

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДВП

А.В. Рубинская¹, Н.Г. Чистова¹, Ю.Д. Алашкевич²

¹Лесосибирский филиал Сибирского государственного технологического университета

²ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»
660049 Красноярск, пр. Мира, 82

В данной работе рассматриваются вопросы эффективности очистки оборотных промышленных вод в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом от фенолов, формальдегидов, а также улавливания вторичного древесного волокна и возврата его в основное производство. Предложен метод напорной дисперсионной флотации для очистки оборотных вод от загрязняющих веществ, улавливания вторичных древесных волокон, получены математические зависимости эффективности очистки оборотных вод от технологических параметров флотационной машины.

Ключевые слова: сточные воды, напорная дисперсная флотация, флотационная машина

In given work are considered questions to efficiency peelings circulating industrial water in production fiberboard by captive wet way from phenols, formaldehyde, as well as catching secondary wood filament and return him in the main production. The Offered method pressure dispersion flotation for peelings of circulating water from polluting material, catching secondary wood filaments, are received mathematical dependencies to efficiency peelings circulating water from technological parameter flotation machines.

Key words: sewage, pressure head disperse flotation, flotation machine

ВВЕДЕНИЕ

На предприятиях лесохимической промышленности, в частности в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом в сточные воды попадает большое количество загрязняющих веществ. Поэтому процесс очистки сточных вод данного производства весьма трудоемкий и длительный, включающий в себя несколько этапов очистки.

Несмотря на существующие способы очистки в настоящее время на предприятиях деревоперерабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности нельзя считать решенной проблему очистки сточных вод, так как, в силу технологического процесса данных производств, потребляя большие объемы воды, имеют высокую степень их загрязненности, нанося тем самым значительный урон окружающей среде. Действующие очистные сооружения многих лесохимических предприятий требуют высоких доз реагентов, сложны и нестабильны в работе.

В Лесосибирском промышленном узле успешно функционирует ряд деревоперерабатывающих предприятий. Наиболее крупными из них являются ЗАО «Новоенисейский лесохимический комплекс» и ОАО «Лесосибирский лесопильно-деревоперерабатывающий комбинат №1», в состав которых для улучшения показателя комплексной переработки древесины входят и успешно работают линии по производству древесноволокнистых плит (ДВП) мокрым и сухим способом. Так на одну тонну готовых плит, полученных мокрым способом, расходуется в среднем до 230 м³ чистой воды.

Все сточные воды с заводов поступают на локальные очистные сооружения, которые находятся

за пределами цехов, где происходит частичное осаждение взвешенных веществ и первичное осветление стоков. Существующие методы очистки сопряжены с большими капитальными и эксплуатационными затратами.

Одними из самых токсичных веществ, содержащихся в сточных водах настоящих производств, являются фенолы и формальдегиды. Решение данной задачи для предприятий является первостепенной, так как существующие очистные сооружения гидравлически перегружены и не обеспечивают качественную очистку сточных вод, происходит непрерывное загрязнение акватории реки Енисей, концентрация этих веществ в сточных водах превышает предельно допустимые концентрации в несколько раз. В свою очередь, норматив платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду устанавливается (индексируется) ежегодно Правительством РФ и имеет тенденцию возрастания.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для решения существующей задачи на предприятиях лесного комплекса, в настоящей работе предлагается метод флотации диспергированными пузырьками воздуха для очистки сточных промышленных вод от фенолов, формальдегидов, а также улавливания вторичных древесных волокон, который на наш взгляд, является наиболее приемлемым и эффективным в условиях данных производств. Эффективность этого процесса при всех равных условиях зависит от размера воздушных пузырьков: с уменьшением диаметра пузырьков эффективность очистки повышается. При очень маленьких пузырь-

ках, когда масса оседающей частицы, сорбированной на поверхности пузырька, соизмерима с выталкивающей силой, действующей на него, частица с прикрепленным пузырьком может оставаться во взвешенном состоянии, что отрицательно влияет на эффективность очистки.

Лидером на мировом рынке по производству очистного флотационного оборудования, является фирма KWI, inc. (ранее фирма **Krofta Waters inc.** до 2001г.) которая поставляет радиальные флотаторы для очистки сточных вод в различных отраслях промышленности, таких как целлюлозно-бумажная, пищевая, металлургическая, нефтеперерабатывающая. За последние годы на предприятиях ЦБП России и СНГ при поддержке фирмы KWI, inc. установлено свыше 50 флотаторов различной конструкции. Однако флотаторы американской Компании KWI, требуют предварительного качественного усреднения стоков по составу и расходу воды, что в условиях действующих производств обеспечить довольно сложно, а так же нуждаются в точном дозировании реагентов, требуют много времени на запуск и отладку после останова, а также цена данного оборудования довольно высока. К тому же в лесохимической промышленности настоящие флотаторы не применялись.

В работе был проведен ряд экспериментов с целью успешного решения задач по очистке промышленных стоков предприятий по производству ДВП мокрым способом. Исследования проводились ведущими специалистами Лесосибирского филиала СибГТУ в рамках научных исследований, для чего была приобретена полупромышленная флотационная установка УНИВЕРСАЛ СМ-1 (Генцлер, 2004), производительностью от 5 до 15 м³/ч, на которой осуществлялись натурные эксперименты по очистке сточных промышленных вод данного производства по следующим показателям: фенолам, формальдегидам и взвешенным веществам.

На первом этапе наших исследований был проведен четырехфакторный эксперимент, целью которого являлось определение наиболее значимых факторов, влияющих на эффективность очистки оборотной воды от фенолов и формальдегидов и улавливание вторичного волокна.

Исследования проводились в следующей последовательности: отбиралась сточная оборотная вода, объемом 120 л, подавалась в приемный резервуар, где готовился модельный раствор. На основании выбора плана эксперимента входные параметры варьировали на трех уровнях. Эксперимент производился при заданных значениях производительности - Р (6,0; 7,0; 8,0 м³/ч), количества эжектируемого воздуха - V (1, 3, 5 %), количества водовоздушной смеси - D (20, 30, 40 %) и температуры сточной воды - t (30 °, 35 °, 40 °С).

Планирование и реализация эксперимента производились с помощью метода греко-латинских квадратов, который позволяет исключить влияние одного или нескольких исследуемых факторов, используемых в эксперименте, на выходную величину, а также неоднородностей, которые могут частично или полностью исказить истинный характер

зависимости функции отклика от фактора и привести к неправильным выводам по результатам эксперимента.

Планирование и реализация четырехфакторного эксперимента по определению зависимости эффективности улавливания вторичного древесного волокна и очистки оборотных вод от фенолов и формальдегидов при различных значениях Р – производительности флотатора, V – количества эжектируемого воздуха, t – температуры исходной сточной воды, D – количества водовоздушной смеси, % представлены следующими зависимостями

$$\Theta_{\text{фен.}} = f(P, V, t, D) \quad (1)$$

$$\Theta_{\text{форм-д}} = f(P, V, t, D) \quad (2)$$

$$\Theta_{\text{вв}} = f(P, V, t, D) \quad (3)$$

Обработка экспериментальных данных производилась в пакете программ STATISTICA 6 (Рубинская, Чистова, 2006), результаты дисперсионного анализа представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1 – Дисперсионный анализ для количества эжектируемого воздуха (фенолы)

Эффект	Ст.св.	SS	MS	F	p
2	2	516,89	258,45	5,817	0,039395
Ошибка	6	266,59	44,43	-	-
Итого	8	783,48	-	-	-

Таблица 2 – Дисперсионный анализ для количества эжектируемого воздуха (формальдегиды)

Эффект	Ст.св.	SS	MS	F	p
2	2	4326,26	2163,13	35,069	0,00048
Ошибка	6	370,09	61,68	-	-
Итого	8	4696,35	-	-	-

Таблица 3 – Дисперсионный анализ для производительности (взвешенные вещества)

Эффект	Ст.св.	SS	MS	F	p
2	2	554,23	277,12	7,1081	0,026143
Ошибка	6	233,92	38,99	-	-
Итого	8	788,15	-	-	-

Согласно плана для оценки значимости линейных эффектов были получены значения F-критерия и p – уровня (статистическая значимость) для каждого фактора по всем показателям. По фенолам: $F_{\text{расч } P} = 0,201$; $F_{\text{расч } V} = 5,81$; $F_{\text{расч } D} = 1,13$; $F_{\text{расч } t} = 0,006$. Их сравнивали с $F_{\text{табл}}$ для выбранного уровня значимости. Для $p = 0,05$, $F_{\text{табл}} = 5,14$. Имеем: $F_{\text{расч } P} < F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } V} > F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } D} < F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } t} < F_{\text{табл}}$. По формальдегидам: $F_{\text{расч } P} = 0,06$; $F_{\text{расч } V} = 35,06$; $F_{\text{расч } D} = 0,06$; $F_{\text{расч } t} = 0,12$, для $p = 0,01$, $F_{\text{табл}} = 10,92$. Имеем: $F_{\text{расч } P} < F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } V} > F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } D} < F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } t} < F_{\text{табл}}$. По взвешенным веществам: $F_{\text{расч } P} = 7,1$; $F_{\text{расч } V} = 0,17$; $F_{\text{расч } D} = 0,11$; $F_{\text{расч } t} = 0,77$, для $p = 0,05$, $F_{\text{табл}} = 5,14$. Имеем: $F_{\text{расч } P} > F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } V} < F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } D} < F_{\text{табл}}$; $F_{\text{расч } t} < F_{\text{табл}}$.

По результатам проведения и анализа четырехфакторного эксперимента, определены основные входные параметры, влияющие на процесс очистки оборотной воды, которыми явились количество

эжектируемого воздуха V , % и производительность флотационной машины P , $\text{м}^3/\text{ч}$. Результаты реализации и оценки четырехфакторного эксперимента показали, что наибольшее влияние на процесс очистки оборотной воды от фенолов и формальдегидов оказывает количество эжектируемого воздуха, являющегося технологическим параметром флотационной машины. Производительность установки на качество очистки этих загрязнений явного влияния не оказывает, на основании чего можно сделать вывод, что флотаторы такого типа любой производительности будут улавливать фенолы и формальдегиды из сточных вод с одинаковой эффективностью. Наибольшее влияние на процесс улавливания вторичного древесного волокна оказывает производительность флотатора. Было установлено, что количество водовоздушной смеси оказывает незначительное влияние на процесс очистки оборотной воды от волокон.

Получены зависимости эффективности очистки оборотной воды от фенолов и формальдегидов $\mathcal{E}_{\text{Фен}}$ и $\mathcal{E}_{\text{Форм-д}}$, % от эжектируемого воздуха и зависимость улавливания вторичного волокна $\mathcal{E}_{\text{ВВ}}$, % от производительности флотационной машины, и доказано, что именно эти факторы оказывают наибольшее влияние на исследуемый процесс.

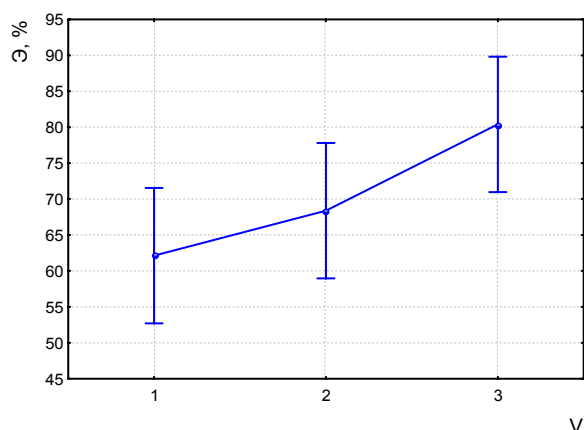


Рисунок 1 – Зависимость эффективности очистки сточной воды от количества эжектируемого воздуха (фенолы)

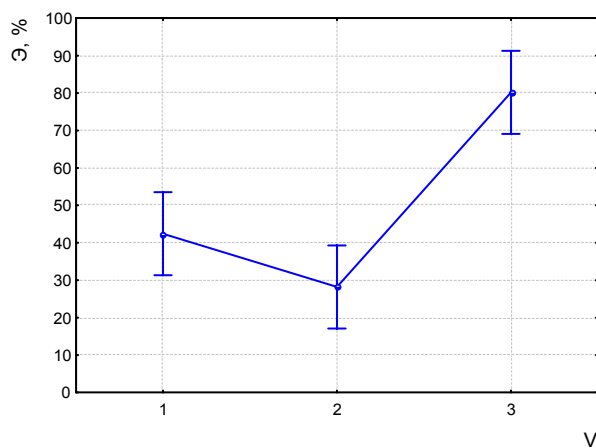


Рисунок 2 – Зависимость эффективности очистки от количества эжектируемого воздуха (формальдегиды)

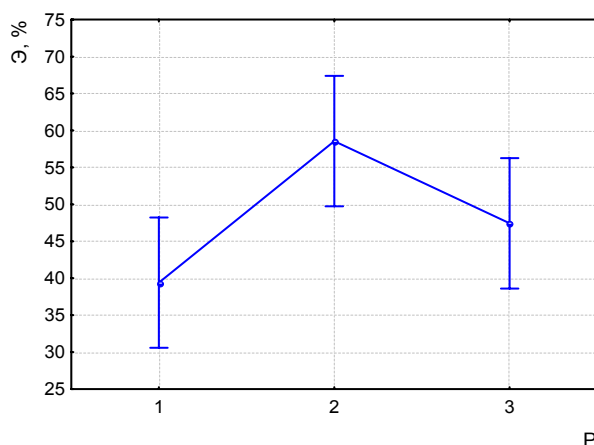


Рисунок 3 – Зависимость эффективности улавливания вторичного волокна от производительности флотатора

На следующем этапе экспериментальных исследований на основании четырехфакторного эксперимента был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент, по определению влияния установленных факторов на выходную величину и их парное взаимодействие.

Для получения регрессионных зависимостей был спланирован и реализован В – план второго порядка, в основе которого лежит регрессионный анализ. На наш взгляд, реализация такого плана исследований наилучшим образом подходит для обработки результатов представленного эксперимента.

Обработка результатов эксперимента осуществлялась в пакете программы STATISTICA-6. Расчет производился по Квази-Ньютоновскому методу.

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости эффективности очистки оборотной воды $\mathcal{E}$, % по таким показателям как фенолы, формальдегиды и взвешенные вещества от технологических параметров флотационной установки: количества эжектируемого воздуха (V , %) и производительности машины (P , $\text{м}^3/\text{ч}$).

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости эффективности очистки оборотной воды ($\mathcal{E}$, %) по трем химическим показателям от технологических параметров флотационной установки.

$$\mathcal{E}_{\text{Ф}} = -488,0012 + 161,8175 P - 9,221 V - 12,11 P^2 + 0,3763 V^2 + 1,4225 PV \quad (1)$$

$$\mathcal{E}_{\text{Форм}} = 351,216 - 81,8325 P + 4,00416 V + 6,265 P^2 + 1,4412 V^2 - 2,0575 PV \quad (2)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ВВ}} = -608,686 + 201,229 P - 6,083 V - 14,662 P^2 - 0,1619 V^2 + 0,1413 PV \quad (3)$$

Полученные математические модели являются адекватными. Коэффициенты, стоящие перед факторами, говорят о значимости входных параметров и влиянии их на исследуемые факторы, а также их парное взаимодействие на выходную величину.

Наглядное представление о влиянии входных факторов на выходную величину дают графические зависимости, построенные по полученным моде-

лям. На рисунках 4, 5 и 6 представлены графические изображения откликов по полученным моделям от двух варьируемых факторов.

Таблица 4 – Основные факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Обозначения		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	натурал.	нормализов.		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Производительность, м ³ /ч	P	X1	1	6	7	8
Количество эжектируемого воздуха, %	V	X2	2	1	3	5

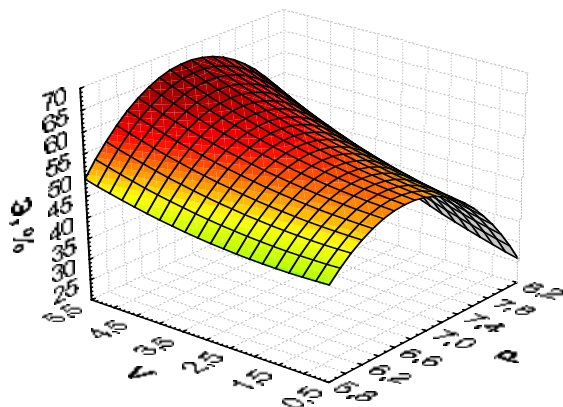


Рисунок 4 - Зависимость эффективности очистки по фенолам от производительности флотатора и количества эжектируемого воздуха

Из графика, представленного на рисунке 4 хорошо видно, как изменяется эффективность очистки оборотной воды при изменении производительности флотатора и количества эжектируемого воздуха. Так, при увеличении значения производительности до 7,2 м³/ч, эффективность очистки максимально увеличивается до значения 67 %. При этих же значениях производительности, при постоянном увеличении количества эжектируемого воздуха, наблюдается тенденция к увеличению значения $\mathcal{E}_{\text{фен}}$, соответственно результаты обработки данных показали, что наилучшие показатели достигаются при значениях $P=7,2$ м/ч, $V=5,5$ %.

На рисунке 5 представлена зависимость эффективности очистки сточной воды по содержанию формальдегидов и фенолов от производительности флотатора и количества эжектируемого воздуха. Из графика видно, что при уменьшении количества эжектируемого воздуха до 2,8 % значение эффективности очистки уменьшается до 68%, при дальнейшем увеличении количества эжектируемого воздуха величина эффективности увеличивается до 95%. При тех же значениях эжектируемого воздуха и производительности равной 6,7 м³/ч наблюдается минимальное значение эффективности очистки. Это объясняется тем, что для окисления формальдегида в воде необходимо большое количество кислорода, исходя из этого, можно сказать, что для нейтрализации формальдегида в оборотной воде необходимо устанавливать такие значения количества эжектируемого воздуха, чтобы флотатор работал в режиме отдувки, то есть значения эжектируемого воздуха должны быть больше чем 2,8 %.

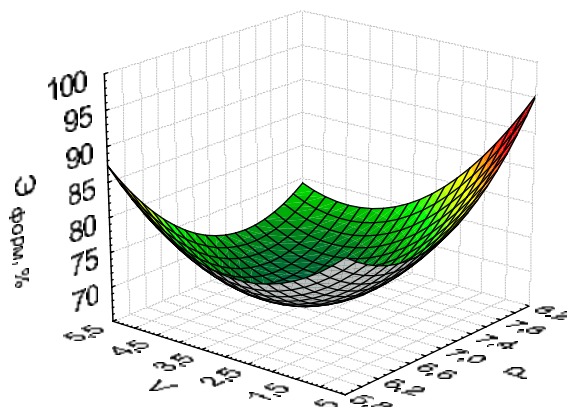


Рисунок 5 - Зависимость эффективности очистки по формальдегидам от производительности флотатора и количества эжектируемого воздуха

Из графика, представленного на рисунке 6 видно, как изменяется эффективность очистки оборотной воды по взвешенным веществам при изменении производительности флотатора и количества эжектируемого воздуха. Так, при увеличении значения производительности до 7,0 м³/ч, эффективность очистки максимально увеличивается до значения 88 %. При тех же значениях производительности и при увеличении количества эжектируемого воздуха от 1,5 до 3%, наблюдается тенденция к увеличению значения $\mathcal{E}_{\text{вв}}$, %, соответственно результаты обработки данных показали, что наилучшие показатели достигаются при значениях $P=7,0$ м/ч, $V= 2,1$ %.

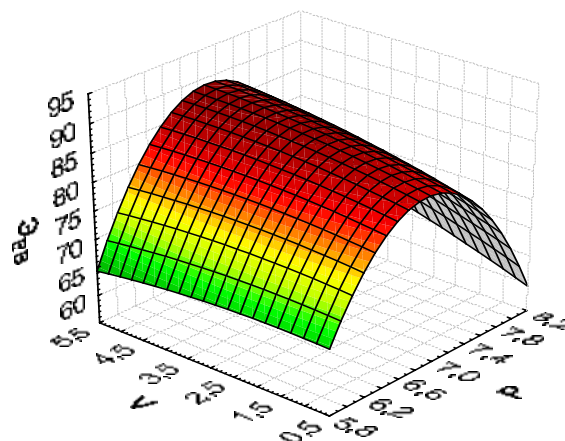


Рисунок 6 - Зависимость эффективности очистки по взвешенным веществам от производительности флотатора и количества эжектируемого воздуха

Результаты эксперимента показали, что на процесс очистки оборотных сточных вод производства древесноволокнистых плит действительно оказывают существенное влияние технологические параметры флотационного аппарата. Наибольшее влияние на эффективность очистки оказывают производительность установки и количество эжектируемого воздуха.

Таким образом, исследование в данной области являются актуальными и должны быть направлены на решение проблемы по загрязнению природных водоемов сточными водами лесохимических предприятий. Исследования для решения данной задачи необходимо вести в следующих направлениях:

1 рационально использовать воду на лесохимических предприятиях, что позволит уменьшить сброс сточных вод в водоемы. Для чего необходимо совершенствовать технологические процессы, позволяющие сократить количество и загрязненность сточных вод;

2 внедрять высокоэффективные водоочистные технологии и конструкции. Используя метод физико-химической очистки сточных вод в сочетании с методами биологической очистки, получить воду, удовлетворяющую требованиям, предъявляемым предприятиям к ее качеству;

3 решать проблему загрязнения водоемов путем создания замкнутых систем водоснабжения и канализации промышленных предприятий с повторным использованием очищенных сточных вод с возможностью улавливания как можно большего количества отходов данных производств и возврата их в основное производство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Генцлер, Г.Л. Развитие теории конструирования водоочистных флотационных аппаратов [Текст] / Г.Л. Генцлер – Новосибирск: Наука, 2004. – 318 с.
- Генцлер, Г.Л. Эжекторные системы защиты насосов в установках напорной флотации / Г.Л. Генцлер // Известия вузов. Строительство. – 1994. – № 9-10. – С. 84-88.
- Рубинская, А.В. Совершенствование очистки сточных вод в производстве ДВП / А.В. Рубинская, Н.Г. Чистова // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. научн. трудов. – Брянск, 2006. – С. 84-85.
- Чистова, Н.Г. Проблемы очистки сточных вод в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом / Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич, А.В. Рубинская // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. материалов IV международной науч.-практич. конференции. – Пенза: РИО ПГСХА, 2004. – С. 145-146.

Поступила в редакцию 15 марта 2008 г.
Принята к печати 27 августа 2008 г.