

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ДИСК С КАНАЛАМИ

Проточные гидродинамические (статические) смесители (ПГС) представляют собой смесители, неподвижно установленные в трубопроводах или циркуляционных контурах и использующие энергию технологических потоков. Данные смесители наиболее эффективны для приготовления эмульсий и растворов [1].

Распространенными элементами в конструкциях статических смесителей являются перегородки с отверстиями и каналами. Перегородка с отверстиями может быть выполнена в форме диска, в котором имеются каналы для прохождения жидкости. Каналы обычно равномерно распределены на рабочей поверхности диска и могут иметь различные формы и размеры.

При прохождении жидкости через каналы в перегородке в потоке жидкости возникают развитая турбулентность, отрывные течения и кавитация. Данные эффекты воздействуют на частицы жидкости и способствуют их интенсивному дроблению и гомогенизации, срыву пограничных слоев на частицах.

Степень развития турбулентности характеризуется числом Рейнольдса (Re), а степень развития кавитации характеризуется гидродинамическим числом кавитации (C). Эти параметры определяются по формулам: $Re = v_{\text{вых}} d \rho / \mu$; $C = (P_{\text{вых}} - P_{\text{нас. пара}}) / (\rho (v_{\text{вых}}^2 / 2))$, где d – определяющий размер каналов; μ – коэффициент вязкости; $P_{\text{вых}}$ – давление на выходе из канала; $P_{\text{нас. пара}}$ – давление насыщенных водяных паров при температуре 25 °С ($P_{\text{нас. пара}} = 3167$ Па); $v_{\text{вых}}$ – скорость потока жидкости на выходе из канала.

Нами проведены исследования для определения зависимостей течения потока жидкости в каналах цилиндрической формы различного диаметра, выполненных в диске диаметром 70 мм, установленном в трубе. Диаметр каналов равен 2 мм, каналы равномерно распределены по торцевой поверхности диска.

Компьютерное моделирование течения потока жидкости в трубе через диск с каналами выявило локальные максимумы числа кавитации (C) на интервале скорости течения жидкости в каналах диска при

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ГОУ ВПО ТГТУ М.А. Промтова.

$v = 20 \dots 27$ м/с. Компьютерное моделирование проводили с применением программы ANSYS CFX. Пример графического моделирования течения потока жидкости в трубе через диск с каналами показан на рис. 1.

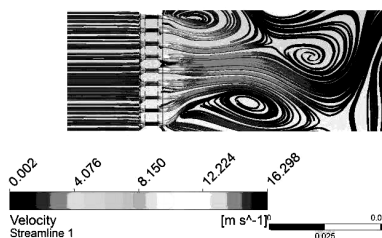


Рис. 1. Линии тока при течении жидкости в трубе с перфорированным диском

Отношение длины канала (l) к диаметру канала (d) $\frac{l}{d} < 1$, т.е. течение в каналах диска можно было принимать установившимся. В результате расчетов было установлено, что с уменьшением диаметра канала увеличивается локальный максимум числа кавитации в зависимости от скорости течения (рис. 2). Можно предположить, что чем меньше диаметр канала, тем больше влияют на течение жидкости пристеночные эффекты и вихреобразование, вследствие которых повышается давление на выходе из канала. Происходит выравнивание перепада давления между значениями на входе и выходе из канала $P_{\text{вх}} / P_{\text{вых}} \approx 1/3$.

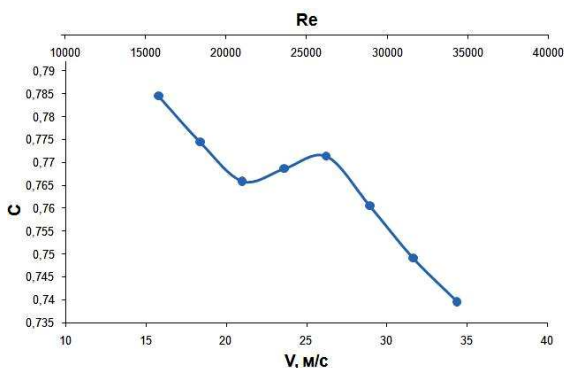


Рис. 2. График расчетной зависимости числа кавитации (C) от скорости течения жидкости в канале (v) и числа Рейнольдса (Re) для диска с каналами цилиндрической формы (57 каналов диаметром 2 мм)

Экспериментальные исследования кавитации при течении жидкости через диск с каналами производились на специально разработанной экспериментальной установке.

Интенсивность кавитации измерялась кавитометром, датчик которого вводили в корпус трубы на выходе потока жидкости из каналов в диске.

Полученные зависимости интенсивности кавитации (I) от скорости (v) подтверждают расчетные данные (рис. 3), полученные путем моделирования течения потока жидкости через каналы диска, установленного в трубе, в программе ANSYS CFX.

Выполнено экспериментальное исследование эффективности приготовления эмульсии «вода – растительное масло» при ее течение через диск с каналами. Эмульсия вода/подсолнечное масло смешивалась в соотношении 20% растительного масла на 80 % воды по объему, при температуре 25 °С. В качестве параметра, характеризующего эффективность процесса эмульгирования в проточном гидродинамическом смесителе, использовалась зависимость расслоения полученной эмульсии от времени.

В трубу устанавливали диск с каналами и прокачивали эмульсию «вода – растительное масло» (20% растительное масло, 80% воды) с определенным количеством циклов. Затем эмульсию сливали и отбирали пробу объемом 100 мл для анализа на расслоение. Графики зависимостей расслоения эмульсии при различных расходах через диск с 57 отверстиями диаметром 2 мм показаны на рис. 4.

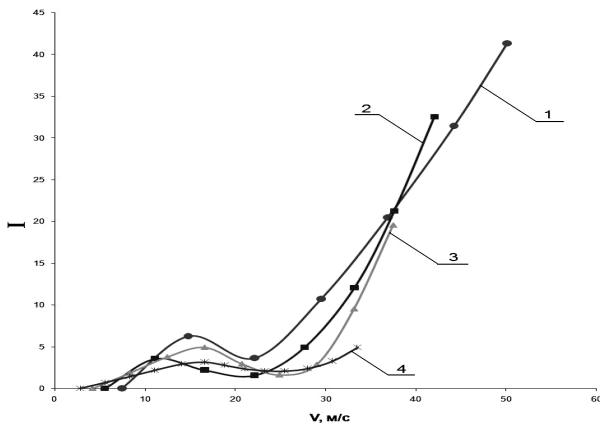


Рис. 3. Графики зависимостей интенсивности кавитации I от скорости течения жидкости в каналах v :

1 – диск с 1 каналом ($S = 0,0001884 \text{ м}^2$); 2 – диск с 5 каналами ($S = 0,0003768 \text{ м}^2$); 3 – диск с 36 каналами ($S = 0,0002512 \text{ м}^2$); 4 – диск с 57 каналами ($S = 0,0005024 \text{ м}^2$)

Для анализа эффективности процесса эмульгирования в качестве параметра, характеризующего стойкость эмульсии (качество эмульсии) был выбран коэффициент скорости расслоения эмульсии (κ), равный тангенсу угла наклона прямого участка графика зависимости степени расслоения эмульсии к оси абсцисс ($\text{tg}\alpha$) (рис. 4).

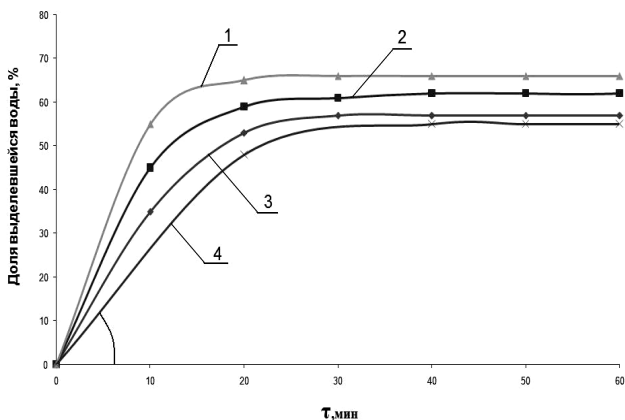


Рис. 4. График зависимости объема выделившейся воды от времени при расслоении эмульсии:

1 – $Q = 9 \text{ м}^3/\text{ч}$; 2 – $Q = 12 \text{ м}^3/\text{ч}$; 3 – $Q = 15 \text{ м}^3/\text{ч}$; 4 – $Q = 18 \text{ м}^3/\text{ч}$.

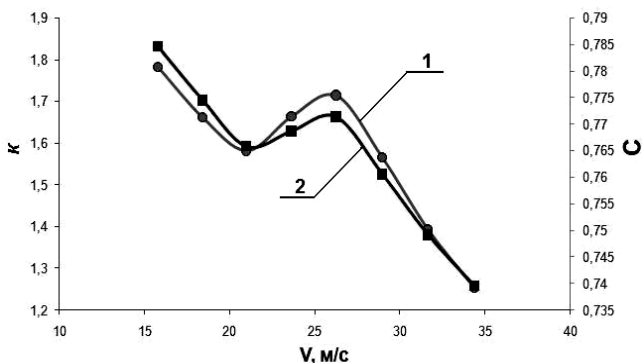


Рис. 5. Графики зависимости:

1 – коэффициента скорости расслоения эмульсии

κ от скорости v для диска с каналами (экспериментальные данные);

2 – числа кавитации C от скорости v для диска с каналами (расчетные данные)

На основании анализа графиков, показанных на рис. 5, можно сделать вывод, что экспериментальные зависимости коэффициента скорости расслоения эмульсии «вода – растительное масло» от скорости течения потока жидкости в каналах диска подтверждают расчетные зависимости числа кавитации от скорости потока жидкости в каналах диска, полученные путем моделирования течения потока жидкости в ANSYS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданов, В.В. Эффективные малообъемные смесители / В.В. Богданов, Е.И. Христофоров, Б.А. Клоцунг. – Л. : Химия, 1989. – 224 с.

Кафедра «Техносферная безопасность» ГОУ ВПО ТГТУ