

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЛАВЁРНЫХ ВОД СВЕКЛОСАХАР- НОГО ЗАВОДА ОТ ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ МЕТОДОМ БАРБОТАЖНОЙ АЭРАЦИИ

А.И.СОРОКИН

Лавёрные воды свеклосахарного производства, которые образуются в результате промывки и охлаждения сатурационного газа, как известно /1/, наряду с механическими примесями содержат также и летучие вещества - продукты сухой перегонки топлива, фенолы, смолы, диоксид углерода и соединения серы (сульфиды).

Эффективная очистка этих вод от летучих веществ имеет важное практическое значение для их повторного использования в производстве, снижения расхода воды и количества сточных вод.

В практике очистки производственных сточных вод от летучих веществ находят применение методы дегазации, подразделяющиеся на физические и химические /2/. Наиболее широкое распространение получили физические методы дегазации, которые осуществляются в аппаратах с барботажным слоем жидкости, с насадкой из колец Рошига, с хордовой насадкой, а также в полых распыливающих десорберах /3/.

Применение того или иного метода дегазации зависит, как показали исследования /3/, от физико-химических свойств летучих веществ, содержащихся в воде, а также от содержания в воде взвешенных веществ. Присутствие в сточной воде взвешенных веществ в значительной мере влияет на эффективность и работу дегазаторов, в особенности тех, конструкция которых предусматривает устройства насадок и сопел и не влияет на работу аппаратов с барботажным слоем жидкости.

С целью изучения эффективности очистки лавёрных вод от летучих веществ методом физической дегазации - аэрации в барботажном слое жидкости нами была разработана лабораторная установка, схема которой представлена на рис.1.

Основным элементом установки является аэрационная колонка диаметром 150 мм и общей высотой 750 мм, выполненная из оргстекла. В верхней части колонка оборудована кольцевым лотком с патрубком для отвода флотоконденсата, а в нижней - пористой перегородкой из шамотной плиты производства ПО "Москерамика". Для подвода сжатого воздуха под пористую перегородку и измерения гидравлического сопротивления пористой перегородки и барботажного слоя нижняя часть колонки снабжена двумя патрубками. В состав установки входят ротаметр типа РС-7, переоборудованный в настольный прибор, и ротационный счетчик

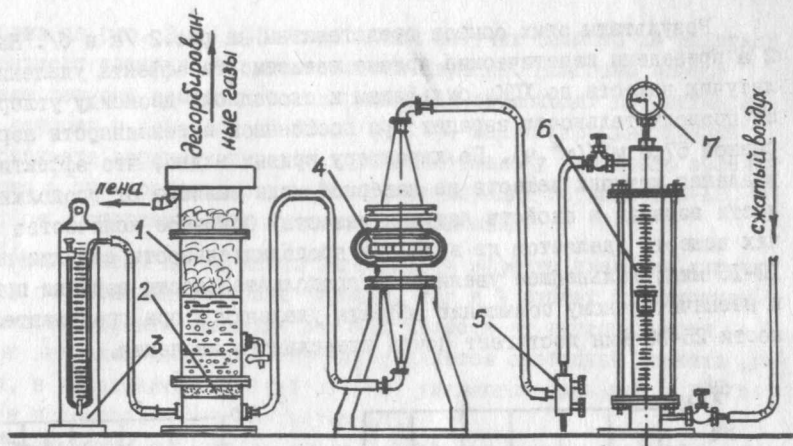


Рис. I. Схема лабораторной установки по изучению очистки лавёрных вод аэрацией в барботажном слое жидкости.

I - аэрационная колонка; 2-пористая перегородка; 3-U-образный манометр; 4-счетчик газа типа РГ-40; 5-трехходовой кран; 6-ротаметр типа РС-7; 7-образцовый манометр.

газа типа РГ-40. Первый из них предназначен для установления заданного расхода воздуха и поддержания его в течение всего опыта; второй - предназначен для измерения суммарного количества воздуха, расходуемого в опыте с испытуемым образцом лавёрной воды. Измерение гидравлического сопротивления пористой перегородки и барботажного слоя осуществлялось с помощью U-образного манометра, давления сжатого воздуха, направляемого на аэрацию, - с помощью образцового манометра, которым снабжен ротаметр РС-7. Все элементы установки соединены между собой и с источником сжатого воздуха резиновыми шлангами.

Опыты по очистке лавёрных вод аэрацией в барботажном слое проводились с использованием лавёрной воды Яготинского сахарного завода им.Ильича (основное производство). Было проведено несколько серий опытов по изучению зависимости эффекта удаления летучих веществ из лавёрной воды от продолжительности и интенсивности аэрации. Контроль за эффективностью удаления летучих веществ при проведении опытов осуществляли по снижению ХПК, сульфидов и свободного диоксида углерода в процентах от первоначального содержания.

Результаты этих опытов представлены на рис.2 /а и б/. На рис. 2 а приведены кинетические кривые зависимости эффекта удаления летучих веществ по ХПК, сульфидам и свободному диоксиду углерода от продолжительности аэрации при постоянной интенсивности аэрации, равной $57,8 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. По характеру кривых видно, что эффективность удаления летучих веществ из лаверной воды зависит от продолжительности аэрации и свойств летучих веществ. Основное количество летучих веществ удаляется из воды при продолжительности аэрации порядка 10-15 мин; дальнейшее увеличение продолжительности аэрации приводит к незначительному повышению эффекта удаления и при продолжительности 25-30 мин достигает почти предельного значения.

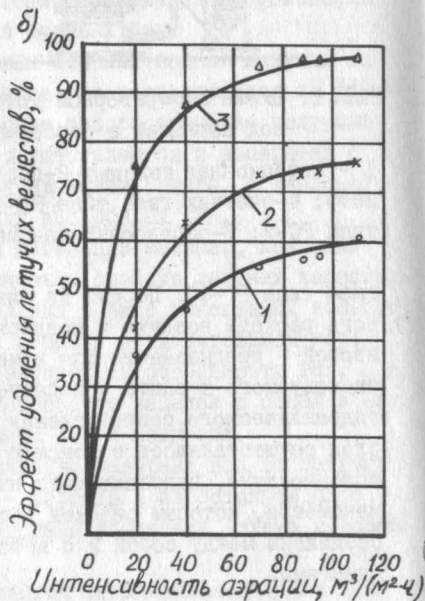
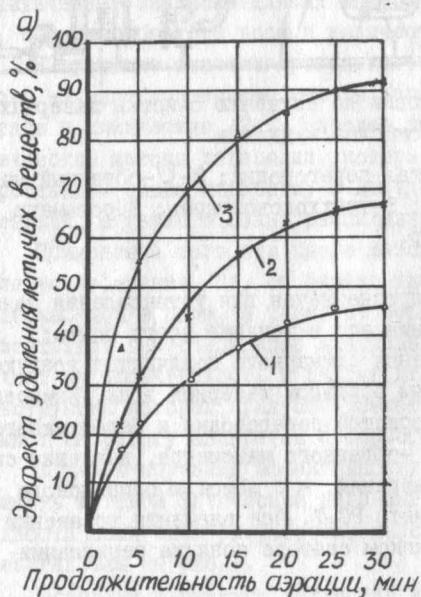


Рис.2. Кривые зависимости эффекта очистки лаверной воды от продолжительности /а/ и интенсивности /б/ аэрации I-ХПК; 2 - сульфиды H_2S ; 3 - свободный диоксид углерода CO_2 .

На рис. 2 б приведены кривые, характеризующие зависимость эффекта удаления летучих веществ из лаверной воды от интенсивности аэрации при постоянной продолжительности аэрации, равной 30 мин.

Как видно из рис. 2 б, эффект удаления летучих веществ из лаверной воды зависит также и от интенсивности аэрации. Наиболее полное удаление летучих веществ из лаверной воды происходит при интенсивности аэрации в пределах $45-80 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, дальнейшее увеличение интенсивности аэрации приводит к незначительному повышению эффекта удаления и при достижении интенсивности аэрации порядка $100-120 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ он достигает почти предельного значения.

Как в опытах по изучению зависимости эффекта удаления летучих веществ от продолжительности аэрации, так и в опытах по изучению зависимости эффекта удаления летучих веществ от интенсивности аэрации наиболее полно при аэрации удаляется свободный диоксид углерода, в значительно меньшей степени удаляются сульфиды и другие летучие вещества, определяемые по ХПК.

Объясняется это прежде всего формой нахождения удаляемых веществ в воде (молекулярной или диссоциированной на ионы), а также их растворимостью в воде.

Опыты по удалению летучих веществ из лаверных вод методом барботажной аэрации показали, что основными параметрами, влияющими на процесс очистки, являются продолжительность t и интенсивность j аэрации.

Для получения зависимости $E_f = f(t, j)$ был использован полный факторный эксперимент типа 2^k . При этом были выполнены этапы кодирования факторов, составление плана-матрицы экспериментов; проверка воспроизводимости опытов в эксперименте, проверка адекватности полученных моделей по экспериментальным данным и оценка значимости коэффициентов регрессии [4].

В качестве функций откликов были приняты эффект очистки лаверной воды по ХПК и эффект удаления из воды сульфидов и диоксида углерода; в качестве влияющих факторов - продолжительность и интенсивность аэрации.

Для нахождения адекватного описания функций отклика в заданной части факторного пространства аппроксимировали неизвестную функцию полиномом первой степени - отрезком ряда Тейлора, включающим линейную часть разложения и членами, содержащими произведение факторов в первой степени.

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad /1/$$

где: $b_0; b_1; b_2; b_3$ - значения неизвестных коэффициентов математической модели;
 $X_1; X_2$ - соответственно значения продолжительности аэрации и интенсивности аэрации.

Эффект очистки лавёрных вод по ХПК - как функцию отклика обозначили через y_1 ; эффект удаления сульфидов - как функцию отклика через y_2 и эффект удаления свободного диоксида углерода - как функцию отклика через y_3 .

Тогда уравнения регрессий - математические модели процесса очистки лавёрных вод от летучих веществ будут иметь вид - для ХПК:

$$y_1 = b_{01} + b_{11} \cdot X_1 + b_{21} \cdot X_2 + b_{31} \cdot X_1 \cdot X_2; /2/$$

для сульфидов:

$$y_2 = b_{02} + b_{12} \cdot X_1 + b_{22} \cdot X_2 + b_{32} \cdot X_1 \cdot X_2; /3/$$

для свободного диоксида углерода:

$$y_3 = b_{03} + b_{13} \cdot X_1 + b_{23} \cdot X_2 + b_{33} \cdot X_1 \cdot X_2; /4/$$

где: X_1, X_2 - кодированные переменные, которые связаны с продолжительностью и интенсивностью аэрации соотношениями:

$$X_1 = \frac{x_1 - x_{01}}{\Delta x_1}; \quad X_2 = \frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2},$$

где: x_{01}, x_{02} - значения факторов на нулевом уровне;

$\Delta x_1, \Delta x_2$ - интервалы варьирования факторов.

При проведении полного факторного эксперимента задавались условиями, приведенными в табл. I

Таблица I
Основные характеристики плана эксперимента

Характеристика	χ_1 , мин	$\chi_2, \text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$
Основной уровень	20	60
Интервал варьирования	5	20
Верхний уровень	25	80
Нижний уровень	15	40

Матрица планирования и результаты полного факторного эксперимента со статистической обработкой опытов, которые проводили на описанной выше установке, представлены в табл.2.

Проверку воспроизводимости опытов осуществляли по критерию Кохрена /G/. Расчетные значения критерия Кохрена для соответствующих функций отклика соответственно составили: $G_{p1} = 0,38$;

$G_{p2} = 0,47$; $G_{p3} = 0,41$, табличное же значение критерия Кохрена / G_m / при $N = 4$ и числе степеней свободы $f = n-1 = 2-1 = 1$ равно 0,907.

Условие $G_p < G_m$ выполняется: 0,38; 0,907; 0,47; 0,907 и 0,41 < 0,907. Следовательно, проведенные параллельные опыты можно считать воспроизводимыми, а оценки дисперсий - однородными.

Затем были вычислены погрешности эксперимента: оценка дисперсий воспроизводимости, которые соответственно составили: $S_{y1}^2 = 1,06$; $S_{y2}^2 = 1,81$; $S_{y3}^2 = 2,06$ и оценки дисперсий среднего значения, которые составили соответственно: $S_{\bar{y}1}^2 = 0,53$; $S_{\bar{y}2}^2 = 0,91$ и $S_{\bar{y}3}^2 = 1,03$.

На основании результатов эксперимента произведен расчет коэффициентов для уравнений регрессий.

Для соответствующих функций отклика эти коэффициенты составили: $y_1 / \text{ХПК, \%}$ - $b_{01} = 42,15$; $b_{11} = 3,65$; $b_{21} = 6,10$; $b_{31} = 0,68$;
 $y_2 / \text{H}_2\text{S, \%}$ - $b_{02} = 68,28$; $b_{12} = 3,83$; $b_{22} = 5,38$; $b_{32} = 0,88$;
 $y_3 / \text{CO}_2, \%$ - $b_{03} = 85,75$; $b_{13} = 3,70$; $b_{23} = 6,70$; $b_{33} = 0,75$.

Таблица 2

Матрица планирования и результаты опытов полного
факторного эксперимента

Но- мер опы- та / j /	Условия опыта						Результаты эксперимента						$\bar{y}_{ij} = \frac{y_{i1} - y_{i2}}{2}$			Дисперсия S_{ij}^2		
	кодированные значе- ния факторов				натураль- ные значе- ния факто- ров		функции отклика											
							y_1 /ХПК, %/		y_2 / H ₂ S %/		y_3 /CO ₂ , %/							
	X ₀	X ₁	X ₂	X ₁ ·X ₂	x ₁	x ₂	y ₁₁	y ₁₂	y ₂₁	y ₂₂	y ₃₁	y ₃₂	$\bar{y}_{1j}$	$\bar{y}_{2j}$	$\bar{y}_{3j}$	S _{1j} ²	S _{2j} ²	S _{3j} ²
1	+I	-I	-I	+I	15	40	33,7	32,4	54,3	53,1	73,7	75,5	33,1	53,7	74,6	0,98	0,72	1,62
2	+I	+I	-I	-I	25	40	38,3	39,6	61,5	62,6	82,6	84,4	39,0	62,1	83,5	0,72	0,72	1,62
3	+I	-I	+I	-I	15	80	44,7	43,2	67,2	65,1	88,2	90,7	43,9	66,2	89,5	0,98	2,42	3,38
4	+I	+I	+I	+I	25	80	53,5	51,6	72,4	69,8	94,4	96,3	52,6	71,1	95,4	1,62	3,38	1,62

Вычисленные ошибки при определении коэффициентов в уравнениях регрессии соответственно составили: для функции отклика y_1 - $Sb_1 = 0,36$; для функции отклика y_2 - $Sb_2 = 0,48$; для функции отклика y_3 - $Sb_3 = 0,51$.

Проверку значимости коэффициентов регрессий осуществляли по критерию Стьюдента. Принято считать, что коэффициент регрессии значим, если выполнено условие /5/:

$$|b| \geq Sb \cdot t, \quad /5/$$

где: t - табличное значение критерия Стьюдента для доверительной вероятности $P = 0,95$ и 4-х степеней свободы, $t = 2,78$.

Из вычисленных соотношений установлено: для функции отклика y_1 коэффициенты регрессии $b_{01}; b_{11}; b_{21}$ значимы, а коэффициент b_{31} - незначим; для функции y_2 - коэффициенты регрессии $b_{02}; b_{12}; b_{22}$ значимы, а коэффициент b_{32} - незначим., для функции y_3 - коэффициенты регрессии $b_{03}; b_{13}; b_{23}$ значимы, а коэффициент b_{33} - незначим.

Искомые уравнения регрессии (математические модели процесса очистки лавёрных вод от летучих веществ) имеют вид:

$$y_1 = 42,15 + 3,66X_1 + 6,10X_2; \quad /6/$$

$$y_2 = 63,28 + 3,38X_1 + 5,38X_2; \quad /7/$$

$$y_3 = 85,75 + 3,70X_1 + 6,70X_2; \quad /8/$$

Проверку адекватности полученных уравнений регрессии осуществляли по критерию Фишера (F -критерий) на основании вычисленных дисперсий адекватности / $S_{\Delta g}$ / для функций отклика y_1 , y_2 и y_3 , которые соответственно составили 1,96; 3,07 и 2,24. Вычисленные расчетные критерии Фишера (соответственно для функций отклика y_1 , y_2 и y_3 - 3,70; 3,37 и 2,17) не превышают табличного значения F -критерия (7,71), что подтверждает гипотезу об адекватности линейных уравнений регрессии, то есть полученные уравнения математических моделей адекватно описывают процесс очистки лавёрных вод методом аэрации в рабочем слое жидкости.

Из полученных уравнений видно, что коэффициенты регрессии имеют положительные значения при обоих факторах - продолжительности аэрации X_1 и интенсивности аэрации X_2 . Это указывает на то

обстоятельство, что для увеличения параметров оптимизации (функций откликов), то есть повышения эффекта очистки лавёрной воды по ХПК, сульфидам и свободному диоксиду углерода необходимо увеличить один из факторов или одновременно два - X_1 и X_2 .

Из уравнений регрессии также видно, что абсолютные величины коэффициентов при факторе X_2 почти вдвое больше, чем при факторе X_1 . Это указывает на то обстоятельство, что при переходе факторов с нулевого уровня на нижний или верхний вклад фактора X_2 в величину параметра оптимизации почти в два раза больший, чем фактора X_1 .

При дальнейшей математической обработке были получены адекватные интерполяционные уравнения в виде полинома первой степени для двух факторов, предназначенные для вычисления эффектов очистки лавёрных вод по ХПК, сульфидам и свободному диоксиду углерода по натуральным значениям факторов: продолжительности аэрации и интенсивности аэрации.

Указанные уравнения имеют вид:

$$\partial_{\text{ХПК}} = 9,25 + 0,73t + 0,305j ; \quad /9/$$

$$\partial_{\text{H}_2\text{S}} = 33,62 + 0,676t + 0,269j ; \quad /10/$$

$$\partial_{\text{CO}_2} = 50,85 + 0,74t + 0,335j \quad /11/$$

Таким образом, в интервалах изменений факторов - продолжительность аэрации $/t/$ от 15 до 25 мин и интенсивность аэрации $/j/$ от 40 до 80 м³/ (м².ч) - по приведенным формулам могут быть подсчитаны эффекты очистки лавёрных вод по ХПК, сульфидам и свободному диоксиду углерода или для заданного эффекта очистки воды определены продолжительность и интенсивность аэрации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пархомец А.П., Сорокин А.И. Исследование состава лавёрных вод на сахарных заводах //Сахарная промышленность, 1973, № 2 - С.43-47.
2. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология очистки воды. - К.: Наукова думка, 1971.-495с.

3. Кастальский А.А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки. - М.: Госстройиздат, 1957. - 147с.

4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1971. - 279с.

5. Рузинов Л.П. Статистические методы оптимизации химических процессов. - М.:Химия, 1972. - 200 с.