

УДК 66.063.8

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0015

**О ДИСПЕРГИРОВАНИИ ЖИДКИХ СРЕД**

© 2020

**Авроров Валерий Александрович**, доктор технических наук,  
профессор кафедры «Пищевые производства»

**Мурашкина Оксана Александровна**, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»

**Сарафанкина Елена Александровна**, старший преподаватель кафедры «Пищевые производства»

*Пензенский государственный технологический университет*

(440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11, e-mail: v\_avrorov@bk.ru)

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы и устройства для диспергирования неоднородных дисперсных систем (эмульсий и суспензий) и распыления однородных жидких сред. Проведен сравнительный анализ известных диспергирующих устройств: распылительных дисков, гидравлических осевых и центробежных форсунок, пневмогидравлических форсунок, распылителей ударно-волнового принципа действия, многоканального высокоскоростного роторного диспергатора. Отмечены их преимущества и недостатки. Выделены основные факторы, оказывающие решающее влияние на параметры распыла жидких сред и приведены зависимости для их определения. Рассмотрены условия движения струек жидкости в многоканальном роторном диспергаторе, обуславливающие возникновение кавитационных эффектов и волновых пульсаций в жидкой среде, способствующих ее круговому ультратонкому распылению. Определены кинематические и динамические параметры движения струек диспергируемой жидкости в отверстиях ротора и статора.

**Ключевые слова:** однородные жидкие среды, неоднородные жидкие дисперсные системы, способы и устройства диспергирования, размеры капель, кинематические и динамические параметры диспергирования.

**ABOUT DISPERSION OF LIQUID MEDIA**

© 2020

**Avrorov Valery Altksandrovich**, doctor of technical Sciences, Professor of the Department "Food production"

**Murashkina Oksana Aleksandrovna**, senior lecturer of the Department "Food production"

**Sarafankina Elena Aleksandrovna**, senior teacher of the Department "Food production"

*Penza state technological University*

(440039, Russia, Penza, Baidukova Ave. / Gagarina str., 1A / 11, e-mail: v\_avrorov@bk.ru)

**Abstract.** The article considers methods and devices for dispersing heterogeneous dispersed systems (emulsions and suspensions) and homogeneous liquid media. A comparative analysis of known dispersing devices is carried out: spray disks, hydraulic axial and centrifugal injectors, pneumatic-hydraulic injectors, shock-wave principle sprayers, multi-channel high-speed rotary dispersant. Their advantages and disadvantages are noted. The main factors that have a decisive influence on the parameters of liquid media atomization are highlighted and dependencies for their determination are given. The conditions for the movement of liquid streams in a multi-channel rotary disperser that cause the appearance of cavitation effects and wave pulsations in the liquid medium, which contribute to its ultra-thin circular spray, are considered. The kinematic and dynamic parameters of the movement of dispersed liquid jets in the rotor and stator holes are determined.

**Keywords:** homogeneous liquid media, heterogeneous liquid dispersion systems, methods and devices for dispersion, droplet sizes, kinematic and dynamic parameters of dispersion

**Введение.** В различных отраслях промышленности приходится иметь дело с процессами получения и применения жидкокапельных аэрозольных сред, а также неоднородных дисперсных систем, к которым относятся эмульсии и суспензии. В одних случаях ставятся задачи повышения степени однородности эмульсий и суспензий, их стабильности, в других, задачи ультратонкого диспергирования (распыления) и создания пространственно-однородных аэрозольных жидкогазовых сред.

Так, например, жидкокапельные аэрозольные среды используются для увлажнения, очистки воздуха от пыли в шахтах, на мукомольных и других предприятиях, при нанесении лакокрасочных покрытий, тушении возгораний, дезинфекции воздуха от микробов и создании новых видов более эффективных лекарственных аэрозолей с размерами капель несколь-

ко десятков нанометров. Ультратонкое распыление пищевых эмульсий с последующей сушкой капель аэрозоля используется для получения сухого молока, растворимого кофе и других порошкообразных пищевых продуктов. Жидкие эмульсии и суспензии применяются при производстве соков, паст и т.д.

**Целью** данной статьи являлся сравнительный анализ известных способов и устройств для диспергирования жидких сред и оценка характера движения струек жидкости в разработанной конструкции многоканального высокоскоростного роторного диспергатора [1].

**Материалы и результаты исследования.** Распыление жидких сред может осуществляться двумя основными способами: капельным и струйным. Капельное распыление идет путем образования капель на выходе из отверстий сопла распылительного устрой-

ства. При струйном распылении струя жидкости распадается на отдельные капли под действием перепада давления, кинетической энергии быстровращающихся элементов или динамического воздействия газового потока.

Для диспергирования жидкости используются распылительные устройства различного принципа действия и конструктивного исполнения [2-4]:

- распылительные диски, в которых для распыления подаваемой жидкости на мельчайшие капли используется кинетическая энергия быстро вращающегося диска.
- гидравлические форсунки, в которых энергия для распада струи на отдельные капли обусловлена давлением нагнетания или полем центробежных сил. К этому типу относятся, например, осевые и центробежные форсунки;
- пневмогидравлические, в которых энергия, необходимая для распада струи, подводится потоком газа;
- форсунки ударно-волнового принципа действия;
- многоканальные роторные диспергаторы

Размеры капель при центробежном дисковом распылении зависят от конструкции распылительного диска, его окружной скорости, плотности дисперсной среды и составляют от 20 до 210 мкм. Окружная скорость распылительных дисков в зависимости от размеров может достигать 120...130 м/с.

Основными параметрами дискового диспергирования являются средний диаметр частиц, радиус факела распыления, потребляемая на распыление мощность [5, 18].

Средний диаметр частиц:

$$\bar{d} = \frac{9,85}{\omega} \sqrt{\frac{a}{R_d \rho_n}} \quad (1)$$

где:

$a$  – поверхностное натяжение продукта, Н/м;

$\omega$  – угловая скорость вращения распылительного диска, с<sup>-1</sup>;

$R_d$  – радиус диска, м;

$\rho_n$  – плотность продукта, кг/м<sup>3</sup>.

Радиус факела распыления по критериальному уравнению А.А.Долинского

$$\bar{R}_\phi = 0,33 \bar{d} \frac{\rho_n}{\rho_B} Re^{0,36} Gu^{-0,04} Ko^{-0,2} \quad (2)$$

где:

$\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> (определяется в зависимости от температуры);

$Re$  – критерий Рейнольдса,  $Re = \frac{v_q \rho_n \bar{d}}{\mu}$ ;

$v_q$  – скорость частиц,  $v_q = 0,85 v_H$ ;

$v_H = \frac{\pi R_d n}{30}$  – начальная скорость частиц, м/с;

$\rho_{np}$  – плотность сухого продукта;

$\mu$  – динамическая вязкость продукта;

$$Gu = \frac{T - T_m}{T_m}$$

$Gu$  – критерий Гухмана,

$T_m$  – температура мокрого термометра по I-d диаграмме, К;

$Ko$  – критерий Косовича.

Мощность, потребляемая на диспергирование эмульсии

$$N = 3,125 \cdot 10^{-7} v_H^2 G_3 / 2R, \text{ кВт.} \quad (3)$$

Центробежные диски обладают существенными преимуществами перед форсунками по возможности диспергирования эмульсий и суспензий с различной вязкостью и равномерности распыла. При этом энергозатраты при дисковом распылении сравнимы с энергозатратами форсунок и составляют от 5 до 10 кВт на 1000 кг диспергируемой жидкости.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость дискового узла диспергирования, его чувствительность к дисбалансу.

Распылительные диски по конструктивному исполнению делятся на гладкие, с канавками и сопловыми. Гладкие диски более просты по устройству и практически не подвержены забиванию, но не способны обеспечить тонкий распыл. Форма дисков может быть тарельчатой, чашечной или плоской. Чашечные диски по сравнению с тарельчатыми и плоскими дают более тонкий распыл. Лопастные диски с плоскими или изогнутыми лопатками обеспечивают более широкий и равномерный факел. Однако характеризуются повышенным вентиляционным эффектом, что приводит к увеличению мощности привода (рис.1).



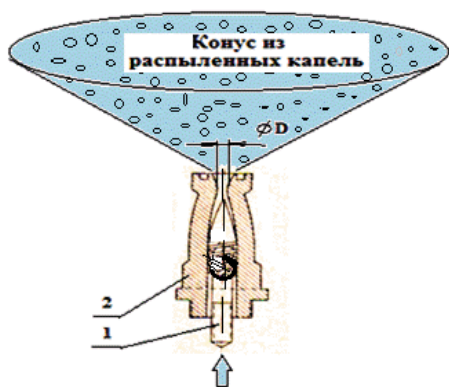
Рисунок 1 – Примеры конструктивных исполнений распылительных центробежных дисков

Регулирование диаметра факела возможно в ограниченных пределах путем изменения частоты вращения распылительного диска.

В осевых гидравлических форсунках размер факела можно регулировать изменением диаметра отверстия форсунки и величины давления подаваемой жидкости. Такие форсунки относятся к устройствам струйного типа и представляет собой предельно простую конструкцию, состоящую из корпуса, вкладыша с винтовой нарезкой для закручивания потока жидкости (рис.2), что повышает турбулентность ее движе-

ния и способствует уменьшению размера капель.

Наименьший размер капель в зависимости от характеристик диспергируемой среды и конструктивных параметров форсунки по данным [6] может составлять 50...150 нм, т.е. представлять собой водяную пыль или туман.



Исходная дисперсная среда

Рисунок 2 – Схема распыления жидкой среды в гидравлической осевой форсунке

1 – стержень с винтовой нарезкой. 2 – корпус

Расход жидкости может быть определен как:

$$Q = k D p^n, \text{ кг/ч} \quad (4)$$

где:

$k$  – коэффициент, учитывающий конструктивное исполнение форсунки;

$D$  – диаметр выходного отверстия, мм;

$p$  – давление подаваемой в форсунку жидкой среды, МПа;

$n$  – показатель степени, зависящий от типа форсунки.

К положительным моментам форсунки относятся также низкие энергозатраты на диспергирование (2...4 кВт на одну тонну продукта) и высокая пропускная способность (более 4500 кг/ч). К недостаткам этого вида диспергирования практическая невозможность распыления неоднородных дисперсных сред с высокой концентрацией дисперсной фазы, износ выходного отверстия, необходимость создания высокого давления струи в зависимости от вида подаваемой жидкости от 3 до 20 МПа.

Пневматические форсунки распыляют жидкость высокоскоростной струей пара или воздуха, подаваемого под давлением 0,1...1,0 МПа. Они отличаются более высокой пропускной способностью по сравнению с чисто гидравлическими форсунками (до 12000 кг/ч), и позволяют регулировать не только размеры факела распыления, но и степень дисперсности капель. Воздух, подаваемый в корпус форсунки, увлекает жидкость, которая на выходе распыляется. Расход сжатого воздуха в зависимости от конструктивного исполнения форсунки и физико-механических свойств жидкости составляет от 0,3 до 0,6 м<sup>3</sup>.

К достоинствам пневмогидравлических форсунок относится возможность распыления вязких суспензий и паст, чего невозможно обеспечить применением чисто гидравлических форсунок. К недостаткам

относятся большой расход энергии, неоднородность распыла при максимальной производительности.

Максимальный диаметр капель может быть определен по формуле:

$$d = \frac{8Ka}{\rho_B v_c^2}, \text{ м} \quad (5)$$

где:

$K$  – эмпирический коэффициент, зависящий от свойств жидкой среды, ( $K = 116...392$ );

$a$  – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

$\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v_c$  – скорость струи на выходе форсунки, м/с.

Пневмогидравлические форсунки работают на сжатом воздухе. Сжатый воздух проходит через сопло Лавалля, сжимаясь и разгоняясь до сверхзвуковой скорости и далее, адиабатически расширяясь, смешивается с жидкостью и выходит через диффузор. Примером такой форсунки с сосной подачей жидкости и газа является форсунка, применяемая для пылеподавления [7,8].

Процесс формирования капель определяется конструктивным исполнением и режимными параметрами форсунки, влияющими на фрагментацию жидкостной пленки, выходящей из ее кольцевого канала. Силы аэродинамического сопротивления, возникающие на границе раздела фаз жидкость – газ приводят к возникновению волн на поверхности жидкостной пленки, которые отделяют порции жидкости в виде сетчатых образований, отделившиеся от жидкостной пленки, которые далее начинают дробиться на отдельные капли [13,14].

Для центробежных форсунок в общем случае тангенс угла раскрытия факела равен отношению тангенциальной и осевой составляющей вектора скорости [9,20].

На рисунке 3 приведена схема центробежной форсунки с двухканальным завихрителем. Данное распылительное устройство может обеспечить требуемую дисперсность капель распыла при минимально возможном давлении на входе в форсунку при условии, что в камере закручивания жидкогазового потока, сопловом отверстии и тангенциальных каналах сопротивление будет небольшим. В данной конструкции это обеспечивается минимальным числом каналов и небольшой их рабочей длиной, равной одному или двум диаметрам  $d_{\text{вх}}$ .

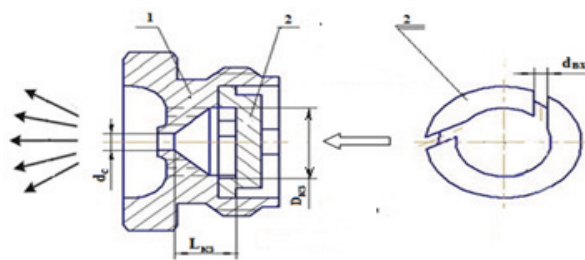


Рисунок 3 – Схема центробежной форсунки с двухканальным завихрителем  
1 – корпус форсунки, 2 – завихритель

Распылению жидких сред посредством ударно-волновой генерации высокодисперсных жидко-капельных аэрозолей посвящен ряд исследований [4,10,11].

На рисунке 4 приведена схема ударно-волнового распылителя [12].

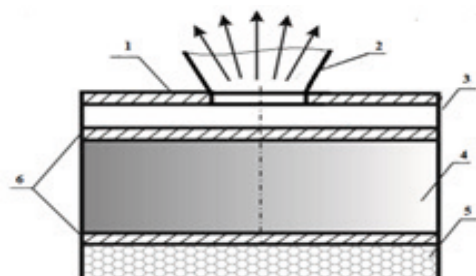


Рисунок 4 – Схема распылителя ударно-волнового способа действия

1 – отражатель, 2 – сопло, 3 – корпус распылителя, 4 – жидкая среда, 5 – заряд ВВ, 6 – мембраны.

Сравнительный анализ известных способов и конструкций диспергирующих устройств позволяет сделать следующие выводы:

- распылительные диски способны обеспечить круговое свободное распыление вязких эмульсий и суспензий, однако обладают большой инерционностью, ограничены по своим скоростным возможностям и не способны обеспечить пульсирующий режим распыления;

- гидравлические осевые форсунки способны обеспечить ультратонкое распыление жидких сред в виде единичного конусного факела при низких энергозатратах на диспергирование, но практически не применимы для распыления вязких жидкостей и требуют большого давления нагнетания подаваемой жидкости;

- центробежные форсунки обеспечивают завихрение и турбулизацию потока, способны работать при меньшем давлении нагнетания по сравнению с осевыми форсунками, но требуют принятия мер по снижению сопротивления в камере закручивания жидкого потока, сопловом отверстии и тангенциальных каналах;

- пневмогидравлические форсунки, как и распылительные диски, способны диспергировать вязкие жидкие среды, однако характеризуются неоднородностью распыла при работе с максимальной производительностью и повышенным расходом энергии;

- диспергаторы ударно-волнового принципа действия просты по устройству, энергонезависимы, могут комбинироваться с центробежными форсунками, обеспечивают высокую скорость истечения жидкости из сопла и высокую дисперсность частиц аэрозоля, однако являются одноразовыми устройствами, требующими для повторного срабатывания возобновления источника энергии, и дающими сравнительно небольшой факел распыла по сравнению с центробежным способом распыления.

Разработанный в ПензГТУ многоканальный ро-

торный диспергатор [1], содержащий высокоскоростной ротор с рядом отверстий для выхода струек жидкости и неподвижный статор с такими же отверстиями сочетает преимущества многих известных диспергирующих устройств. На нем можно диспергировать в непрерывном режиме различные неоднородные дисперсные системы с различной вязкостью, улучшать их свойства за счет измельчения частиц дисперсной фазы, обеспечивать круговой распыл с каплями высокой степени дисперсности за счет возникающих при вращении ротора кавитационных эффектов и волновых пульсаций в диспергируемой жидкой среде [15,16,17,19].

Рассмотрим некоторые параметры истечения жидкости на действующей модели многоканального роторного диспергатора (рис. 5).

Исходные данные:

Внутренний радиус ротора 48 мм = 0,048м;

Толщина стенки ротора 3 мм = 0,003м;

Диаметр отверстия в стенке ротора 2мм = 0,002м;

Число отверстий в стенках ротора и статора 16;

Зазор между ротором и статором 0,1 мм;

Толщина стенки статора 4 мм = 0,004 м;

Диаметр отверстия в стенке статора 2 мм = 0,002м;

Длина дуги между осями соседних отверстий статора 10,64мм;

Длина дуги перемычки между соседними отверстиями статора 8,64 мм;

Число оборотов ротора 60...200000 мин<sup>-1</sup>.

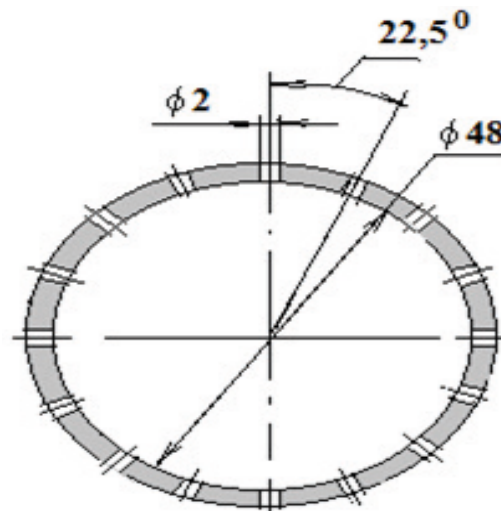


Рисунок 5 – Размеры отверстий в стенке ротора диспергатора

Угловая частота вращения ротора:

$$\omega_p = \frac{\pi n}{30} \quad (6)$$

где  $n$  – число оборотов ротора, мин<sup>-1</sup>.

Можно допустить, что в стационарном режиме жидкость, находящаяся во внутренней полости ротора, будет иметь ту же угловую скорость.

Линейная скорость точки, находящейся на внутренней окружности ротора, и соответственно скорость потока жидкости, будет равна:



$$v_p = v_n = \omega_p R_p \quad (7)$$

где  $R_p$  – радиус внутреннего отверстия ротора, м.

При  $\omega_p = 6280 \text{ с}^{-1}$ ,  $v_p = 150,72 \text{ м/с}$ ,

при  $\omega_p = 20933,3 \text{ с}^{-1}$ ,  $v_p = 502,4 \text{ м/с}$ .

В подвижной системе координат на жидкость, находящуюся в роторе при его вращении будут действовать две силы: центробежная, которая прижимает слой жидкости к желобу ротора и заставляет жидкость проникать в отверстия, выполненные в стенке ротора, и поворотная (сила Кориолиса), вызывающая ее вращение в желобе.

Рассмотрим момент времени, когда оси отверстий ротора и статора полностью не совпадают. Этот момент наступает тогда, когда отверстия ротора перекрываются перемычками между отверстиями статора, и жидкость не может поступать и выходить из отверстий в стенке статора. В течение времени перекрытия будет увеличиваться давление струек жидкости, находящихся в отверстиях ротора, на перемычки между отверстиями статора, которое затем будет снижаться в зависимости от площади поперечного сечения открываемых очередных отверстий по мере вращения ротора, а скорость истечения через отверстия увеличиваться (рис. 6). Такое периодическое чередование совпадающих и несовпадающих отверстий в стенках ротора и статора вызовет пульсирующий режим изменения давлений и скоростей истечения жидкой среды из отверстий статора.

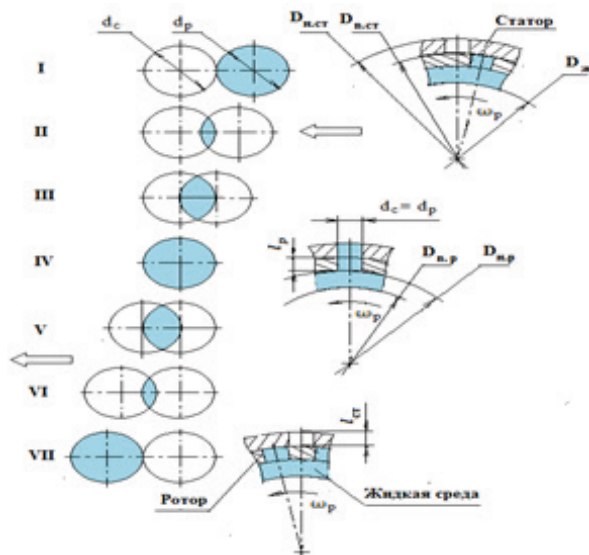


Рисунок 6 – Схема взаимных положений отверстий ротора и статора диспергатора при вращении ротора:

I – отверстие ротора упирается в перемычку между соседними отверстиями статора;

II – III – стадии последовательного увеличения площади сечения для прохождения жидкой среды в отверстиях ротора и статора;

IV – полное совпадение осей отверстий ротора и статора;

V – VI – стадии последовательного уменьшения площади сечения для прохождения жидкой среды в отверстиях ротора и статора;

VII – отверстие ротора упирается в следующую перемычку между отверстиями статора

Где  $D_{н.ст.}$ ,  $D_{в.ст.}$  – наружный и внутренний диаметры статора;  $D_{н.р.}$ ,  $D_{в.р.}$  – наружный и внутренний диаметры ротора;  $D_{ж.с.}$  – внутренний диаметр жидкой среды в о вращающемся роторе;  $l_{ст.}$ ,  $l_p$  – длина отверстия в статоре и роторе соответственно;  $\omega_p$  – угловая частота вращения ротора.

Определим величину давления струйки жидкости на перемычку между отверстиями статора при длине ее дуги равной 8,64 мм.

Величина центробежной силы, действующей на отдельную струйку равна

$$F_u = m\omega^2 R_n \quad (8)$$

где  $m$  – масса жидкости в отверстии ротора, кг;

$R_n$  – наружный радиус ротора, м.

Масса жидкости в отверстии ротора:

$$m = \rho V \quad (9)$$

где:

$V$  – объем жидкости в отверстии ротора, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1027 \text{ кг/м}^3$ );

$V = \pi r^2 l = 0,942 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$ ;

$m = 0,967 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$ ;

$F_u = 110,17 \text{ Н}$ .

Величина давления, оказываемая отдельной струйкой на перемычку между отверстиями статора:

$$p = F_u / S \quad (10)$$

где:

$S$  – площадь контакта, м<sup>2</sup>;

$S = \pi r_o^2 = 3,14 \text{ мм}^2$ ;

$p = 35,08 \text{ Н/мм}^2$ .

**Заключение.** Величина этого давления будет максимальной только в позициях I и VII (рис. 6). В остальных позициях по мере приближения к позиции IV давление будет снижаться и достигнет в ней минимума. Далее при переходе к позициям V-VII давление будет расти и вновь достигнет максимума в позиции VII. Затем процесс будет повторяться с периодичностью кратной частоте вращения ротора. Соответственно будет изменяться по величине и скорость истечения жидкости из отверстий статора.

Периодическое пульсирующее изменение скорости истечения струек жидкости будет способствовать увеличению интенсивности турбулентных пульсаций, что в свою очередь улучшит степень диспергирования жидких сред.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Авроров В.А., Авроров Г.В. Центрифуга. Патент РФ № 2422213, В04В5/12, 2009.
2. Пажи Д.Г., Галузов В.С. Основы техники распыления жидкостей / Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М: Химия, 1984. – 324с.
3. Пажи Д.Г., Корягин А.А., Ламм Э.Л. Распыливающие устройства в химической промышленности. – М; Химия, 1975. – 200с.
4. Коровина Н.В. Создание аэрозольных сред с помощью автономных распылительных устройств, их эволюция и распространение в замкнутых объемах / Дисс на соискание учен. степени канд. физ. мат. наук. – Бийск, 2014. – 119с.
5. Остриков А.Н., Парфенопуло М.Г., Шевцов А.А. Практикум по курсу технологического оборудования. – Воронеж:

ВГТА, 1999. – 424с.

6. Стабников В.Н., Баранцев В.П. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. – М: Агропромиздат, 1985. – 509с.

7. Пашкевич М.А. и др. Форсунка для пылеподавления. Патент РФ № 2446021, 2012.

8. Иванов А.В., Смирнов Ю.Д., Капранов И.Е. Исследование процессов диспергирования жидкости при работе форсунок пылеподавления. Гидрология. Ученые записки, №25. –НМСУ. «Горный». С.26-34.

9. Головачевский Ю.А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности. – М: Машиностроение, 1967. – 196с.

10. Кудряшова О.Б. Ударно-волновая генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей / Ползуновский вестник, №4, 2010. – С.95-100.

11. Ворожцов Б.И., Кудряшова О.Б., Павленко А.А. Физико-математическое моделирование ударно-волновой генерации жидкокапельных аэрозолей в конструкции центробежной форсунки / Известия вузов. Физика, 2010, т.53, № 22/2. – С.102-108.

12. Кудряшова О.Б. и др. Взрывная генерация высокодисперсных жидкокапельных аэрозолей и их эволюция / Инженерно-физический журнал, 2010, т.83, №6. – С.1084-2004.

13. Stapper B.E., Sowa W.A. and Samuelsen G.S., 1992, "An Experimental Study of the Effects of Liquid Properties on the Breakup of a Two-Dimensional Liquid Sheet," ASME J. Eng. Gas Turbines Power, 114, pp. 39–45.

14. Disintegration of an Annular Liquid Sheet in a Coaxial Air Blast Injector at Low Atomizing Air Velocities, Optical Diagnostics in Engineering, 5, pp. 27–38.

15. Авровов В.А. О высокоскоростном роторном диспергировании жидких сред / Химическое и нефтегазовое машиностроение, №10, 2019. – С.12–14.

16. Авровов В.А. Анализ движения диспергируемой жидкой среды в отверстиях ротора и статора / Химическое и нефтегазовое машиностроение, №12, 2019. – С.6–9.

17. Авровов В.А. Анализ движения жидкости в зазоре между ротором и статором высокоскоростного диспергатора / Химическое и нефтегазовое машиностроение, №2, 2020. – С.12–14.

18. Хафизов Ф.Ш., Афанасенко В.Г., Боев Е.В. Разработка конструкции устройства для диспергирования жидкости и методики расчета его основных параметров./Анализ и синтез машин. – Уфа: УГНТУ, 2008. – С.48-54.

19. Хафизов Ф.Ш., Афанасенко В.Г., Хафизов Н.Ф. Кавитирование жидкой фазы как способ интенсификации массообменных процессов // Естественные и технические науки. 2007. № 4. С. 267–268.

20. Хафизов Ф.Ш., Афанасенко В.Г., Хафизов Н.Ф. Устройство для диспергирования жидкости Патент РФ № 68653, МПК F23D11/04.. Заявл. 02.05.2007. Оpubл. 27.11.2007. Бюлл. № 33.

*Статья поступила в редакцию 25.07.2020*

*Статья принята к публикации 14.09.2020*