

Рисунок 2 – Изменение ВЭТТ разных вариантов насадки (обозначения соответствуют рисунку 1)

Исследования показали, что эффективность массопередачи возрастает с увеличением количества ячеек. Сравнивая эти показатели можно сказать, что для насадки 3-12 оно выше на 1,98% 3-120, на 3,45% 3-17 и на 18,33% 3-22. С уменьшением геометрических размеров ячеек насадки повышается гидравлическое сопротивление. Для орошаемой насадки 3-12 оно выше на 7,14% 3-120, на 26,78% 3-17 и на 44,64% 3-22. Наименьшую высоту эквивалентную теоретической тарелке, при которой достигается максимальная эффективность процесса десорбции имеет 3-12, которая ниже на 0,012 м 3-120, на 0,015 м 3-17 и на 0,112 м 3-22.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Е. Вайтехович, Д. Ю. Мытько Сравнительный анализ эффективности регулярных насадок для массообменных аппаратов // Труды БГТУ. 2020. № 2: Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. С. 44–49.

2. Д. Ю. Мытько, П. Е. Вайтехович Гидравлическое сопротивление регулярных насадок массообменных аппаратов // Вестник Полоцкого государственного университета. 2020. № 8: Строительство. Прикладные науки. С. 33–38.

УДК 66.02

О.А. Петров, доц., канд. техн. наук;
В.И. Козловский, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ КАВИТАЦИОННЫХ ЭМУЛЬГАТОРОВ

Получение жидко-дисперсных сред является одним из основных этапов в ряде технологических процессов химических и смежных производств (нефтехимические, фармацевтические, лакокрасочные, пищевые и др.) [1]. В некоторых технологиях процессы гидродинамической обработки относительно длительны, энергоемки и требуют интенсифи-

кации. Снижение энерго- и материалоемкости оборудования при достижении требуемой эффективности может быть достигнуто путем использования нетрадиционных технологий, основанных на различных физических явлениях. Особое значение при этом имеет использование кавитации, как одного из наиболее простых и доступных способов гидродинамической обработки материалов. Наиболее значительный эффект может быть достигнут при использовании явления суперкавитации, т. е. создания кавитационных полостей (суперкаверн), замыкающихся за пределами рабочих органов без их кавитационного разрушения. Основное кавитационное разрушающее воздействие возникает благодаря полю схлопывающихся кавитационных пузырьков, генерируемых в большей мере за суперкаверной. Совокупность их микровзрывов при местном изменении давления в потоке жидкости приводит к разрушению частиц обрабатываемого материала, попадающих в область этих микровзрывов. При этом удельные затраты энергии могут быть гораздо ниже по сравнению с традиционно зарекомендовавшим себя оборудованием (аппараты с мешалками, дисковые мельницы, роторно-пульсационные аппараты).

Ранее нами были экспериментально исследованы некоторые конструкции статических суперкавитирующих аппаратов (СК-аппараты), как относительно простых и эффективных для целого ряда технологических процессов, одним из которых является эмульгирование. Кроме того, они также могут быть успешно использованы в совокупности с другими устройствами, в том числе и с прочими конструкциями СК-аппаратов (динамическими, струйными, ультразвуковыми и др.).

В качестве базовой модельной среды была выбрана водомасляная эмульсия, по причине ее доступности и распространенности. Такие эмульсии применяются в качестве смазочно-охлаждающих технических средств, рабочих жидкостей в гидроприводах, используются в фармацевтике, косметологии и др. В зависимости от свойств и назначения, применяются эмульсии двух типов: прямые – М/В, когда масло (дисперсная фаза), раздроблено в виде отдельных мелких капель в воде (дисперсионной фазе) и обратные – В/М (рис. 1). В результате ранее проведенных экспериментальных исследований были получены полустабильные прямые эмульсии различных концентраций без использования эмульгаторов. Причем, при этом был использован статический СК-аппарат, взятый в дальнейшем за базовый вариант при компьютерном моделировании.

Моделирование проводилось в пакете «Flow Simulation» известного программного комплекса систем автоматизированного проектирования «SOLIDWORKS» для моделирования гидродинамики, где применен метод конечных объемов, при формулировке которого используется физическая интерпретация исследуемых величин.

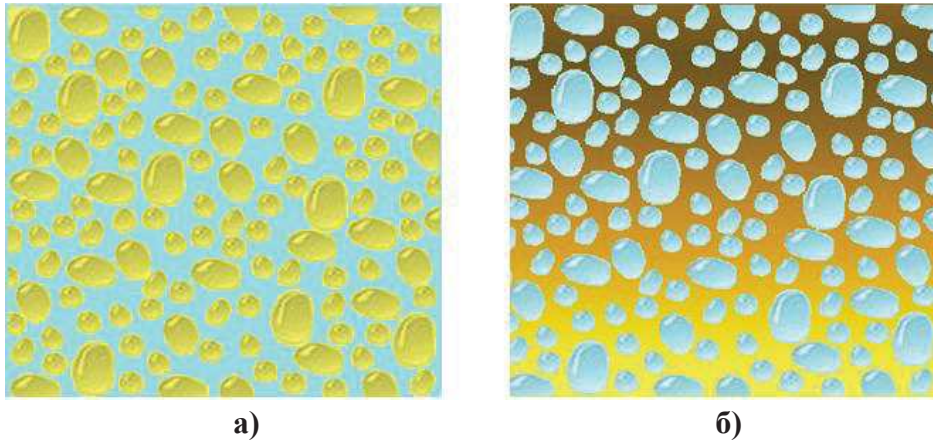


Рисунок 1 – Типы эмульсий: а) – М/В, б) – В/М

В качестве критерия подобия при исследованиях кавитационных потоков принято пользоваться числом кавитации X , как основным кавитационным параметром, позволяющим объяснить многочисленные и разнообразные особенности явления кавитации. По сути, число кавитации представляет собой отношение давления, под действием которого происходит схлопывание каверны, к давлению, под действием которого каверна возникает и растет. В зависимости от величины X можно различать пять видов потоков: от докавитационного сплошного при $X > 1,05$ до супер- или сверхкавитационного при $X < 0,5$.

Таким образом, была смоделирована гидродинамика кавитационных течений при изменении различных параметров (давления, скорости, температуры) с усовершенствованием конструкции статического кавитационного эмульгатора в сторону снижения числа кавитации. Далее построены зависимости числа кавитации от скорости жидкости, температуры и числа Рейнольдса и получены следующие результаты.

Базовый вариант кавитационного узла представлял собой подобие сопла Вентури в диффузор которого на штоке помещен конический обтекатель. Это известная конструкция СК-аппарата подробно экспериментально и теоретически исследованная нами ранее для различных технологий [1, 2]. Основным недостатком такой конструкции, несмотря на достаточную эффективность, является высокое гидравлическое сопротивление (50 кПа и более, в зависимости от загромождения потока).

Для получения эмульсии, шток с обтекателем предлагается заполнить полым и в него подавать дисперсную фазу (масло). Результаты компьютерного моделирования показали, что сверхкавитационный режим при этом начинается при температуре жидкости более 60°C и скорости в узком сечении сопла более 13 м/с.

Для интенсификации процесса и снижения гидравлического сопротивления предложена конструкция кавитационного эмульгатора с полым

обтекателем и дополнительной закруткой потока. Закрученные потоки характеризуются большим градиентом скоростей по сечению канала, и за завихрителями практически всегда образуется каверна. Поскольку интенсивность разрушающего воздействия повышается, процесс эмульгирования можно проводить при меньших скоростях жидкости, что приведет к снижению гидравлического сопротивления.

Дисперсионная фаза, двигаясь с определённой скоростью, попадает на лопасти завихрителя, где поток закручивается. Закрученный поток проходит сопло, где за счёт центрального сужения увеличивает свою скорость. С высокой скоростью основной компонент огибает обтекатель, создавая область пониженного давления, за ним формируется суперкаверна с полем коллапсирующих кавитационных пузырьков. Так как обтекатель полый, происходит постоянный подсос дисперсной фазы. Две жидкости интенсивно смешиваются и диспергируются, подвергаясь кавитационному воздействию, с образованием эмульсии.

Компьютерные модели показали, что сверхкавитационный режим при этом устанавливается значительно раньше, а при начальной скорости в трубопроводе 5 м/с он оказывается стабильным уже при 20 °С.

Обеспечить дополнительную закрутку потока, интенсифицировать процесс и снизить гидравлическое сопротивление можно с использованием тангенциального ввода дисперсионной фазы в основной трубопровод. Дисперсная фаза также вводится в поток через полый обтекатель. Моделирование гидродинамики такой конструкции кавитационного эмульгатора показало, что сверхкавитационный режим наступает уже при скорости 4 м/с.

Получив некоторый опыт в компьютерном моделировании статических кавитационных эмульгаторов, в дальнейшем планируется продолжить исследования в этом направлении с расширением спектра решаемых задач для усовершенствования конструкций подобного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров, О. А. Кавитационные технологии в промышленности. Направления использования / О.А. Петров, В.С. Францкевич, В.И. Козловский // Нефтехимический комплекс. Научно-технический бюллетень. Приложение к журналу «Вестник Белнефтехима». – 2018. – № 1(17). – С. 5–8.

2. Петров, О. А. Статические суперкавитаторы для гидродинамической обработки материалов. / О. А. Петров, П. Е. Вайтехович // Химическая промышленность. – 2004. – Т. 81, № 2. – С. 68–72.