали, что при увеличении турбулентной вязкости до 0,02 кривая распределения скорости газа не отличается от кривой 1 на **рис. 10** и только при достижении 0,2 м²/с (кривая 2) возникает заметная разница между ними. Максимуму скорости газового потока соответствует максимум плотности орошения. На **рис. 11** показано, что неравномерность этих распределений может приводить, как к снижению эффективности массообмена в СГП при условии молекулярной диффузии в газе (линия 2), так и к его увеличению при значении коэффициента турбулентной диффузии более $D=10-3 \text{ м}^2/\text{с}$ (линии 3 и 4) по отношению к равномерному распределению (линия 1), когда коэффициент диффузии не влияет на эффективность абсорбции. Возрастание степени очистки значительно. При интенсивном перемешивании, на одном и том же расстоянии, остаточная концентрация примеси может быть более чем в 10 раз меньше чем при отсутствии перемеши-

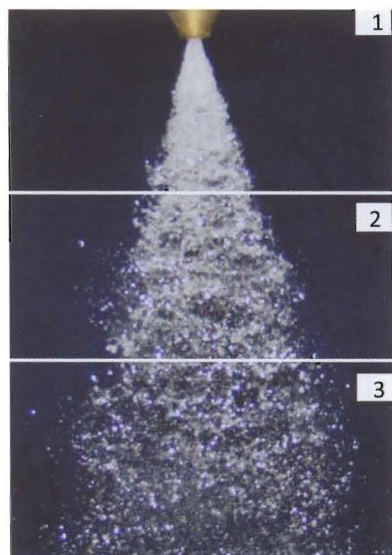


Рис. 6. Схема разделения струи воды центробежно-струйной форсунки на три последовательных участка течения струи: 1 – связанное, 2 – фрагментарное, 3 – капельное.



Рис. 7. Фотография связанного участка струи.

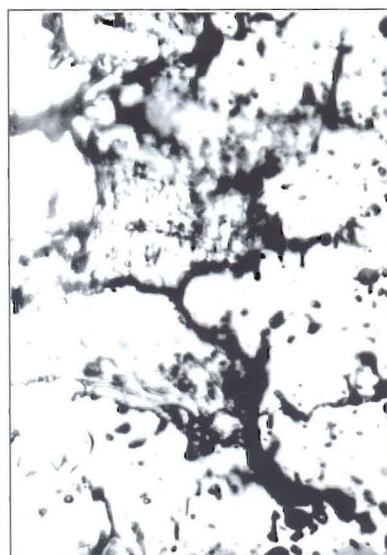


Рис. 8. Фотография пленок на участке фрагментарного течения струи.

вания газа внутри струи. Полученный результат назван струйным эффектом. Струйный эффект позволяет уменьшить размеры аппарата.

Новые исследования СГП позволили разработать теоретический способ масштабного перехода от малых лабораторных установок к большим промышленным аппаратам на основе моделирования взаимодействий отдельно движущейся капли с газовым потоком. Разработана дискретная модель полидисперсного капельного потока [13]. Такая модель имеет важное преимущество в том, что процесс взаимодействия капель с газовым потоком можно представить как совокупность процессов переноса на каждой отдельной капле, имеющей свою историю.

В настоящее время разработано несколько моделей взаимодействия полидисперсной струи СГП с газовым потоком на основе фундаментальных уравнений сохранения количества движения, вещества и энергии [14].

Применение разработанных моделей позволяет рассчитывать тягодутьевые характеристики, абсорбцию, улавливание пыли и теплообмен СГП в комплексе, учитывая взаимное влияние [15].

Теоретические представления были применены при разработке СГП для очистки дымовых газов СРК-720 (рис. 12). Новый аппарат имел прямоугольную форму, сечение 1,05x4,5 м, высотой 4,7 м. Рассчитан на очистку 60 000 м³/час. Для очистки использовались четыре таких СГП, установленных параллельно.

Испытания проводили в режиме испарения орошающего раствора. Расход нормальных влажных газов составлял 232 400 м³/ч.

На полномасштабной установке эффективность улавливания диоксида серы составила 97,8 %, улавливание сероводорода, происходившее в результате щелочной абсорбции при pH=12÷13, достигло 95 %, метилмеркаптана – 93 % [16].

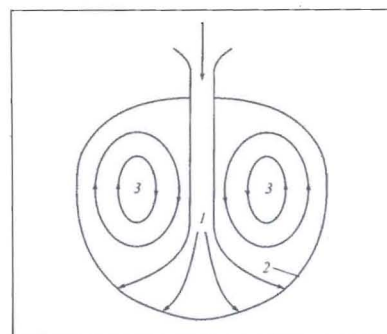


Рис. 9. Схема течения жидкости при формировании капли в ГМК: 1 – струя жидкости, втекающая в формирующую каплю; 2 – капля; 3 – течение жидкости, образующееся внутри капли.

Перспектива применения СГП связана с его характерными свойствами и особенностью технологии ЦБП.

Для орошения СГП используются химические растворы. Перенос вещества сопровождается химическими

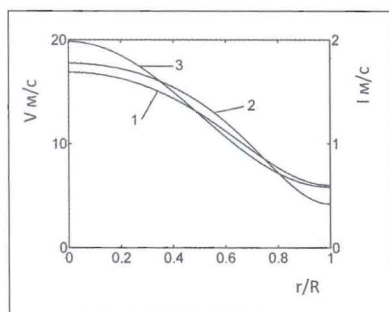


Рис. 10. Распределение скорости движения газа (1, 2) и плотности орошения (3) по радиусу трубы: 1 – при $v_r = 0,02 \text{ м}^2/\text{с}$; 2 – при $v_r = 0,2 \text{ м}^2/\text{с}$.

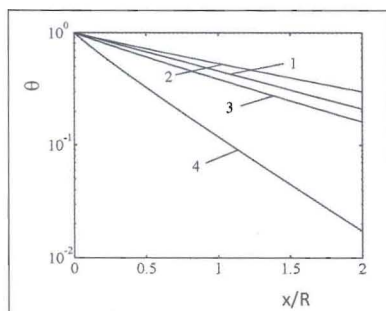


Рис. 11. Зависимость количества газовой примеси от расстояния вдоль оси трубы для равномерного распределения плотности орошения (1) и неравномерного распределения (2, 3, 4). 2 – $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$; 3 – $D = 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$; 4 – $D = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

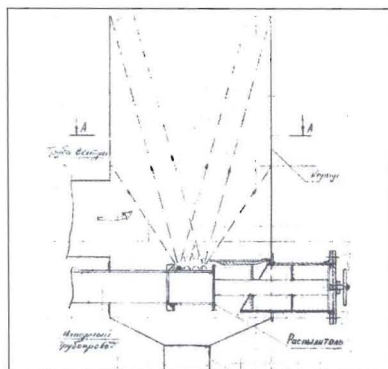


Рис. 12. Схема СГП для очистки дымовых газов СРК-720.

реакциями. Продукты реакций необходимо выводить из системы орошения. В ряде случаев можно воспользоваться технологическими растворами ЦБП и соответствующими системами регенерации. Например, для очистки вентиляционных выбросов из растворителя плава используется слабый белый щелок, который предварительно насыщаясь выбросами сероводорода и содовой пыли, возвращается для растворения плава и направляется на каустизацию. Такая технология не требует дополнительного расхода реактивов, более того, возвращая выбросы из бака плава, снижает стоимость целлюлозы.

При очистке дымовых газов СРК от диоксида серы использование слабого белого щелока приводит к десорбции сероводорода, поэтому используют раствор кальцинированной соды. В этом случае сероводород не выделяется, а при определенных условиях кроме диоксида серы возможно эффективное улавливание сероводорода.

Особенности СГП позволяют создавать эффективные комбинированные аппараты.

Новый СГП комбинированный с теплообменником был разработан для вентиляционных выбросов из бака плава и смесителя сульфата СРК-3 Котласского ЦБК [17]. Схема аппарата представлена на рис. 13. СГП, обозначенный цифрой 1, имеет корпус цилиндрической формы. На боковой стенке корпуса установлен теплообменник 2.

Комбинация с теплообменником создает дополнительные преимущества. Диаметр корпуса СГП значительно больше входного газохода из бака плава, что позволяет снизить среднюю скорость газа, создать достаточно большую поверхность теплообменника, и дополнительно в результате охлаждения снизить скорость движения газа. Снижение скорости газа позволяет осадить частицы пыли больших размеров, скорость витания которых больше скорости газа. Конденсация влажных газов в объеме потока и на поверхности теплообменника повышают эффектив-

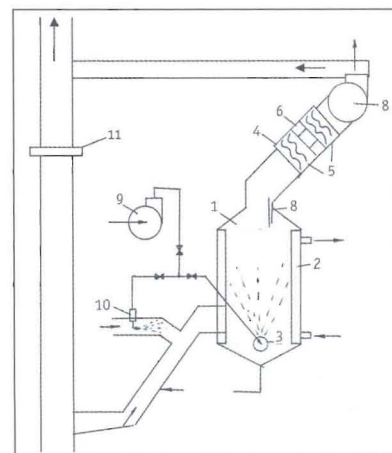


Рис. 13. Схема СГП очистки парогазовых выбросов бака растворителя плава СРК-3 Котласского ЦБК.

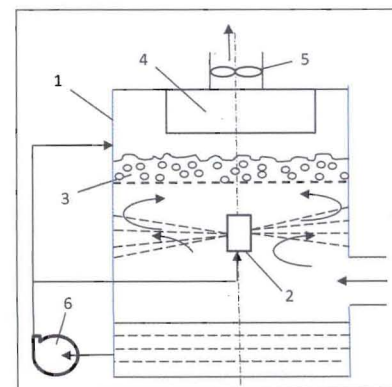


Рис. 14. Схема работы пенного аппарата со струйным фильтром.

ность улавливания мелкодисперсных пылинок, сероводорода и метилмеркаптана. Орошение объема и стенок СГП улучшает теплообмен.

Результаты измерения эффективности очистки газовых выбросов от пыли показали, что СГП позволяет улавливать пыль с эффективностью более 97 %, улавливать сероводород и метилмеркаптан с эффективностью более 90 %. Без орошения эффективность снижается до 80 %, но остается достаточно высокой.



Рис. 15. Фотография струйного фильтра.

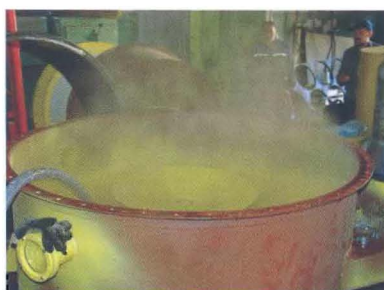


Рис. 16. Фотография выноса мелкодисперсных капель при работе струйного фильтра.



Рис. 17. Фотография пенного слоя при работе струйного фильтра

Свойство стабилизации и возможности распределения газового потока в СГП было использовано для разработки комбинированного аппарата, в котором используются совместно два способа организации контакта между газом и жидкостью, когда скорость движения газа больше скорости жидкости, с положительным сопротивлением $+\Delta P$ и когда скорость движения газа меньше скорости жидкости, с отрицательным сопротивлением $-\Delta P$. Новый комбинированный аппарат был создан на основе объединения СГП и аппарата с пенным слоем [18]. СГП в новом устройстве выполняет вспомогательную функцию. Учитывая специфический вид, он назван струйным фильтром.

Схема аппарата представлена на рис. 14. Аппарат содержит вертикальный корпус 1, струйный фильтр 2, сетку с пенным слоем 3, каплеуловитель 4, вентилятор 5 и насос 6.

Пенный аппарат со струйным фильтром (ПАСФ) работает следующим образом. Газовые выбросы поступают внутрь корпуса 1 через подсеточное пространство в струйный фильтр 2. Под действием жидкости, распыливаемой из форсунок струйного фильтра (рис. 15), формируется осесимметричная газо-жидкостная струя. Струя направлена радиально из центральной области к стенкам аппарата. Радиальное осесимметричное движение газа после струйного фильтра позволяет равномерно распределить газовый поток, проходящий сквозь пенный слой 3.

В область между струйным фильтром и сеткой выносятся большое количество мелкодисперсных капель, захваченных газовым потоком, которые хорошо видны на фотографии (рис. 16). Мелкие капли увеличивают инерционность газового потока, входящего в пенный слой и дополнительно повышают его устойчивость. При этом мелкие капли не разрушают пенный слой, как это видно на фотографии (рис. 17). Процесс очистки газа происходит, как в струйном фильтре 2, так и в пенном слое 3. Эффективность очистки газа в этом аппарате более 98 %, ограничена величиной каплеуноса.

Из приведенного обзора следует, что при решении проблемы совершенствования систем газ-жидкость целлюлозно-бумажного производства целесообразно использовать объединение технологической и экологической задачи. Одним из перспективных направлений является разработка комбинированных аппаратов на основе струйных газопромывателей.

Список литературы.

1. ВНИИБ – Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3-х томах. Том 1. Часть 1. Древесное сырье и производство полуфабрикатов. СПб.: ЛТА, 2002. – 424 с.
2. ВНИИБ – Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы. В 3-х томах. Том 1. Часть 2. Производство полуфабрикатов. СПб.: ЛТА, 2005 – 633 с.

3. Миловидова Л. А. Отбелка целлюлозы. / Л. А. Миловидова, Г. В. Комарова, Т. А. Королева. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 130 с.

4. Личутина Т. Ф. Оценка фактического состояния газовых выбросов в атмосферу на предприятиях ЦБП Северо-Запада России в соответствии нормативам ЕС. / Т. Ф. Личутина, М. А. Гусакова, А. П. Вишнякова // Целлюлоза, бумага, картон, 2009, № 3. – С. 69-74.

5. Директива Совета ЕЭ С96/61ЕС от 24.09. 1996 «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений (Integrated Pollution and Control) IPPC. Европейская комиссия, 1996.

6. Федеративный Закон от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды».

7. Максимов В. Ф. Очистка и рекуперация промышленных выбросов целлюлозно-бумажного производства: в 2 т. Т. 2. Санитарная охрана воздушного бассейна, очистка и рекуперация газопылевых выбросов. / В.Ф. Максимов и др. – М.: Лесная промышленность, 1972, – 312 с.

8. Галустов В. С. Прямоточные распылительные аппараты в теплоэнергетике. / В. С. Галустов– М.: Энергоатомиздат, 1989, – 240 с.

9. Галустов В. С. Распыливающие устройства с заполненным факелом для орошения тепло- и массообменных аппаратов. Обзорная информация. Серия ХМ-1/ Галустов В. С., Анискин С. В., Михайлов Е. А. – М.: Химия, 1984, 33 с.

10. Анискин С. В. Экспериментальное исследование процесса десорб-

ции сероводорода с использованием генератора монодисперсных капель. / Анискин С. В., Протодяконов И. О., Ионов В. А. // ЖПХ. -1998. Т. 71. № 7. – С. 1158-1160.

11. **Анискин С. В.** Теоретико-экспериментальное исследование десорбции сероводорода в процессе образования капель из цилиндрической струи слабощелочного раствора. / Анискин С. В., Протодяконов И. О. //ЖПХ. – 1998. Т. 71. № 10. – С. 1681-1686.

12. **Анискин С. В.** Струйный эффект очистки газа в прямоточном распылительном аппарате. / Анискин С. В. // ЖПХ. -2010. - Т. 83, № 6. – С. 966-970.

13. **Протодяконова О. И.** Влияние полидисперсного состава капель на гидродинамику газожидкостной струи./

Протодяконова О. И., Анискин С. В., Кадашевич Ю.И. // ЖПХ. 2001. – Т. 74, № 12. – С. 1994-2000.

14. **Протодяконова О. И.** Гидродинамическая модель стесненного факела распыленной жидкости. / Протодяконова О. И., Анискин С. В. // ЖПХ. – 2002. Т. 75. № 5. – С. 779-785.

15. **Анискин С. В.** Применение распылительного аппарата для очистки хвостовых газов от диоксида серы. / Анискин С.В., Яковлев В.А., Казаков О.В., Хейкиннен Л.Н. // Бумажная промышленность. 1992. – № 6. –С. 32.

16. **Анискин С. В., Яковлев В. А.** Применение прямоточного распылительного аппарата для очистки дымовых газов содорегенерационных котлов. / Анискин С. В., Яковлев В. А.

// Промышленная энергетика. – 1991. – № 3, – С. 24-25.

17. Пат. RU2079592C1 Российская Федерация, МПК 6D21C11/06 Способ регенерации химикатов из парогазовых выбросов сульфатного производства целлюлозы. / Анискин С. В, Краковский Л. Б., Балакшин Ю. А., Слепцов И. Е.; заявитель и патентообладатель АО «Котласский ЦБК» – 95117250/12; заявл. 10.10. 95; – опубл. 20.05.97, Бюл. № 14.

18. Пат. 2294790C1 Российская Федерация, МПК. B01D47/4 Пенный массообменный аппарат/ Анискин С. В., Запорожец А. Г.; заявитель и патентообладатель Анискин С. В., Запорожец А. Г. – 2005117012/15; заявл. 27.05.05; опубл. 10.03.07, Бюл. № 7.

Обновленный корпоративный веб-сайт

Компания **International Paper**, один из крупнейших международных производителей бумаги и упаковки, вводит в действие обновленный корпоративный веб-сайт.

На новом сайте можно ознакомиться со становлением истории International Paper как международной социально ответственной компании. Сайт выделяется современным дизайном и предлагает клиентам, сотрудникам, соискателям и другим заинтересованным лицам информацию о деятельности компании, обзор ее продукции, услуг, карьерных возможностей. Посетив сайт, можно более подробно узнать о реализуемых инициативах в сфере устойчивого развития и общественных программах. Новый сайт адаптирован для просмотра на мобильных устройствах, что позволяет получить необходимую информацию, используя смартфон или планшет.

Современный дизайн и интуитивно понятная структура нового сайта International Paper обеспечивают быстрый и удобный доступ к любой необходимой информации. Портал, расположенный по адресу www.internationalpaper.com, имеет ряд новых характеристик, среди которых можно отметить:

- Обновленный дизайн, наиболее выигрышно представляющий продукцию International Paper.
- Глобальное видение выражено через общую стартовую страницу. Тексты, размещенные на новом сайте доступны для просмотра на 11-ти языках.
- Множество вариантов поиска продуктов, включая интерактивный поиск продукции.
- Адаптированный дизайн для мобильных устройств позволяет просматривать сайт на любых устройствах, от ноутбука до телефона или планшета.
- Быстрый поиск по сайту позволит найти нужную информацию, не теряя времени.

Региональный сайт с информацией о деятельности International Paper в России доступен по адресу: internationalpaper.com/Russia

Переход на новый сайт будет осуществляться автоматически с действующего адреса www.internationalpaper.com.

Пресс-релиз