

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 532.529.5:66.093.4:665.347.8

**И.Я. Федоренко,
И.Ю. Александров,
И.А. Наумов**

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ЭМУЛЬСИИ В КАВИТАТОРЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГИДРАТАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

Ключевые слова: масляно-водная эмульсия, кавитация, размер частиц, гидратация подсолнечного масла, фосфолипиды.

Свойства фосфолипидов при взаимодействии с водой снижают устойчивую растворимость их в масле вплоть до образования отдельной фазы положены в основу промышленного метода извлечения фосфолипидов из масла, получившего название «гидратация» [1].

Гидратация фосфолипидов представляет собой завершающий этап в технологии производства растительных масел, так как гидратированные масла устойчивы к хранению и транспортированию. Основным способом выведения гидратируемых фосфолипидов из подсолнечного масла

является гидратация их водой с образованием масляно-водной эмульсии [1].

Качественное образование эмульсии из двух несмешиваемых жидкостей возможно под действием кавитации. Кавитация возникает во всех устройствах, где поток претерпевает местное сужение с последующим расширением.

Кавитация в обычных случаях – нежелательное явление, и ее не следует допускать в трубопроводах и других элементах гидросистем. Но иногда оно может оказаться полезным, например, используется в кавитационных регуляторах расхода. На принципе использования гидравлических микроударов построены также устройства для очистки от загрязнений фильтрующих элементов и образований эмульсии.

В АГАУ предложены способ и линия для проведения гидратации, использующие кавитирующее воздействие на смесь: подсолнечное масло – вода [2]. Эксперименты показали высокую эффективность предложенного способа [3].

В данной работе рассматриваются механизм образования эмульсии и выясняются основные его закономерности.

Для характеристики процесса кавитации применяется безразмерный критерий, называемый числом кавитации и равный [4]:

$$x = \frac{p_3 - p_n}{\rho v_2^2 / 2}, \quad (1)$$

где p_3 – абсолютное давление, Па;

p_n – давление насыщенных паров, Па;

ρ – плотность, кг/м³;

v_2 – скорость потока из сопла, м/с.

Физический смысл числа кавитации выясняется непосредственно из рассмотрения процесса образования кавитационной каверны и ее дальнейшего движения из области низкого давления в область высоко-го. С этой точки зрения число кавитации представляет собой отношение давления, под действием которого происходит схлопывание каверны, к давлению, под действием которого каверна возникает и растет.

Используемый нами кавитатор, в котором осуществляется гидратация подсолнечного масла, представляет собой устройство, состоящее из сопла 1 и отражателя 2 (рис. 1).

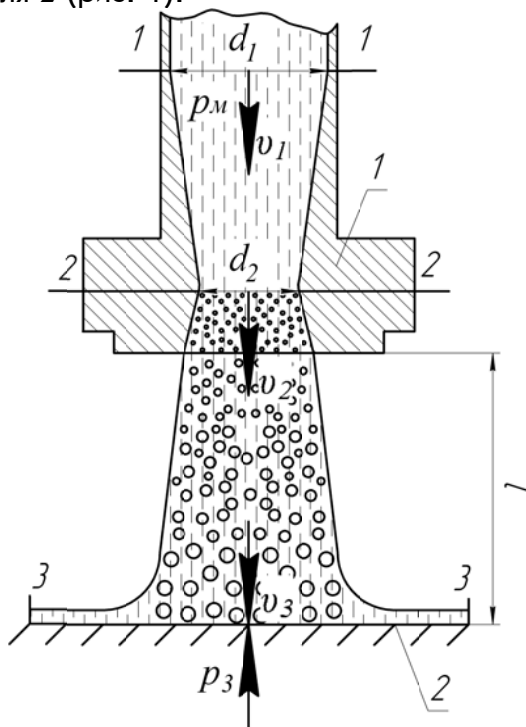


Рис. 1. Схема получения эмульсии в кавитаторе предлагаемой установки для гидратации подсолнечного масла

Для определения скорости потока при истечении жидкости через сопло запишем уравнение Бернулли и уравнение расхода для сечений 1-1 и 2-2 (рис. 1):

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h, \quad (2)$$

где z_1, z_2 – геометрический напор в сечении 1-1 и 2-2, м;

p_1, p_2 – абсолютное давление в сечении 1-1 и 2-2, Па;

γ – объёмный (удельный) вес, Н/м³;

v_1, v_2 – скорость течения жидкости в сечении 1-1 и 2-2, м/с;

$\sum h$ – суммарные потери напора на участке между рассматриваемыми сечениями, м.

$$v_1 S_1 = \varepsilon_1 v_2 S_2, \quad (3)$$

где S_1, S_2 – площадь поперечного сечения трубопровода 1-1 и 2-2, м²;

ε_1 – коэффициент сжатия.

Комбинируя выражение (2) и (3), получим скорость течения жидкости из сопла:

$$v_2 = \mu_1 \sqrt{2g \frac{p_1 - p_2}{\gamma}}, \quad (4)$$

где μ_1 – коэффициент расхода.

Последний определяется формулой:

$$\mu_1 = \frac{\varepsilon_1}{\sqrt{1 + \zeta - \varepsilon_1^2 (d_2^2 / d_1^2)^2}}, \quad (5)$$

где ζ – коэффициент сопротивления;

d_1 – диаметр трубопровода, м;

d_2 – диаметр сопла, м.

В нашем случае p_1 – абсолютное давление в трубопроводе, p_2 – атмосферное давление, разность этих давлений есть избыточное давление p_m .

$$v_2 = \mu_1 \sqrt{2g \frac{p_m}{\gamma}}. \quad (6)$$

При рассмотрении сечения 3-3 получим значение абсолютного давления p_3 , при котором происходит схлопывание кавитационных пузырьков:

$$p_3 = \rho v_3^2, \quad (7)$$

где v_3 – скорость течения жидкости в сечении 3-3, м/с.

Так как расстояние от сопла до отражателя мало, то скорость $v_3 = v_2$. Подставляя в выражение (1) уравнения (6) и (7), получим:

$$x = 2 - \frac{p_n \gamma}{\rho \mu_1^2 g p_m}. \quad (8)$$

При подстановке в выражение (8) уравнения (5) получим:

$$x = 2 - \frac{p_n \gamma (1 + \zeta - \varepsilon_1^2 (d_2^2 / d_1^2)^2)}{\varepsilon_1^2 g p_m \rho} \quad (9)$$

Основной характеристикой эмульсии является дисперсность смеси. Она выражается диаметром частиц смешиваемых жидкостей. Такая характеристика принята в большинстве работ, в частности, В.М. Червякова и В.Г. Однолько [5]. Кавитация оказывает интенсифицирующее действие на процесс диспергирования, при

этом с увеличением числа кавитации сначала происходит уменьшение диаметра частиц, а затем увеличение. Зависимость между числом кавитации и размером частиц можно выразить уравнением:

$$d_u = d_0 - k_1 x + k_2 x^2, \quad (10)$$

где d_0 – начальный диаметр частиц, м; k_1, k_2 – экспериментально определяемые коэффициенты, м.

При подстановке в уравнение (10) выражения (9) получим:

$$d_u = d_0 - k_1 \left[2 - \frac{p_n \gamma (1 + \zeta - \varepsilon_1^2 (d_2^2 / d_1^2)^2)}{\varepsilon_1^2 g p_m \rho} \right] + k_2 \left[2 - \frac{p_n \gamma (1 + \zeta - \varepsilon_1^2 (d_2^2 / d_1^2)^2)}{\varepsilon_1^2 g p_m \rho} \right]^2 \quad (11)$$

Параметры процесса и кавитационной установки таковы: $p_n = 2425$ Па; $\gamma = 9070$ Н/м³; $\zeta = 0,03$; $\varepsilon_1 = 1$; $d_1 = 0,005$ м; $d_2 = 0,0036$ м; $p_m = 1 \cdot 10^6$ Па; $\rho = 925$ кг/м³; $d_0 = 25 \cdot 10^{-6}$ м; $k_1 = 26 \cdot 10^{-6}$ м; $k_2 = 7 \cdot 10^{-6}$ м. На основе этих данных можно построить зависимость размера частиц d_u от давления в системе p_m (рис. 2) и размера частиц d_u от диаметра сопла d_2 (рис. 3).

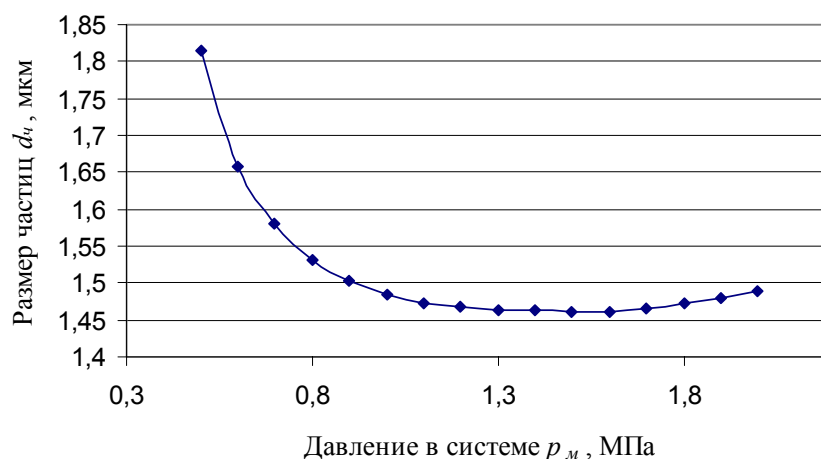


Рис. 2. Зависимость размера частиц от давления в системе

С увеличением давления в системе до $p_m = 1,3$ МПа размер частиц d_u уменьшается (рис. 2), так как увеличивается число кавитации, далее – незначительный рост размеров частиц из-за того, что происходит слияние и укрупнение кавитационных пузырьков, в результате чего уменьшается сила удара при схлопывании, такой же эффект наблюдается и с увеличением диаметра сопла (рис. 3).

При кавитации рост пузырьков сменяется их схлопыванием. Весь процесс занимает время около $t_{ок} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ с [6]. Во время схлопывания при ударе об отражатель образуется ударная волна, сопровождающаяся резким повышением температуры и давления газов. При этом расстояние от сопла до отражателя l должно обеспечивать образование кавитационных пузырьков и схлопывание в момент удара об отражатель:

$$l = t_{ок} v_2, \quad (12)$$

где $t_{ок}$ – время образования кавитационного пузырька, с.

На основании вышесказанного можно построить зависимость требуемого расстояния между соплом и отражателем l от скорости течения жидкости v_2 (рис. 4).

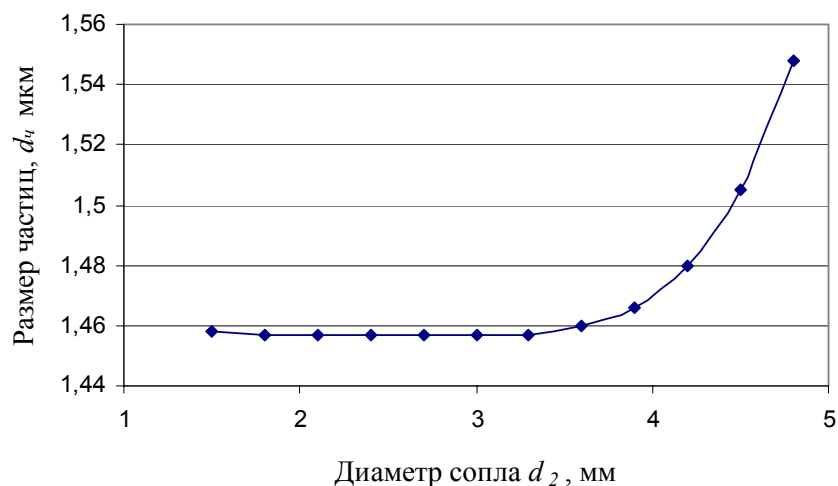


Рис. 3. Зависимость размера частиц от диаметра сопла

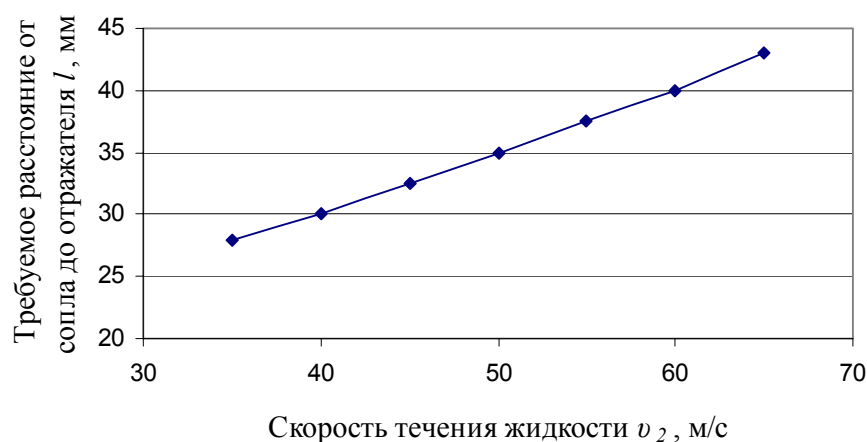


Рис. 4. Зависимость требуемого расстояния между соплом и отражателем от скорости течения жидкости

Выводы

1. Предложен механизм образования кавитации в установке для гидратации подсолнечного масла и разработаны основы теории этого процесса, отражающие конструктивные особенности кавитирующего устройства.

2. По теоретическим расчётам минимальный размер частиц смеси обуславливается давлением в системе $p_m = 1,6$ МПа, диаметром сопла $d_2 = 3,4$ мм и расстоянием от сопла до отражателя $l = 43$ мм.

Библиографический список

1. Руководство по технологии получения и переработки растительных масел и жиров / под ред. А.Г. Сергеева и др. – Л.: ВНИИЖ, 1974. – Т. 2. – Кн. 1. – 350 с.
 2. Патент России № 2288948 С1 МПК, С 11 В 3/16. Способ очистки растительного масла и линия для его осуществления / И.Я. Федоренко, И.Ю. Александров. –

№ 2005113650/13; заявл. 04.05.05; опубл. 10.12.06. Бюл. № 34. – 5 с.

3. Александров И.Ю. Обоснование конструктивных параметров установки для выведения кормовых фосфолипидов из подсолнечного масла / И.Ю. Александров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2003. – № 9. – С. 65-67.

4. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / под ред. Т.М. Башты и др. – М.: Машиностроение, 1970. – 504 с.

5. Червяков В.М. Использование гидродинамических и кавитационных явлений в роторных аппаратах: монография / В.М. Червяков, В.Г. Однолько. – М.: Машиностроение, 2008. – 116 с.

6. Иванов Б.Н. Мир физической гидродинамики: от проблем турбулентности до физики космоса / Б.Н. Иванов. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.

