

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

оз. Балхаш

УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал



12
2012
Том I

Кинетика образования эмульсии в кавитационном диспергаторе битумно-эмульсионной установки

Бауман Екатерина Владимировна, аспирант;
Коц Иван Васильевич, кандидат технических наук, доцент
Винницкий национальный технический университет (Украина)

Свойства кавитации для разрушения сплошности — диспергирования потоков взаимнонерастворимых веществ в последнее время начали широко использовать для интенсификации некоторых технологических процессов [2]. В научно-исследовательской лаборатории гидродинамики Винницкого НТУ разработано оборудование для приготовления битумных эмульсий, принцип работы которого базируется на создании кавитации [1]. Сопутствующие гидродинамические факторы кавитации создают условия для эмульгирования битума в водном растворе поверхностно-активных веществ [2].

Основным параметром характеризующим процесс кавитации является число кавитации [2], физический смысл которого заключается в соотношении давления, приводящего к схлопыванию кавитационной каверны, к давлению, которое приводит к её образованию и росту:

$$\chi = 2 \frac{p_3 - p_n}{\rho_c v_2^2}, \quad (1)$$

где p_3 — абсолютное давление, Па; p_n — давление насыщенного пара, Па; ρ — плотность вещества, кг/м³; v_2 — скорость потока жидкости на выходе с самого узкого участка кавитационного диспергатора, м/с.

Целью теоретического исследования рабочего процесса эмульгирования битума с помощью кавитационного диспергатора предложенной конструкции при приготовлении строительной продукции — битумной эмульсии, является: исследование условий возникновения и развития кавитации в кавитационном диспергаторе, разработка модели динамики рабочего процесса эмульгирования битума, выбор обобщенных функциональных зависимостей позволяющих осуществлять выбор рациональных режимов и конструктивных параметров узла эмульгирования, анализ с помощью численного экспериментирования влияния параметров и характеристик установки для приготовления битумной эмульсии на характеристику полученной продукции — битумную эмульсию.

При разработке математической модели рабочего процесса приготовления битумной эмульсии с помощью кавитационного диспергатора предложенной конструкции были приняты следующие допущения: процесс адиабатный; вследствие незначительного, по сравнению с битумом и водой количества соляной кислоты и эмульгатора, их влияние на реологические свойства смеси не учитываются; сжимаемость рабочей жидкости не учитываем; давление насыщенного пара для компонентов, а также плотность каждого из компонентов этой смеси зависят от физико-механических свойств жидкости и от температуры и принимаются в соответствии с рекомендациями [3].

Процесс эмульгирования битума в водном растворе составляющих компонентов эмульсии в предложенной установке для приготовления битумных эмульсий происходит следующим образом [1]. После равномерного распределения составляющих компонентов в потоке сырья, которое происходит в статическом смесителе, сырье поступает в конфузную часть 1 кавитационного диспергатора (рис. 1), где происходит постепенное сужение потока и, как следствие, увеличивается скорость движения потока, а значит давление в этом сечении также постепенно уменьшается. Далее поток поступает в диффузную часть 2 кавитационного диспергатора, где конусообразный рабочий орган 3 кавитатора образует зазор между внутренней поверхностью диффузной части 2 и наружной поверхностью рабочего органа диспергатора 3, регулирование которого обеспечивает дальнейшее падение давления до некоторого критического значения (до давления насыщенного пара для данной жидкости). Обрабатываемая жидкость попадает в зону критического давления, происходит холодное кипение — образование парогазовых пузырьков (кавитация), которые двигаются дальше и при попадании в зону повышенного давления (за узлом эмульгирования) интенсивно схлопываются, разрушая при этом сплошность потока, т.е. осуществляется диспергирование битума в водном растворе ПАВ.

Для определения скорости прохождения потока жидкости через зазор, образованный внутренней поверхностью конфузной части и поверхностью рабочего органа кавитационного диспергатора, запишем уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2:

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

где z_1, z_2 — геометрический напор в сечениях 1–1 и 2–2, м; p_1, p_2 — абсолютное давление в сечениях 1–1 и 2–2, Па; γ — удельный вес, Н/м³; v_1, v_2 — скорость движения потока жидкости в сечениях 1–1 и 2–2, м/с; $\sum h_{wi}$ — суммарные потери давления на участке между рассматриваемыми сечениями, м.

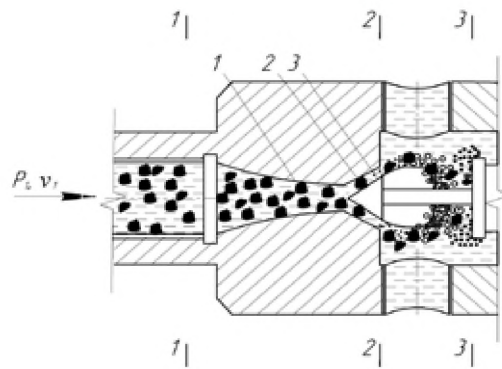


Рис. 1. Схема получения битумной эмульсии в кавитационном диспергаторе предложенной конструкции

$$\text{Уравнение потерь для сечений 1-1 и 2-2: } v_1 S_1 = v_2 S_2, \quad (3)$$

где S_1, S_2 – площадь поперечного сечения проходных отверстий диспергатора 1-1 и 2-2, m^2 .

Пренебрегая потерями давления по длине, вследствие их малости, потери на местных сопротивлениях рассчитываем по формуле Дарси-Вейсбаха [5]:

$$h = \xi_m \frac{v_1^2}{2g}, \quad (4)$$

где ξ_m – коэффициент местного сопротивления.

Следовательно, скорость движения потока сырья через сечение 2-2:

$$v_2 = \mu_1 \sqrt{2g \frac{p_m}{\gamma}}, \quad (5)$$

где p_m – избыточное давление, Па; μ_1 – коэффициент, который определяем по формуле:

$$\mu_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} (\xi_m - 1)}}. \quad (6)$$

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

$$p_3 = \frac{\rho_c v_3^2}{2}, \quad (7)$$

где v_3 – скорость движения потока сырья в сечении 3-3, m/c .

Поскольку расстояние между сечениями 2-2 и 3-3 мало, то предположим, что $v_3 \cong v_2$. Подставив в (1) уравнения (5) и (7), получим число кавитации:

$$\chi = 1 - \frac{p_n \gamma}{\rho_c \mu_1^2 g p_m}. \quad (8)$$

После подстановки в уравнение (8) выражения (6), окончательно получим:

$$\chi = 1 - \frac{p_n (1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} (\xi_m - 1))}{p_m}. \quad (9)$$

Из анализа уравнения (9) видно, что с увеличением давления в системе число кавитации увеличивается. Кроме того, происходит увеличение числа кавитации также с увеличением площади зазора между рабочим органом и внутренней поверхностью диффузорной части диспергатора.

Был рассмотрен реальный процесс приготовления битумной эмульсии в кавитационном диспергаторе при следующие параметрах: давление насыщенного пара низкокипящих компонента (воды) при температуре потока сырья $T=90^\circ$ [3], $p_n = 70927,5$ Па; площадь поперечного сечения входного патрубка конфузорной части диспергатора, $S_1 = 0,000804$ m^2 ; плотность битума при нагревании приближается к плотности водного раствора эмульгатора, поэтому на основании проведенных опытов установлено, что плотность механической смеси входящих компонентов сырья может быть при-

нята равной $\rho_c \approx 1000 \text{ кг/м}^3$; согласно [5] усредненное значение коэффициента местного сопротивления между сечениями 1–1 и 3–3 было принято $\xi_m = 1,44$.

На основании вышепринятых параметров можно построить зависимость числа кавитации \mathcal{X} от давления в системе p_m (рис. 2) и числа кавитации \mathcal{X} от площади зазора между рабочим органом и внутренней поверхностью диффузорной части кавитационного диспергатора S_2 (рис. 3).

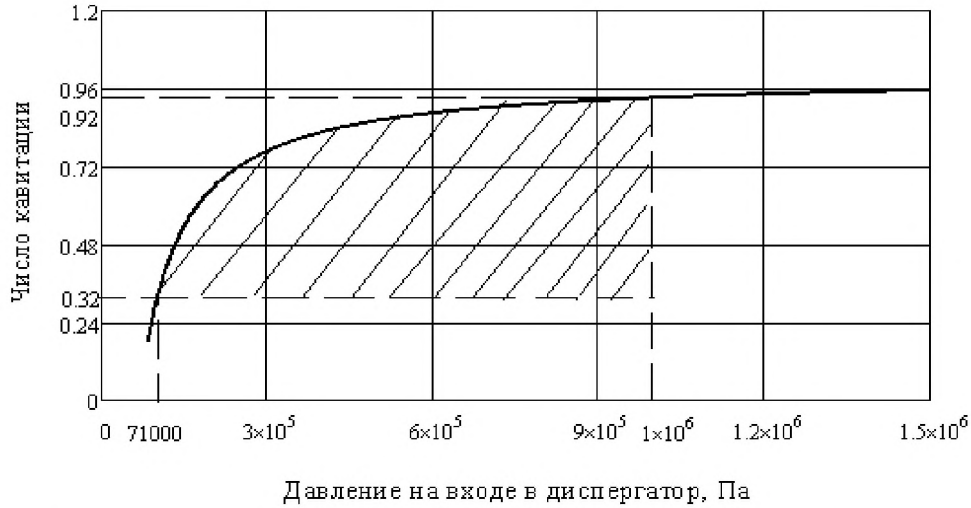


Рис. 2. Зависимость числа кавитации от давления на входе в диспергатор



Рис. 3. Зависимость числа кавитации от площади проходного отверстия диспергатора

Увеличение числа кавитации при увеличении давления на входе в узел диспергирования и увеличение зазора между рабочим органом и внутренней поверхностью диффузорной части диспергатора объясняется ростом скорости истечения сырья через сечение 2–2.

Найдем скорость движения сырья через сечение 1–1:

$$v_1 = \frac{v_2 S_2}{S_1} \tag{11}$$

Подставим (7) в (11):
$$v_1 = \frac{\mu_1 S_2}{S_1} \sqrt{2g \frac{P_m}{\gamma}} \tag{12}$$

Как было отмечено в [7] «... Качество эмульсии, при прочих равных условиях, определяется ее дисперсностью, т.е. размером дисперсной фазы. Высокая дисперсность битума в дорожных эмульсиях и пастах обуславливает их устойчивость и существенно влияет на основные технологические свойства – вязкость, скорость распада, однородность, толщину пленки вяжущего и сцепление с минеральными материалами...».

Как показал анализ предыдущих известных исследований, прямой зависимости между числом кавитации и дисперсностью полученной эмульсии нет. Предварительные экспериментальные исследования показали, что кривая зависимости между дисперсностью и числом кавитации имеет вид параболы, ограниченной граничными условиями. Следовательно, зависимость между числом кавитации и размером частиц битума можно приближенно представить квадратным уравнением:

$$d_{ч1} = ax^2 + bx + c, \tag{13}$$

где a, b, c – экспериментальные коэффициенты; x – число кавитации.

Подставим (10) в (13):

$$d_{ч1} = a \cdot \left[1 - \frac{p_n \left(1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} (\xi - 1) \right)}{P_m} \right]^2 + b \cdot \left[1 - \frac{p_n \left(1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} (\xi - 1) \right)}{P_m} \right] + c. \tag{14}$$

Согласно [8], коэффициенты a, b , а также свободный член c зависимости (14), которые находятся экспериментально, можно определить по формулам:

$$a = \frac{y_3 - \frac{x_3(y_2 - y_1) + x_2y_1 - x_1y_2}{x_2 - x_1}}{x_3(x_3 - x_1 - x_2) + x_1x_2}, \quad b = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} - a(x_1 + x_2), \quad c = \frac{x_2y_1 - x_1y_2}{x_2 - x_1} + ax_1x_2,$$

где x_1, x_2, x_3 – абсциссы трех любых точек, находящихся на экспериментальной кривой; y_1, y_2, y_3 – соответственно ординаты этих точек.

Например, согласно экспериментальных данных, зависимость дисперсности от площади проходного отверстия диспергатора при постоянном давлении $p = 0,9$ МПа и количестве битума в эмульсии $n = 60\%$ приведена на рис. 4.

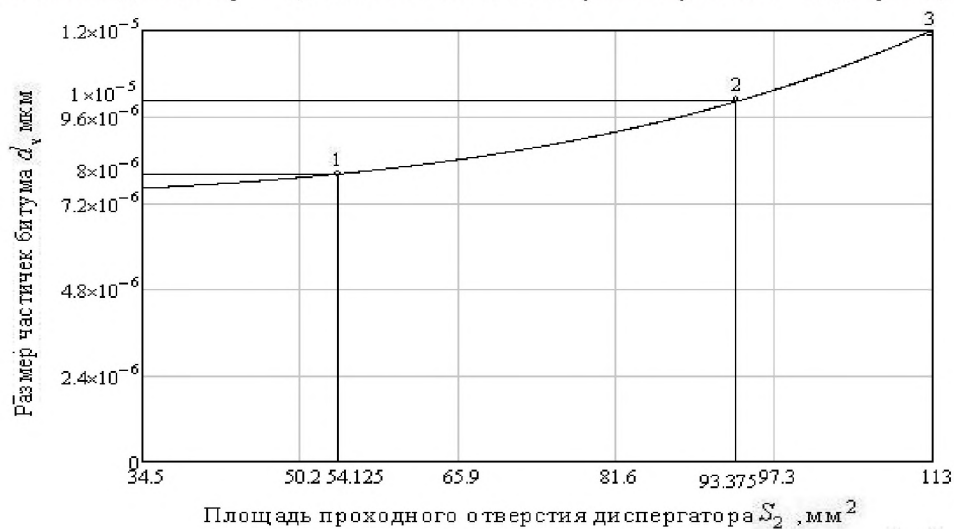


Рис. 4. Зависимость диаметра частичек битума от площади проходного отверстия диспергатора при $p = 0,9$ МПа та $n = 60\%$

В данном случае уравнение (14) принимает вид:

$$d_{ч1} = 5,2425 \cdot \left[1 - \frac{p_n \left(1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} (\xi - 1) \right)}{P_m} \right]^2 - 9,65553 \cdot \left[1 - \frac{p_n \left(1 - \frac{S_2^2}{S_1^2} (\xi - 1) \right)}{P_m} \right] + 4,445847. \tag{15}$$

Сводная таблица 1 иллюстрирует значение старшего a , второго b коэффициентов и значение свободного члена c в зависимости от параметров обработки компонентов эмульсии.

Таблица 1. Уточняющие коэффициенты математической модели процесса эмульгирования битума в предложенной кавитационной установке

Параметры диспергирования			Коэффициенты		Свободный член, с
Площадь проходного отверстия диспергатора, S , мм ²	Количество битума в эмульсии, n , %	Давление на входе в диспергатор P , МПа	старший, a	второй, b	
var	40	0,9	6,491444	-11,95647	5,505604
var	60	0,9	5,2425	-9,65553	4,445847
var	40	1,1	23,666031	-44,280461	20,712804
var	60	1,1	-0,000663	0,01434	-0,012833
var	50	1	0,12056	-0,070093	0,010189
73,5	50	var	-0,000417	0,0006707	-0,00025488

На основании принятых допущений исследована кинетика эмульгирования битума в кавитационном диспергаторе и выполнено математическое моделирование процесса кавитационного диспергирования составляющих битумной эмульсии, которое отражает конструктивные особенности предлагаемого узла диспергирования. Установлена аналитическая зависимость, которая связывает между собой конструктивные и технологические параметры приготовления эмульсии: площадь проходного отверстия кавитационного диспергатора S_2 , давление на входе в диспергатор p_m и характеристику полученной битумной эмульсии — размер частички битума в эмульсии d_w . На основе предварительно проведенных экспериментальных исследований установлены уточняющие коэффициенты для составления математической модели процесса эмульгирования битума в предложенной кавитационной установке.

Литература:

1. Пат. 37338 Україна, МПК8 E01C 19/00 Установка для приготовления битумных эмульсий / Борисенко А.А., Бауман К.В., Коц І.В. — № u200807653; заявл. 04.06.08; опубл. 25.11.08, Бюл. № 22.
2. Кулагин В.А. Методы и средства технологической обработки многокомпонентных сред с использованием эффектов кавитации: Дис... доктора техн. наук: 01.04.11, 01.02.05 / Кулагин В.А. — Красноярск, 2004. — 299 с.
3. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. Службой стандартных справочных данных — 2-е изд., перераб. и доп. / Ривкин С.Л., Александров А.А. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 80 с.
4. Калицун В.И. Основы гидравлики и аэродинамики / Калицун В.И., Дроздов Е.В. — М.: Стройиздат, 1980. — 247 с.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.
6. Радовський Б.С. Дисперсність емульсії при гідродинамічному проточно-кавітаційному способі її отримання / Радовський Б.С., Мозговий В.В., Гамеляк І.П., [та ін.] // Автомоб. дороги і дор. буд-во. — 1997. — Вип. 54. — С. 115—119.
7. Акопян А.А. Геометрические свойства кривых второго порядка. / Акопян А.А., Заславский А.В. — М.: МЦНМО, 2007. — 136 с. — ISBN 978-5-94057-300-5.

Основные компоненты структуры исследовательских математических умений старшекласников

Гаврилина Ольга Викторовна, аспирант
Крымский гуманитарный университет (г. Ялта, Украина)

Ключевой задачей образования в XXI веке является развитие мышления, ориентированного на устойчивое будущее. Современный рынок труда требует от выпускника не только глубоких теоретических знаний, но и спо-

собности самостоятельно их применять в нестандартных, изменяющихся жизненных ситуациях, перехода от общества знаний к обществу жизненно компетентных граждан. Это требует профессиональной и социальной мобиль-