

Автореф.

Н. 88

Одесский технологический институт пищевой промышленности

им. М.В.Ломоносова

На правах рукописи

НУЖИН Евгений Валентинович

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТРОЙСТВ
ДЛЯ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ДВУХФАЗНЫХ СРЕД
(ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПИЩЕВЫМ ПРОИЗВОДСТВАМ)

Специальность 05.18.12 - процессы и
аппараты пищевых производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Переучет 1987 А.

Одесса - 1982

Работа выполнена на кафедре гидравлики и гидравлических машин Одесского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор ГРАБОВСКИЙ А.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор НАРЕМСКИЙ Н.К.
кандидат технических наук, доцент СТЕПАНОВ В.М.

Ведущее предприятие: Всесоюзный научно-исследовательский институт молочной промышленности.

Защита диссертации состоится "29" июня 1982 г. в 10³⁰ час. на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одесском технологическом институте пищевой промышленности им.М.В.Ломоносова по адресу: г. Одесса, 270039, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "27" мая 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
технических наук,

А.Ф.Загибалов

ОПЛАТ 21.06.12
Гидродинамические ис



v014407

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Применение двухфазных сред по сравнению с использованием отдельных их компонентов обуславливает значительную экономию сырьевых и топливных ресурсов в различных отраслях народного хозяйства. Этим объясняется широкая и все более возрастающая потребность в аппаратах по приготовлению эмульсий, суспензий и пен в пищевой (молочной, масложировой и консервной отраслях), в легкой (парфюмерной и кожевенной отраслях), в химической, нефтеперерабатывающей промышленности и энергетике.

Гидродинамические исследования устройств, создающих устойчивые двухфазные среды, важны для изучения физики протекающих явлений, а их результаты - для различных приложений, в частности, актуальной является задача создания высокоэффективных эмульсаторов.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. Современная теория диспергирования, в общем позволяет описать поведение и свойства дисперсной фазы под воздействием упругих колебаний. Однако ее практическое применение к расчетам аппаратов с гидродинамическими излучателями вызывает значительные трудности экспериментального и вычислительного характера. Она не позволяет количественно решить задачу распада осциллирующих капель, установить явные количественные зависимости между параметрами процесса необходимые в инженерной практике.

Отсутствует классификация диспергаторов, базирующаяся на основе единства физической картины протекающих процессов.

Существующие экспериментальные данные о характере пульсации присоединенной парогазовой каверны малочисленны и противоречивы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Теоретические и экспериментальные исследования процесса образования эмульсии при акустическом воздействии на дисперсную фазу, а также гидродинамических характеристик эмульсаторов, в которых рабочим органом является гидродинамический генератор акустических колебаний.

Разработка инженерной методики расчетов гидродинамических излучателей с камерным резонатором и создание эффективного аппарата для приготовления эмульсий.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В настоящей работе впервые получены и защищаются следующие научные положения:

1. Классификация диспергаторов, основанная на принципе подобия гидродинамических явлений в зоне дробления.

2. Аналитически установленные закономерности, описывающие результат дробления одиночной капли в дисперсионной среде.

3. Предложенные критерии подобия и полуэмпирические зависимости, характеризующие процесс диспергирования системы частиц одной жидкости в другой при акустическом воздействии.

4. Установленное положение о том, что в процессе кавитационного обтекания прямоугольной впадины, при числах кавитации меньше 0,06, в ней возникает пульсирующая парогазовая каверна, представляющая акустический квадруполь. Полученные количественные зависимости параметров пульсации каверны.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Результаты исследований важны для решения ряда практических задач гидродинамики (теории вихревых течений, кавитации), акустики (генерирования звуковых и ультразвуковых колебаний в жидкостях) и теории измельчения продуктов.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы в инженерных расчетах гидродинамических излучателей с камерным резонатором и при проектировании различных эмульсаторов.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ. Разработаны и реализованы опытные образцы эмульсаторов с гидродинамическим излучателем, защищенным авторским свидетельством по заявке № 29I233I/18-28 от 21.05.81.

Эмульсатор внедрен на хлебозаводе № 2 г. Одессы для приготовления пищевых эмульсий, а также на Одесском ремонтном заводе городского электротранспорта для приготовления смазочно-охлаждающих жидкостей.

ПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Отдельные разделы и основное содержание работы докладывались на Всесоюзной научной конференции "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов" (г. Воронеж, 1977); на расширенном заседании технического совета Московского гормолзавода № I (г. Москва, 1976); на конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского технологического института пищевой промышленности ОТИП им. М. В. Ломоносова (1979, 1980); на научных семинарах кафедр "Гидравлика и гидравлические машины" и "Акустика и ультразвуковая техника" Одесского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института (1975, 1978); на объединенном заседании кафедр "Процессы и аппараты пищевых производств" и "Технологическое оборудование пищевых производств" ОТИП (Одесса, 1981).

ПУБЛИКАЦИИ. По результатам выполненных исследований опубликовано 10 печатных работ (в том числе одно изобретение), в журналах: Известия вузов "Пищевая технология", "Химическое и нефтяное машиностроение"; в тезисах Всесоюзной конференции "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов"; в реферативной информации "Оборудование для мясомолочной, рыбной

и мельнично-элеваторной промышленности", в сборниках "Гидравлика и гидротехника", "Точность и надежность механических систем".

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов. Изложена на 148 страницах с рисунками. Список литературы включает 122 наименований на русском языке и 17 - на иностранных.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ рассмотрены литературные источники, посвященные устройству, принципу работы, конструктивным особенностям и области применения различных типов аппаратов-диспергаторов. Проведен обзор и анализ теоретических и экспериментальных исследований механизма дробления дисперсной фазы при акустическом воздействии.

Установлено, что в основе существующих систем классификации многочисленных конструкций диспергаторов наряду с принципом работы, заложены конструктивные особенности, что часто приводит к ошибочному причислению разрабатываемой конструкции к тому или иному типу и в связи с этим - неверному толкованию характера протекающих процессов. Отмечено, что представление о механизме дробления осциллирующих капель находится в стадии формирования, а количественные соотношения, описывающие результат дробления отсутствуют. В литературе имеются неполные, либо противоречивые сведения о закономерностях кавитационного обтекания полости, об условиях возникновения кавитационной каверны и характере ее пульсации.

Результаты анализа позволили наметить программу и поставить конкретные цели и задачи исследования, заключающиеся в разработке классификации диспергаторов, основанной на едином принципе: в установлении количественной закономерности процесса дробления одиночной капли и системы капель в дисперсионной

среде при акустическом воздействии; в определении условий возникновения и рабочих параметров кавитационной каверны; в разработке инженерной методики расчета аппарата с гидродинамическим излучателем; в сравнительных исследованиях двух типов аппаратов, получивших широкое распространение; в разработке высокоэффективного аппарата.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ приводится теоретический анализ различных типов аппаратов-диспергаторов и процесса дробления осциллирующих капель, а также выводится зависимость для частоты пульсации кавитационной каверны.

Учитывая, что механизм дробления полностью не раскрыт, целесообразным и обоснованным представляется положить в основу классификации известное понятие "Гидродинамическая обстановка" в зоне дробления. Достоинством такого подхода является возможность комплексного учета всех физических факторов, сопутствующих процессу дробления. В предлагаемой классификации диспергаторов (рис. 1), известные конструкции объединены в четыре класса: а) диспергаторы перемешивания; б) - дросселирования; в) - кавитации; г) - гидравлического удара.

В диспергаторах перемешивания гидродинамическая обстановка отвечает условиям непрерывного турбулентного перемешивания компонентов жидкости.

В диспергаторах дросселирования - она обусловлена мятием потока и определяется большой разностью давлений ($\Delta P \gg 2 \text{ МПа}$) жидкости на границах зоны дробления.

В диспергаторах кавитации гидродинамическая обстановка характеризуется появлением кавитационных разрывов в жидкости в результате иницирующего колебательного воздействия.

В диспергаторах гидравлического удара гидродинамическая

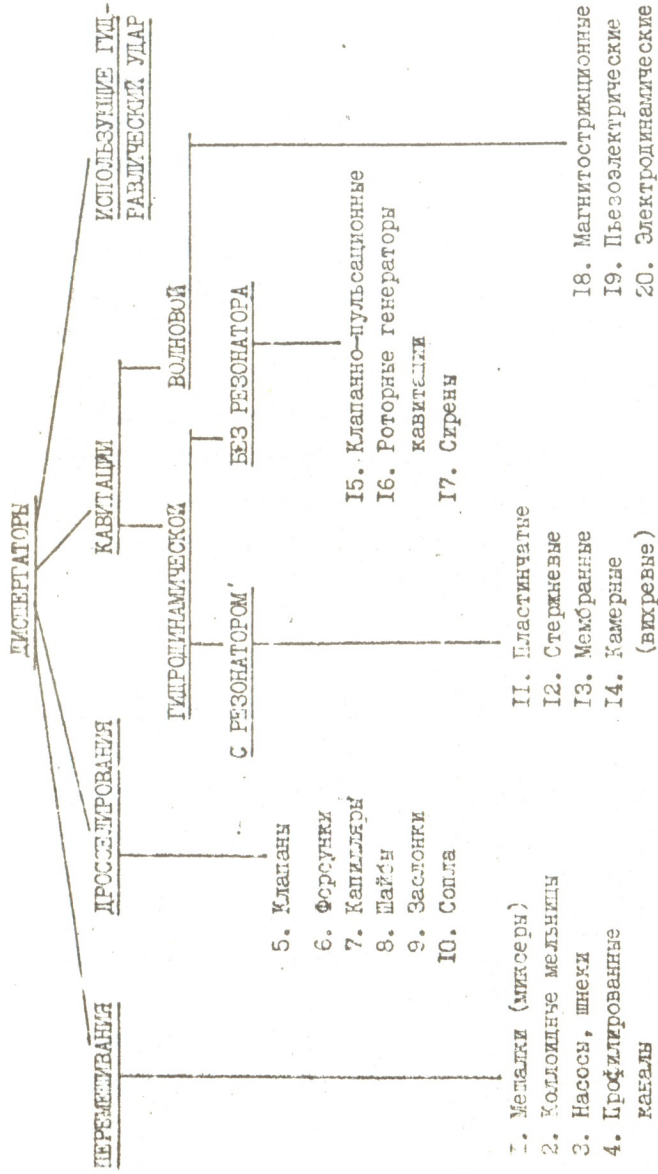


Рис. 1. Предлагаемая классификация диспергаторов

обстановка определяется градиентами параметров (плотности, температуры) волнового процесса.

Преимуществом предлагаемой классификации является то, что она позволяет однозначно отнести любой из известных типов аппаратов к конкретному классу.

Процесс дробления в устройствах, отнесенных нами к диспергаторам кавитации, происходит более интенсивно, чем в аппаратах других классов. При возбуждении колебательного процесса, определяющим является решение задачи о дроблении осциллирующих капель. Приводится постановка, решение и обсуждение результатов решения этой задачи. Основными допущениями физической модели дробления принято следующие: эмульсия разбавлена и взаимное влияние дисперсных частиц исчезающе мало; обтекание частиц потенциальное при числе $Re \gg 1$; начальное ускорение происходит так, как и твердых частиц; поверхностное натяжение капли велико $\sigma_{\lambda} > \mu_2 \Delta v$ (здесь μ_2 - вязкость дисперсионной среды; Δv - разность скорости колебания капли и частиц непрерывной среды, окружающих каплю). Дробление капли представлено как результат действия сил, возникающих при её относительном колебательном движении со скоростью отличной от скорости колебания окружающих частиц непрерывной жидкости. Рассматривая силы, действующие в акустическом поле на взвешенную одиночную частицу, выведено уравнение для относительной скорости скольжения

$$\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \frac{3 + j/\Omega}{1 + j/\Omega} - \frac{3\rho^*}{(\rho^* + 0,5)(1 + j/\Omega)}, \quad (I)$$

где \bar{v}_1 и \bar{v}_2 - вектор скорости жидкой одиночной капли и частиц окружающей её жидкости; j - мнимая единица; $\Omega = f/f_0$ - приведенная частота - отношение возмущающей частоты f к характеристической частоте капли f_0 ; $\rho^* = \rho_1/\rho_2$ - отношение плотности дисперсной частицы ρ_1 к плотности непрерывной фазы ρ_2 .

Зависимость между относительной скоростью скольжения от приведенной частоты при различных величинах относительной плотности ρ^* графически представлено на рис. 2. Характеристическая частота определена как частота восстановления равновесного состояния капли

$$f_0 = \frac{2\mu_2 r_1}{(\rho_1 + 0,5\rho_2)V} \frac{\mu_2 + 1,5\mu_1}{\mu_2 + \mu_1} \quad (2)$$

где μ_1 и μ_2 - вязкость дисперсной и непрерывной сред соответственно; r_1 и V - радиус и объем капли.

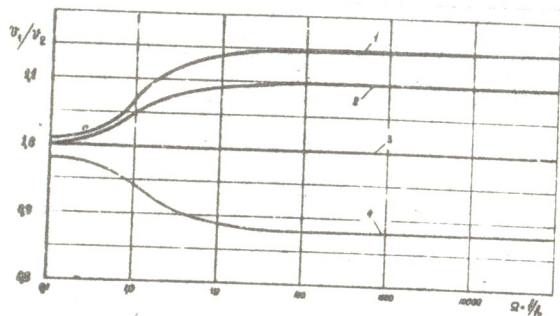


Рис. 2. Изменение относительной скорости скольжения жидких дисперсных частиц различной плотности ρ^* от частоты воздействия.

1 - $\rho^* = 0,8$; 2 - $\rho^* = 0,9$; 3 - $\rho^* = 1,0$; 4 - $\rho^* = 1,2$.

Аналитически получено условие распада капли и выведена зависимость, позволяющая предсказать результат дробления по известным физическим свойствам двух жидкостей, образующих эмульсию, а также по частоте и амплитуде возмущающей силы

$$r_{min} = \left(\frac{1,5\mu_2}{\rho_2 f_0} \frac{1 + 1,5\rho^*}{1 + \mu^*} \frac{1}{\rho^* + 0,5} \right)^{1/2} \quad (3)$$

где $\mu^* = \mu_1/\mu_2$ - отношение вязкости дисперсной среды μ_1 к вязкости непрерывной среды μ_2 .

Под воздействием внешней частоты f частицы размером $r_1 > r_{min}$ будут деформироваться, а их дробление произойдет при достижении критической скорости скольжения

$$\Delta v_{кр} = \left(\frac{1,59 \sigma_{1,2}}{r_1 \Delta \rho} \right)^{1/2} \quad (4)$$

где $\sigma_{1,2}$ - межфазное поверхностное натяжение; $\Delta \rho$ - разность плотностей фаз эмульсии.

На основании известных теоретических и экспериментальных данных сделаны оценки $f_0, r_{min}, \Delta v_{кр}$, которые качественно, а в некоторых случаях и количественно подтверждают достоверность полученных выражений (1...4).

В плане решения задачи об определении частоты пульсации кавитационной каверны выведена зависимость, позволяющая в первом приближении определить основную частоту пульсации каверны

$$f \approx 0,056 \frac{c}{\alpha d} \quad (5)$$

где c - скорость распространения звука в среде каверны;

d - диаметр поперечного сечения каверны.

Анализ выражения (5) показывает, что частота колебаний не зависит от геометрии полости, в которой образуется каверна. Это выражение представляет практическую альтернативу теоретической зависимости С.Сонга:

$$f = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\alpha k P_a}{\rho S \ln \frac{R}{d}} \right)^{1/2} \quad (6)$$

где k - газовая постоянная (для воздуха $k = 1,4$); P_a - среднее порционное давление воздуха или газа; ρ - плотность каверны; S - поверхность каверны; R - радиус волны в свободной струе над каверной.

В формулу (6) входит ряд параметров, определение которых требует постановки сложных специальных исследований, что существенно ограничивает ее практическую ценность.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ приводится методика и результаты экспериментального исследования условий возникновения и пульсации присоединенной парогазовой кавитационной каверны, влияния геометрических и режимных факторов на работу излучателя с камерным резонатором.

Спроектирована и реализована экспериментальная установка, в основе работы которой лежит акустико-электрический метод определения звукового давления и частотного спектра гидродинамического излучателя. Основными особенностями установки являются: возможность варьировать положение излучателя в "камере озвучивания"; создавать режимы как естественной, так и искусственной кавитации; осуществлять зондирование поля звукового давления.

Методика исследования состояла в измерениях гидродинамических и акустических параметров, определяющих процесс диспергирования. Результаты опытов, в которых рабочей средой являлась отфильтрованная от минеральных примесей вода, в интервале температур $15 \dots 70^\circ \text{C}$ и избыточного давления $0.02 \dots 0.06 \text{ МПа}$, приведены в диссертации.

Анализ экспериментальных данных показал, что кавитационная каверна образуется в прямоугольной полости из паров и газов, выделяющихся из жидкости. Она начинает генерировать интенсивные звуковые колебания при достижении условий обтекания полости, определяемых $Re \approx 35 \cdot 10^3$ и числами кавитации $\sigma \leq 0,064$. В результате обработки экспериментальных данных следует, что звуковое давление пропорционально внешнему гидростатическому давлению в степени $(-3/2)$, а его температурная зависимость проходит через максимум, который для воды лежит в пределах $45 \dots 55^\circ \text{C}$.

Во всех опытах отмечалась независимость основной частоты колебаний от геометрических параметров прямоугольной полости, от скорости истечения жидкости из сопла, температуры и давления жидкости. Эти данные качественно согласуются с результатами расчета по формуле (5).

В рамках постановки и решения вопроса о справедливости теории С.Сонга, основывающейся на предположении о наличии собственной частоты системы "газ-жидкость", нами проведено специальное исследование. Особенность методики - в создании искусственной кавитации с помощью поддува воздуха в кольцевую прямоугольную полость (рис. 3). Такой подход позволил сравнить результаты

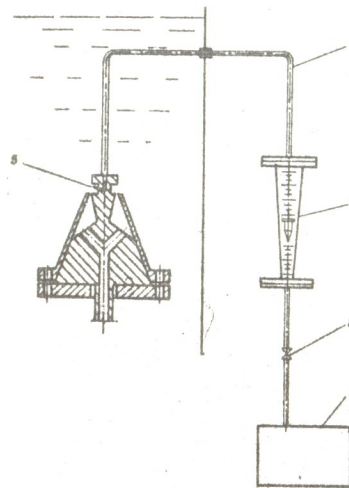


Рис. 3. Схема подачи воздуха в прямоугольную полость:
1 - компрессор; 2 - вентиль;
3 - ротаметр; 4 - линия подачи воздуха; 5 - отрезок капилляра.

непосредственных замеров основной частоты колебаний с результатами расчетов по формуле (6) при $k = 1,4$. Эти результаты качественно и количественно совпадают во всем интервале определяющих параметров опытов.

Таким образом, впервые экспериментально подтвержден важ-

ный вывод теории С. Сонга о наличии собственной частоты системы "газ-жидкость", что имеет большое теоретическое и практическое значение.

Изучен вопрос о способах повышения интенсивности работы гидродинамического излучателя, в частности, с помощью искусственно создаваемой кавитации. Установлены количественные закономерности, позволившие поставить и решить задачу создания новой конструкции гидродинамического излучателя, обеспечивающей необходимую для дробления интенсивность акустических колебаний. Излучатель представляет собой систему - кольцевое сопло внутренним диаметром D и тело обтекания с кольцевой прямоугольной полостью глубиной h . При оптимальном соотношении $h/D = 0,17$ и наличии дополнительного канала, соединяющего эту полость с застойной областью в торце тела обтекания, звуковое давление возрастает в 1,9 раза во всем диапазоне изменения скорости набегающего потока. Этот эффект объяснен поступлением разрозненных кавитационных пузырьков из застойной зоны через дополнительный канал в прямоугольную полость, где они сливаются с парогазовой каверной, усиливая нестационарность процесса.

В соответствии с задачами исследования определен характер парогазовой каверны как источника звука. Методика искусственной кавитации в сочетании с возможностью зондирования поля звукового давления позволили экспериментально определить объемную скорость. Данные расчета звукового давления в поле гидродинамического излучателя, выраженного через объемную скорость, сравнивались с результатами непосредственных измерений звукового давления. Показано, что присоединенная парогазовая кавитационная каверна представляет собой акустический поперечный квадруполь, что позволило нам рекомендовать ряд известных теорети-

ческих зависимостей для квадруполь в инженерных расчетах эмульсаторов с пульсирующей кавитационной каверной.

Варьируя местоположение излучателя относительно стенок цилиндрического корпуса экспериментально определены зоны размещения излучателя, в которых достигается наибольшее звуковое давление благодаря продольному резонансу стенок корпуса. Эти зоны зависят от условий на торцах и располагаются на расстояниях, кратных четверти длины волны.

Опыты, проведенные нами с излучателями, изготовленными из различных материалов (сталь Х18Н9Т, латунь ЛС59-1 и органическое стекло), а также собранными в различных сочетаниях деталей из этих материалов, показали, что, в пределах погрешности измерений, акустические параметры (звуковое давление и частотный спектр) одинаковы при одинаковой геометрии. Таким образом, установлено положение о независимости акустических характеристик излучателя от свойств конструкционных материалов всех элементов излучателя.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ описаны экспериментальные исследования и приводятся результаты сопоставления энергетических характеристик устройств, относящихся к классу диспергаторов дросселирования и диспергаторов гидродинамической кавитации, получивших наибольшее распространение в практике. Использован единый метод, суть которого состоит в измерении дисперсности получаемых частиц эмульсии. Энергетические характеристики определялись по потерям гидравлической энергии потока рабочей жидкости.

В качестве рабочей жидкости применяли естественную эмульсию (молоко коровье ГОСТ 13277-79) и искусственные - типа "масло в воде": подсолнечное масло в воде и керосин в воде. Использовали подсолнечное масло рафинированное (ГОСТ 1129-73),

керосин (ГОСТ 4753-68) и дистиллированную воду. Результаты опытов приводятся в диссертации.

В качестве дросселирующих устройств применяли гомогенизирующие клапаны (типа Гаулин, с винтовой проточкой хвостовика и с кольцевой впадиной на поверхности седла); диафрагмы с центральным отверстием 0,50; 0,70; 0,95; 1,56 мм; дроссель-диффузор и дроссель-конфузор с центральным углом $1^\circ 50'$, длиной 108 мм с меньшим диаметром 0,5 мм и центробежную форсунку. Разность давлений до дросселя и за ним составляла $4 \cdot 10^{-2}$ МПа. Температура рабочей среды поддерживалась в диапазоне от 40°C до 60°C .

Отмечается, что для класса диспергаторов дросселирования дисперсность частиц эмульсии в незначительной степени зависит от конструктивных особенностей дросселя, а, главным образом, определяется перепадом давлений на дросселе, что косвенно подтверждает правомерность выделения подобных устройств в отдельный класс диспергаторов дросселирования.

Установлено, что введение дополнительных элементов-турбулизаторов потока снижает потребляемую мощность при сохранении заданной степени дисперсности получаемой эмульсии. Однако существует предельная минимальная величина потребляемой мощности, независящая от способа и степени турбулизации потока, ниже которой заданная степень дробления не сохраняется.

На основании сопоставительного анализа результатов исследований диспергаторов дросселирования и -кавитации в диссертации показано преимущество последних, благодаря интенсифицирующему воздействию упругих колебаний на процесс дробления.

В основу методики обработки результатов экспериментального исследования были положены теоретические предположения, полу-

ченные на базе теории подобия и анализа размерностей. Предлагается целесообразным рекомендовать методику исследования любого типа аппарата, относящегося к классу диспергаторов кавитации, по выведенным критериям: модифицированному числу Лапласа

$$La = \frac{r_0 P_{зв}}{\sigma_{1,2}}$$

где r_0 - средний размер частиц исходной эмульсии; $P_{зв}$ - звуковое давление;

и приведенной частоте колебаний

$$\Omega = f / f_0$$

Выведенная критериальная зависимость между величиной среднего размера, получаемой эмульсии r_i и параметрами колебательного процесса, имеет вид:

$$r_i / r_0 = F(La^b; \Omega^d)$$

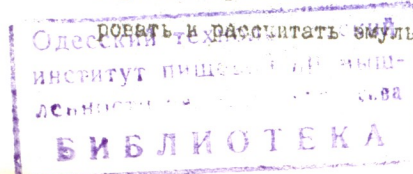
где b и d - показатели степени.

Влияние модифицированного числа Лапласа на дисперсность (рис. 4) определено экспериментально, с учетом кратности обработки; оно описывается выражением:

$$\lg(r_i / r_0) = (0,16 + 0,36 \lg n)(0,16 - \lg La) \quad (7)$$

Проведенные исследования работы эмульсатора с разработанным нами гидродинамическим излучателем позволили сопоставить удельные затраты энергии (3,6 кДж/кг) на процесс дробления в этом типе диспергаторов с затратами энергии (11,9 кДж/кг) в наиболее экономичных диспергаторах дросселирования.

На основании проведенных исследований составлены и приводятся рекомендации по расчету, конструированию и эксплуатации аппарата-эмульсатора, рабочим органом которого является гидродинамический излучатель с пульсирующей кавитационной камерой. Разработанная инженерная методика позволяет спроектировать и рассчитать эмульсатор на заданную производительность



эмульсии и конечную степень дисперсности по известным физическим свойствам компонентов и условиям работы эмульсатора в технологической линии. В основу инженерной методики расчета аппарата положен принцип нахождения характеристической частоты, пользуясь формулой (2); расчет величины амплитудного значения относительной скорости скольжения дисперсных частиц по формуле (1), которая позволяет выбрать необходимую частоту акустическо-

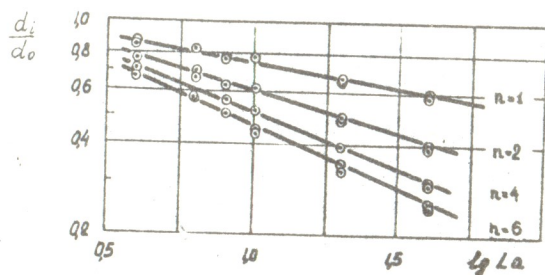


Рис. 4. Зависимость изменения относительной величины среднего диаметра частиц получаемой эмульсии от критерия Лапласа для различной кратности.

го воздействия и вычислить число Лапласа из формулы (7), а затем — звуковое давление. Полученные акустические параметры являются исходными для проектирования и расчета гидродинамического генератора, корпуса эмульсатора, и определения места размещения генератора в корпусе. Уточнение расчета производится по формулам (5) и (6) с учетом условий работы эмульсатора в технологической линии.

Достоинством предложенной методики является её простота и возможность использования ЭВМ. К недостаткам следует отнести возможную погрешность расчета, связанную с определением частоты по зависимости (6).

В В В О Д Ы

1. На основании анализа процессов в устройствах для создания двухфазных сред разработана классификация диспергаторов, отличающаяся от известных тем, что в её основу положен принцип подобия гидродинамических явлений в рабочих органах диспергаторов.

2. Впервые предложена теоретическая модель распада осциллирующей одиночной капли. Дробление капли представлено как результат действия сил, возникающих при ее колебательном движении со скольжением в дисперсионной среде.

Найдены условия распада капли и установлены зависимости, позволяющие сделать количественные оценки дисперсности получаемой эмульсии.

3. Предложен полуэмпирический метод описания диспергирования системы жидких частиц в дисперсионной среде на основе теории подобия и анализа размерностей. В результате такого подхода выведены безразмерные параметры: модифицированное число Лапласа и приведенная частота колебания дисперсных частиц. Найдена зависимость между этими параметрами, которая качественно подтверждается экспериментальными данными.

4. Создана экспериментальная установка для исследования гидродинамических излучателей. Изучены процессы в камерном резонаторе, имеющем вид кольцевой впадины прямоугольного поперечного сечения, и установлены следующие закономерности:

- присоединенная парогазовая каверна, образуясь во впадине, устойчиво пульсирует при значениях чисел кавитации $b \leq 0,064$ и представляет собой акустический поперечный квадруполь;

- звуковое давление пропорционально внешнему гидростати-

ческому давлению в степени $(-3/2)$, при изменении последнего в пределах $0,02 \dots 0,06$ МПа; а его температурная зависимость проходит через максимум, который для воды лежит в пределах $45 \dots 55^\circ \text{C}$.

Экспериментально подтвержден вывод теории С.Сонга о наличии собственной частоты системы "газ-жидкость".

5. На базе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработан опытный образец эмульсатора с гидродинамическим излучателем, защищенным авторским свидетельством. Показано, что удельные затраты энергии на приготовление эмульсии заданного качества в разработанном эмульсаторе составляет $3,6 \text{ кДж/кг}$, что в 3,3 и 4,9 раза ниже, чем у гомогенизатора АГ-ОГМ, снабженного соответственно клапаном с кольцевой проточкой седла и клапаном, серийно выпускаемым промышленностью.

6. Экспериментально установлено, что характеристики излучателя не зависят от физических свойств конструкционных материалов его элементов. Это имеет важное значение для различных практических приложений.

7. Предложена методика инженерного расчета эмульсаторов кавитационного класса на базе гидродинамических излучателей с камерным резонатором. Методика опробована применительно к системам типа: масло-вода.

8. Данные настоящего исследования могут быть применены для решения ряда задач теории кавитационных явлений, теории поверхностного натяжения и гидроакустики. Результаты работы могут использоваться в различных отраслях пищевой промышленности: молочной, масло-жировой и консервной; а также в легкой и химической промышленности.

9. Результаты работы внедрены на хлебозаводе № 2 г.Одессы

в процессе приготовления пищевых эмульсий, с годовым экономическим эффектом от использования предложенного эмульсатора 16,5 тыс.руб. и на Одесском ремонтном заводе городского электротранспорта для приготовления смазочно-охлаждающих эмульсий с годовым экономическим эффектом 11,9 тыс.руб.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Использование турбулизаторов для повышения эффективности процесса гомогенизации./В.А.Жаров, К.Ф.Иванов, Е.В.Нужин, Б.В.Юрченко. В кн.: Гидравлика и гидротехника, Кишинев, Киш ПИ, 1975, т.150, с:57-60 (Сб.науч.тр./Кишинев.политех.ин-т).
2. Исследование характера движения жидкости в клапанных гомогенизаторах./В.А.Жаров, К.Ф.Иванов, Е.В.Нужин, Б.В.Юрченко. Там же с.66-69.
3. О некоторых закономерностях многократной гомогенизации./К.Ф.Иванов, Е.В.Нужин, Б.В.Юрченко, В.А.Жаров - Изв.вузов: Пищ.технология, 1976, № 2, с.157-159.
4. Классификация диспергаторов./А.М.Грабовский, В.М.Иванов, К.Ф.Иванов, Е.В.Нужин - Хим. и нефт.машиностроение, 1977, № 6, с.41-42.
5. Нужин Е.В. О размещении гидродинамического излучателя в рабочей емкости./Электрофизические методы обработки пищевых продуктов: - В кн.: Всесоюз.науч.конф.: Тез.докл. Воронеж, 1977, с.113-113.
6. Нужин Е.В. О влиянии противодавления на работу гидродинамического излучателя. - Реф.информ./ЦНИИТЭИлегпищемаш, Сер.: Оборудование для мясо-молочной, рыбной и мельнично-элеваторной промышленности. 1978, вып.5, с.1-6.

7. Нужин Е.В. О повышении интенсивности гидродинамического излучателя. Там же с.6-10.
8. О критических режимах работы клапанных гомогенизаторов. /А.М.Грабовский, К.Ф.Иванов, Е.В.Нужин, Б.В.Юрченко - В кн.: Точность и надежность механических систем. Рига, 1979, с.152-157. (Риж. политехн.ин-т).
9. Иванов К.Ф., Нужин Е.В., Юрченко Б.В. Использование отрывных течений для повышения эффективности гомогенизации. - Изв. вузов: Пищ. технология, 1980, № 1, с.114-116.
10. А.с. 944678 СССР. Гидродинамический генератор./А.М.Грабовский, К.Ф.Иванов, Е.В.Нужин, В.И.Шевелев - Оubl. в Б.И., 1982, № 27.

Иванов