

УДК 66.069.82

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДИСПЕРГАТОРА НА ПРОЦЕСС САТУРАЦИИ НАПИТКОВ

Гладкая А.Д., канд. техн. наук, доцент, Антропова Л.Н., канд. техн. наук, доцент, Васильева Е.А., канд. техн. наук, доцент, Датьков В.П., канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный университет экономики и торговли имени М.Туган-Барановского, г. Донецк

Исследован гидродинамический диспергатор с различными формами отражающих поверхностей. Получены данные об эффективности форм отражателей, а также изучено влияние расстояния между соплом и отражателем на суммарный импульс, переданный газожидкостной струей отражающей поверхностью.

Studied the hydrodynamic disperser with various forms of reflective surfaces. The data on the effectiveness of forms of reflectors, and studied the effect of the distance between the nozzle and reflector on the total momentum transferred to the gas-liquid jet of the reflecting surface.

Ключевые слова: гидродинамический диспергатор, процесс сатурации.

Концентрация растворенного диоксида углерода в напитке согласно требованиям ДСТУ 2368:2004 должна быть не менее (0,5±0,8) % по массе. В реальных условиях, после снятия давления, в результате дегазации, этот показатель не превышает (0,2...0,3) % по массе. В этой связи данная проблема требует решения.

Известно, что содержание диоксида углерода в воде после снятия давления зависит от режимных параметров процесса, характера контакта газа с жидкостью и скорости их взаимного перемешивания.

Рекомендации о ведении процесса сатурации в условиях практически достижимого давления или низких температур не являются рациональными, так как увеличение давления ведет к усложнению аппаратуры и дополнительному расходу диоксида углерода за счет дегазации напитка при его выдаче.

Известно, что эффективность процесса зависит от поверхности контакта фаз и продолжительности процесса насыщения.

Согласно теории Нернста, в слое жидкости, контактирующей с газом, всегда возникает насыщенный раствор и количество вещества, переходящего из одной фазы в другую, определяется из выражения [1]

$$M = D \frac{F \tau (c_2 - c_1)}{\delta} \quad (1)$$

где M — количество вещества, переходящего из одной фазы в другую, кг;

D — коэффициент молекулярной диффузии, м²/с;

c_2 — концентрация насыщенного раствора, кг/м³;

c_1 — начальная концентрация раствора, кг/м³;

F — поверхность соприкосновения фаз, м²;

τ — время контакта, с; δ — толщина диффузионного слоя, м.

Перенос вещества через диффузионную область характеризуется числом Пекле

$$Pe = \frac{V \cdot \delta}{D} \quad (2)$$

где V — скорость течения жидкости, м/с; D — коэффициент диффузии, м²/с;

δ — толщина диффузионного граничного слоя, м.

Из выражений 1,2 видно, что при прочих равных условиях эффективное воздействие на скорость процесса сатурации оказывает величина диффузионного граничного слоя.

По данным работ [2-4] при турбулентных режимах, наряду с общим движением потока, возникают пульсации частиц, подводящие к поверхности раздела фаз свежую жидкость (каждый элемент поверхности жидкости взаимодействует с газом в течение некоторого времени). Именно вновь образующая пове-

рхность играет решающую роль в процессе диффузии, а скорость процесса уменьшается с уменьшением периода обновления поверхности. В этой связи, на практике, для интенсификации процесса насыщения стремятся создать условия, при которых газожидкостная смесь интенсивно перемешивается, с целью увеличения периода обновления поверхности контакта фаз.

Известно, что использование гидродинамических акустических устройств, за счет диспергирования газожидкостной смеси, увеличения межфазной удельной поверхности и уменьшения величины диффузионного граничного слоя, способствует увеличению концентрации диоксида углерода в воде до $(0,6 \div 0,8) \%$ по массе. [5].

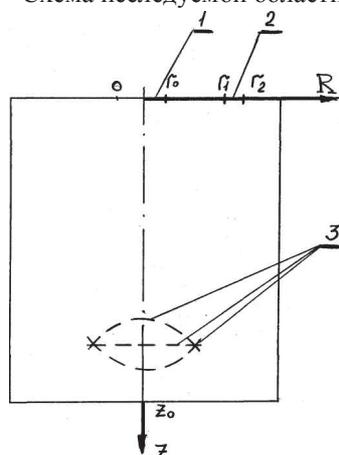
На наш взгляд данное утверждение нуждается в дальнейшем изучении, в связи с противоречивостью данных о рациональности конструкций диспергатора.

Цель работы – исследование интенсивности массообменных процессов в смесительной камере сатуратора в зависимости от конструктивных параметров гидродинамического диспергатора.

В качестве диспергатора использован стержневой гидродинамический источник колебаний с отражающей поверхностью.

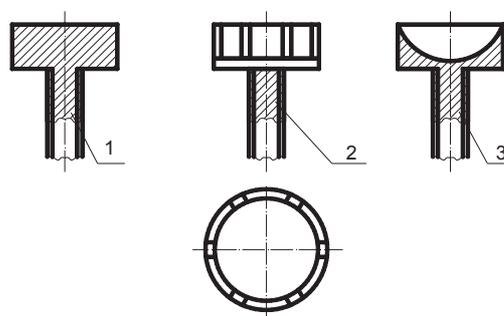
Влияние формы отражающей поверхности и конструктивных параметров гидродинамического диспергатора на интенсивность процесса сатурации напитков изучено путем численного решения задачи о течении, индуцированном газожидкостной струей в цилиндрической области, заполненной газовой жидкой смесью и подтверждено экспериментальными исследованиями.

Схема исследуемой области приведена на рис. 1.



1 – входное отверстие; 2 – выходное отверстие;
3 – отражающая поверхность гидродинамического диспергатора.

Рис. 1 – Схема исследуемой зоны



1 – плоский;
2 – с пазами и плоской центральной частью;
3 – сферический вогнутый.

Рис. 2 – Сменные отражатели

Значения основных параметров, используемых при расчетах, приведены в таблице 1. Расчеты выполнялись с помощью ПЭВМ на разностной сетке 21×21 узел.

Таблица 1 – Значения основных геометрических и физических параметров

Наименование	Обозначение	Значение параметров
Высота камеры, м	z_0	$(0 \dots 1) \cdot 10^{-1}$
Радиус камеры, м	R	$(0 \dots 4) \cdot 10^{-2}$
Скорость газожидкостной смеси на входе, м/с	V_m	$(0 \dots 25)$
Диаметр газовых пузырьков, м	d_0	не более $1 \cdot 10^{-4}$
Кинематический коэффициент вязкости, м ² /с	ν	$(0,57 \dots 1,006) \cdot 10^{-6}$
Радиус входного отверстия, м	r	$1 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент искусственной вязкости, м ² /с	ν_x	$1 \cdot 10^{-9}$

Отражатели, с которыми проводились исследования, представлены на рис. 2.

Известно, что при натекании газожидкостной струи на непроницаемую преграду происходит дробление пузырьков, причем этот процесс протекает тем интенсивнее, чем больше суммарный импульс струи [6].

Для выбора формы отражающей поверхности нами произведен расчет импульса затопленной струи, приходящийся на вогнутую, выпуклую и плоскую поверхности.

Результаты расчета приведены на рис. 3.

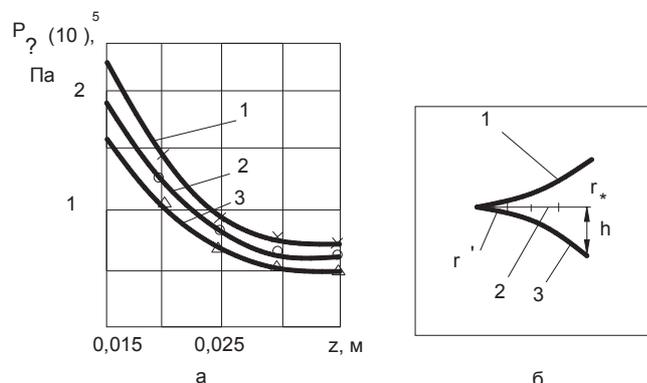
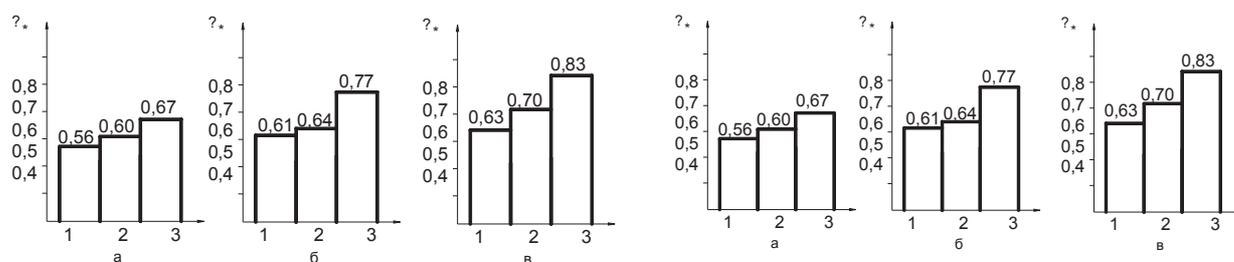


Рис. 3 – Суммарный импульс, приходящийся на отражающие поверхности:
а) 1 – вогнутая, 2 – плоская, 3 – выпуклая;
б) схема отражающих поверхностей $r^* = 0,005$ м, $h = 0,0025$ м.

Из приведенных на рисунке 3 данных следует, что для всех рассмотренных расстояний, от входного отверстия до отражающей поверхности, вогнутая сферическая поверхность получает максимальный импульс, а выпуклая – минимальный. Результаты, полученные для плоской поверхности, занимают промежуточные значения. С увеличением расстояния от входного отверстия до отражающей поверхности убывает как значение суммарного импульса, так и разница между суммарными импульсами, приходящимися на различные поверхности.

Результаты численного эксперимента подтверждены данными, полученными при экспериментальном изучении рациональности форм отражателей гидродинамического диспергатора при использовании его для интенсификации процесса сатурации в диапазоне давлений, обусловленных ДСТУ 2368:2004 Результаты исследований приведены на рис. 4.

На оси абсцисс отложен номер формы отражателя (рисунок 2), на оси ординат – величина коэффициента насыщения.



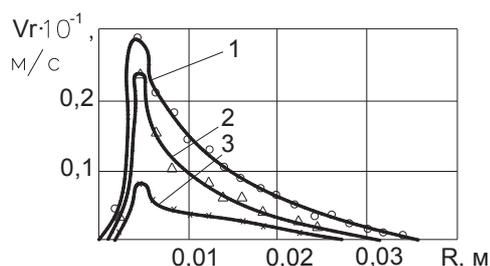
а) гидродинамическое устройство без резонаторов;
б) гидродинамическое устройство с консольным креплением резонаторов;
в) гидродинамическое устройство с двухсторонним креплением резонаторов;
1 – отражатель плоский; 2 – отражатель пазовый; 3 – отражатель вогнутый.

Рис. 4 – Данные о влиянии формы отражающей поверхности на степень насыщения напитка

Из вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности использования в качестве диспергатора гидродинамического стержневого устройства с двусторонним креплением резонирующих пластин и вогнутой формой отражающей поверхности.

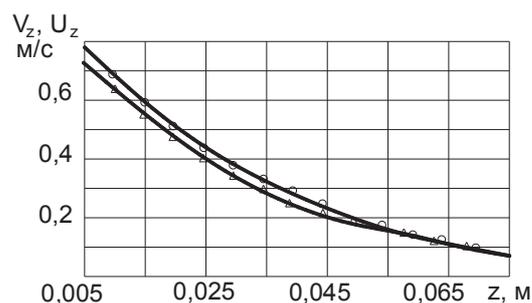
Для определения глубины погружения отражающей поверхности, методом численного эксперимента, получены данные о изменении радиальной и продольной составляющих вектора скорости струи газожидкостной смеси.

Распределение радиальной составляющей вектора скорости для ряда горизонтальных сечений камеры приведены на рис. 5.



1 – $Z = 0,025$ м; 2 – $Z = 0,05$ м; 3 – $Z = 0,075$ м.

Рис. 5 – Распределение радиальной составляющей среднеобъемной скорости несущей фазы



1 – несущая фаза; 2 – дисперсная фаза.

Рис. 6 – Изменение значения продольной составляющей вектора скорости фаз от вертикальной координаты

Как видно из рисунка 5, с увеличением глубины проникновения газожидкостной струи, радиальная составляющая вектора скорости уменьшается, что ограничивает допустимую глубину погружения отражающей поверхности гидродинамического ультразвукового излучателя относительно сопла.

Изменение продольной составляющей вектора скорости фаз от вертикальной координаты приведены на рис. 6.

Анализ рис. 6 позволил сделать вывод, что продольная составляющая вектора скорости фаз на глубине 0,07 м практически приближается к нулю, что ограничивает высоту смесительной камеры, при принятых режимных параметрах сатуратора.

Выводы

Резюмируя результаты приведенных исследований, сделан вывод, что в сатураторах с гидродинамическим ультразвуковым излучателем для увеличения дисперсности газожидкостной смеси необходимо использовать вогнутые отражающие поверхности, углубленные на расстояние не более 0,025 м от сопла. Рабочая глубина камеры смешивания не должна превышать 0,07 м.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке конструкций малогабаритных смесительных камер сатураторов с гидродинамическим диспергатором.

Литература

1. Стин Д.П. Газированные безалкогольные напитки: рецепты и производство /Д.П.Стин, Ф.Р.Эшхерст (ред). – СПб.: Прфессия, 2008. –416с.
2. [dic.academic.ru/dic.nsf/enc.../Диффузионные процессы](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc.../Диффузионные_процессы)
3. [ru.wikipedia.org/wiki/Диффузионный слой](http://ru.wikipedia.org/wiki/Диффузионный_слой)
4. Заяц Ю.А. Анализ массообмена в колонных аппаратах на основе модели обновления поверхности контакта фаз /Ю.А.Заяц, В.М.Таран //Изв.вузов. Пищ.технология.-187.-№1.-С.75-78.
5. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике /Л.Бергман. – 2-е изд. –М.: Иностран.лит.,1957.-726с.
6. Савченко Ю.Н. Течение мелкодисперсной среды с произвольным количеством компонента / Ю.Н. Савченко //Аэродинамика в технологических процессах. –М., 1981. – С.162-166.