

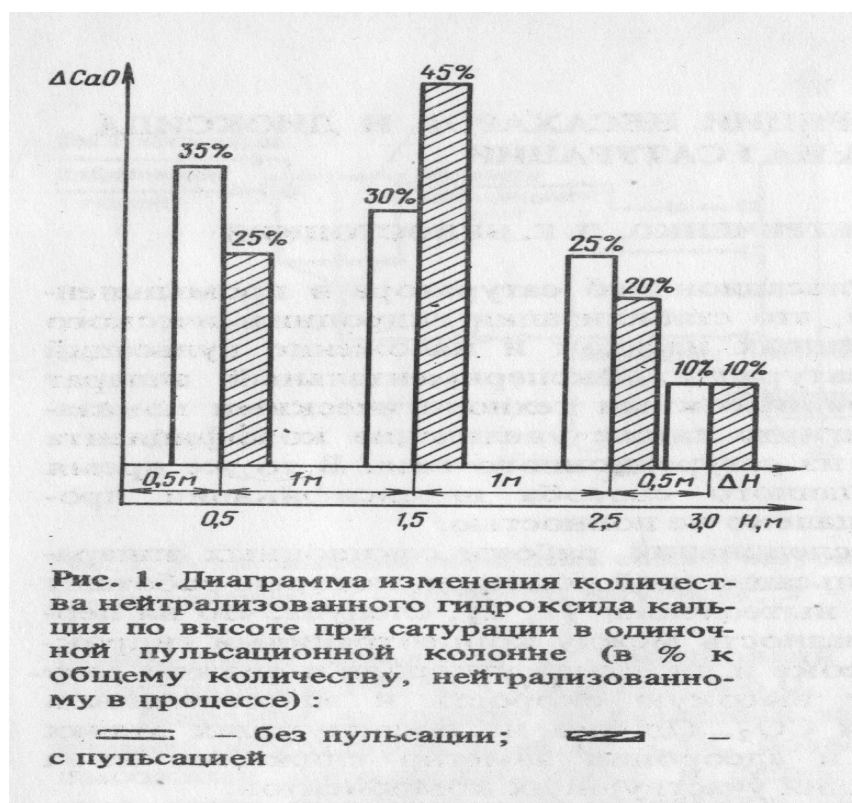
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТА СОРБЦИИ НЕСАХАРОВ И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА I САТУРАЦИИ

К. Д. СКОРИК, И. Б. ПЕТРИЧЕНКО, Л. Г. БЕЛОСТОЦКИЙ

В результате испытаний пульсационного сатуратора в промышленных условиях [1] установлено, что стабилизация гидродинамического режима с помощью массообменных насадок и наложение пульсаций интенсифицируют процессе I сатурации. Экспериментальный аппарат позволил получать сок с более высокими технологическими показателями, чем у типового. Достигнуто также увеличение коэффициента утилизации диоксида углерода из сатурационного газа. В то же время потенциальные возможности данного способа интенсификации процесса I сатурации использованы далеко не полностью.

Из анализа результатов исследований работы секционных аппаратов I сатурации и одиночной пульсационной колонки, которые работают в режиме, близком к полному вытеснению [1, 2], следует, что на первом этапе сатурации большая разность между концентрациями гидроксида кальция в дефектованном соке и диоксида углерода в свежем сатурационном газе обуславливает высокую скорость и эффективность процессов сорбции несахаров и CO_2 . Однако на последующих этапах процесса скорость абсорбции и адсорбции заметно снижается из-за уменьшения разности концентраций участвующих компонентов.

На рис. 1 представлено распределение количества нейтрализованного гидроксида кальция на участках одиночной пульсационной колонны для двух режимов работы: с пульсацией сокогазовой смеси и без нее. На первых 0,5 м высоты колонны (H) нейтрализуется около **25 %** CaO с помощью пульсаций и около 35 % от общего количества без пульсаций. На следующем метре высоты картина резко меняется. Пульсация позволяет нейтрализовать до 45% CaO , а при ее отсутствии нейтрализуется только 30 %.



Как известно, в процессе сатурации вязкость системы заметно повышается и достигает максимума в области минимальной щелочности фильтрата. Рост вязкости также приводит к снижению скорости сорбционных процессов. Наложение пульсаций на втором этапе позволяет быстрее провести разрушение образовавшихся углекальциевых сахаратов, чем и можно объяснить соотношение количеств нейтрализованного CaO. На последующих этапах различия двух режимов незначительны: на участке от 1,5 до 2,5 м высоты аппарата нейтрализуется соответственно 20 и 25 % CaO, а на последних 0,5 м — по 10 %, что объясняется демпфированием пульсационного импульса по высоте колонны.

Учитывая это, была проведена модернизация установки – смонтирована дополнительная секция для проведения начального этапа I сатурации. Кроме того, установлен дозатор сока основной дефекации для регулирования и стабилизации расхода сока на экспериментальный сатуратор.

Методика расчета дозатора заключается в следующем.

Расход Q при истечении из малых отверстий в тонкой стенке при постоянном напоре [3]

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент расхода;

ω – площадь отверстия;

g – ускорение силы тяжести;

H – геометрический напор.

$$\mu = \epsilon \cdot \varphi \quad (2)$$

где ϵ – коэффициент сжатия струи,

φ – коэффициент сопротивления.

Обычно при истечении воды из малых отверстий в тонкой стенке принимают такие средние значения коэффициентов: $\varphi = 0,97$; $\epsilon = 0,64$; тогда по формуле (2) $\mu = 0,62$.

Площадь отверстий насадки определяем по формуле (1) при различных значениях геометрического напора H , приемлемых по конструктивным соображениям:

$$\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH}} \quad (3)$$

Результаты расчета по формуле (3) нескольких вариантов при максимальном расходе сока $4 \text{ м}^3/\text{ч}$ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры	Геометрический набор			
	0,5	0,4	0,3	0,2
Площадь отверстия, см ²	5,72	6,40	7,39	9,05
Диаметр отверстия, см	2,70	2,85	3,07	3,40

Поскольку резервуар дозатора необходимо было поместить в существующий сборник, то из табл. 1 выбрано значение геометрического напора $0,3 \text{ м}$.

По результатам расчета дозатор был смонтирован на Яготинском сахарном заводе им. Ильича. Испытания экспериментальной установки сатуратора утвердили правильность расчета дозатора и хорошую работоспособность

установки. Отсутствие застойных зон в дозаторе исключило залом трубопроводов, а система подачи сока основной дефекации обеспечила стабильный расход с возможностью плавной регулировки в пределах от 0 до 4 м³/ч.

Экспериментальная установка (рис. 2) работает следующим образом.

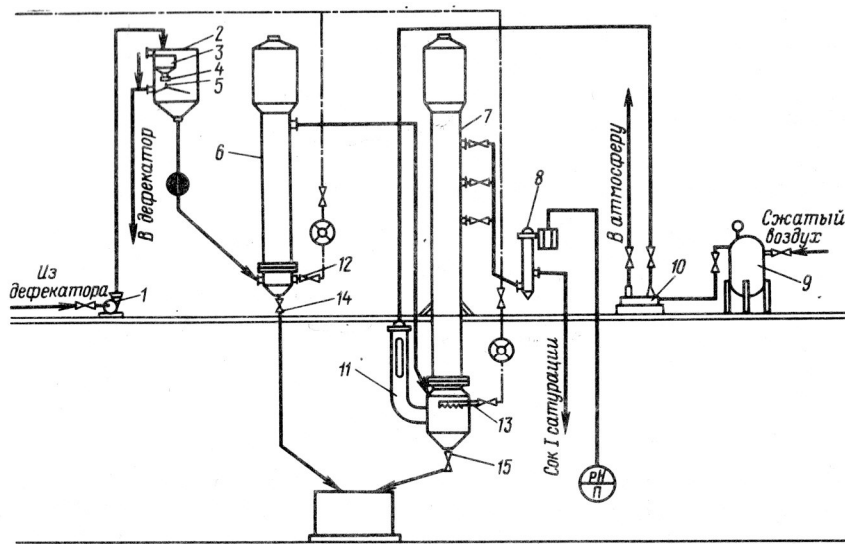


Рис. 2. Технологическая схема экспериментальной установки:

1 – насос для очистки дефекованного сока; 2 – сборник-дозатор; 3 – буферная емкость; 4 – форсунки; 5 – делитель; 6 – первая секция; 7 – вторая секция; 8 – проточный датчик pH-метра; 9 – ресивер; 10 – пульсатор; 11 – пульсационная камера; 12, 13 – патрубки для подвода сатурационного газа в первую и вторую секции; 14, 15 – патрубки для продувки

Дефекованный сок насосом подается в буферную емкость сборника-дозатора. Из емкости через насадку, имеющую в торце форму вытянутого прямоугольника, сок поступает в виде плоской струи на управляемый делитель (заслонку). Одна часть сока по наклонной плоскости поступает на экспериментальную установку, другая – в дефектор. Уровень сока в емкости всегда постоянный, что позволяет обеспечить и постоянный расход сока на установку. В первой секции сок обрабатывается сатурационным газом, поднимается вверх по колонне и поступает во вторую секцию (пульсационную колонну). Для лучшего контакта между соком и газом в нижней части первой секции установлен массообменный элемент – диск с перфорацией. В пульсационной колонне сок обрабатывается до оптимальных значений pH и щелочности и через проточный датчик pH-метра поступает в контрольный ящик.

Расход дефектованного сока на установку контролируется индукционным расходомером, а газа – газовым счетчиком типа РГ-40. Контроль рН сока на выходе из установки осуществлялся при помощи промышленного рН-метра типа рН-261И. Работа пневматической системы наложения пульсаций подробно описана в литературе [1].

В процессе испытаний определялись следующие показатели: коэффициент утилизации диоксида углерода из сатурационного газа в первой и второй секциях; доброкачественность, цветность и содержание солей кальция в заводском соке II сатурации и в соке после экспериментальной установки, доведенном до II сатурации; эффект очистки сока; изменение рН и щелочности фильтрованного и нефильтрованного соков по высоте секций; скорость отстаивания и объем осадка сока I сатурации и некоторые другие показатели.

Коэффициенты утилизации диоксида углерода K из сатурационного газа для первой и второй секций определяли по формуле

$$K_i = \frac{10^4(X - Y)}{X(100 - Y)}, \quad (4)$$

где X – объемная доля диоксида углерода в сатурационном газе, %;

Y – объемная доля диоксида углерода в отработавшем газе, %.

Объемные доли диоксида углерода измеряли газоанализатором типа ГХП – 3М после охлаждения и очистки проб газа.

Результаты измерений приведены в табл. 2.

Математическая обработка серий измерений выполнена по критерию Романовского. В серии измерений коэффициента утилизации $K_1^{(l)}$, $K_2^{(l)}$, $K_3^{(l)}$, ..., $K_6^{(l)}$ для первой секции определяем промахи (грубые погрешности). При этом один или несколько результатов, которые кажутся сомнительными (нарушают общую закономерность ряда), отбрасывают.

Таблица 2

Объемная доля CO ₂ в сатурацион- ном газе, %	Секции сатуратора				Примечания
	Первая		Вторая (пульсационная колонна)		
	Объемная доля CO ₂ в отработав- шем газе, %	Коэффи- циент утилиза- ции $K_i^{(I)}$, %	Объемная доля CO ₂ в отработав- шем газе, %	Коэффи- циент утилиза- ции $K_i^{(II)}$, %	
28,2	3,2	91,6	4,2	88,8	При амплитуде пульсаций в пульскамере $A = 75 \pm 25$ мм
27,2	5,3	85,0	3,0	91,7	
25,8	4,6	86,1	3,4	89,9	
26,0	4,8	85,7	3,2	90,6	
28,4	4,6	87,8	3,2	91,7	
28,4	4,8	87,3	3,0	91,4	

Например, $K_1^{(I)} = 91,6$. Для остальных результатов измерений $K_2^{(I)}, K_3^{(I)}, \dots, K_6^{(I)}$ находится среднее арифметическое по формуле

$$\bar{K}^{(I)} = \frac{\sum_i^{n-j} K_i^{(I)}}{(n-I)},$$

где j – число отброшенных результатов.

$$\bar{K}^{(I)} = \frac{\sum_i^{6-1} K_i^{(I)}}{(6-I)} = 86,4$$

Затем определяется среднее квадратическое отклонение для $(n-j)$ измерений по формуле

$$S' = \sqrt{\frac{\sum_i^{n-j} (K_i^{(I)} - \bar{K}^{(I)})^2}{(n-j)-1}}.$$

В нашем случае $S' = 1,152$.

Определяем допустимое значение интервала ϵ^* по формуле

$$\epsilon^* = S't'.$$

Величину t' – критерия берут из таблицы при $P_k = 0,05$ и $n = 5$; для отброшенного измерения вычисляем отклонение от среднего:

$$K_1^{(I)} - \bar{K}_2^{(I)} = 91,6 - 86,4 = 5,2.$$

Сопоставляем отклонение результата $(K_1^{(I)} - \bar{K}_2^{(I)})$ от ϵ^* . Если $(K_1^{(I)} - \bar{K}_2^{(I)}) \in \epsilon^*$, то он подлежит исключению из ряда измерений. В рассматриваемом случае имеем:

$$\epsilon^* = 1,152 \cdot 3,041 = 3,50 \text{ и } 5,2 > 3,50,$$

поэтому результат $K_1^{(I)} = 91,6$ следует отбросить.

Для нового ряда $m = n - 1$ вычисляем среднее арифметическое $\bar{K}_1^{(I)} = 86,4$ и среднее квадратическое отклонение для m измерений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_i^m (K_i^{(I)} - \bar{K}^{(I)})^2}{m-1}}; \quad S = 1,152.$$

Вычисляем оценку среднего квадратического отклонения результата измерений

$$S(\bar{K}^{(I)}) = \frac{S}{\sqrt{m}} = \frac{1,152}{\sqrt{5}} = 0,515.$$

Доверительные границы случайной погрешности результата измерений определяют по формуле

$$\epsilon = S(\bar{K}^{(I)})_{t_c} = 0,515 \cdot 2,78 = 1,4.$$

при $P = 0,95$, $m = 5$ и $t_c = 2,78$ (критерий Стьюдента).

Таким образом, коэффициент утилизации диоксида углерода из сатурационного газа в первой секции $K^{(I)} = 86,4 \pm 1,4 \%$; для второй секции по данной методике получено значение $K^{(II)} = 90,7 \pm 1,2 \%$.

Таким образом, можно утверждать, что в 95 случаях из 100 значения средней величины совокупности будут находиться в пределах:

$$85,0 \leq \bar{K}^{(I)} \leq 87,8 - \text{для первой секции};$$

$89,5 \leq \bar{K}^{(II)} \leq 91,9$ – для второй секции.

В среднем по установке получен коэффициент утилизации диоксида углерода 88,5 %, что выше на 15 – 18 %, чем коэффициент утилизации для заводского аппарата.

Результаты сравнительных испытаний экспериментальной установки и заводского аппарата приведены в табл. 3. Высокие значения доброкачественности сока связаны с тем, что в период испытаний перерабатывалась мытая свекла хорошего качества из опытных кагатов.

Повышение доброкачественности очищенного сока после экспериментальной установки в разных опытах составило от 0,5 до 1,4 ед.; а в среднем 0,8 ед. Содержание солей кальция было ниже на 30 – 45 %. Эффект очистки сока повысился на 5 – 10 %.

В процессе испытаний определена также удельная производительность сатураторов, которая выражена в м³/ч обрабатываемого сока на 1 м³ полезного объема аппарата. Для экспериментальной установки она составила 6,8 м³/ч на 1 м³ объема, а для заводского сатуратора – 4,6 м³/ч на 1 м³ объема.

Удельная производительность установки при стабильной работе на 45 – 50 % выше, чем у заводского аппарата I сатурации.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Секционирование полезного объема аппарата, применение массообменных элементов в сочетании с пульсацией соко-газовой смеси на конечной стадии процесса заметно повышают технологические показатели работы экспериментального сатуратора по сравнению с заводским. Проведение процесса в двух секциях позволяет существенно (не менее чем в 2 раза) уменьшить расход сатурационного газа на вторую секцию (пульсационную колонну) и тем самым повысить эффективность действия пульсации, поскольку газосодержание смеси снижается и затухание импульсов по высоте становится меньше. Применение данного метода позволит повысить производительность аппаратов I сатурации и эффективность работы станции очистки сока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Испытания пульсационного аппарата I сатурации/ [К. Д. Скорик, Л. Г. Белостоцкий, Я. О. Кравец и др.]. – Сахарная промышленность. 1980, № 9, с. 26-30.
2. Способы и устройства для проведения I сатурации / [Л. П. Рева, В. М. Логвин, В.А.Шестаковский, З. И. Логвин]. - ЦНИИТЭИпищепром. – М., 1977, 47 с.
3. Справочник по гидравлике /под ред. В. А. Большакова. – Киев: Выща школа, 1977.