

РОЗДІЛ «ТЕПЛОТЕХНІКА. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

УДК 658.26

КЛИМОВ Р.А., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

СЛИЯНИЕ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ В ЖИДКИХ СМЕСЯХ

Введение. Устойчивость дисперсных систем определяется действием электростатических сил отталкивания ионных зарядов в электролите и Ван-дер-Ваальсовых сил молекулярного притяжения, что в количественном отношении рассмотрено в теории ДЛФО (Дерягин, Ландау, Фервей, Овербек) [1, 2]. Силы притяжения обуславливают дестабилизирующий эффект, который приводит к коагуляции частиц. Кулоновские силы отталкивания обеспечивают стабилизирующий эффект в области относительно больших значений межпузырьковых расстояний. Данные силы имеют наибольшее влияние при межпузырьковых расстояниях порядка $10^{-9} \div 10^{-7}$ м, при этом важно знать каким потенциалом обладает ПАВ [1]. Как видно, расстояния действия данных сил достаточно малы, и эти силы остаются еще более неопределенными при разных радиусах взаимодействующих частиц, т.к. вся теория разработана для двух частиц одинакового размера. Это свидетельствует о том, что данные силы для больших расстояний можно не учитывать.

При слиянии капель в конгломерат происходит усреднение параметров, а следствием является появление более крупной капли со своими скоростями и ускорениями роста. Поэтому рассмотрение данных процессов объединения закипающих частиц играет достаточно большую роль в определении конечного размера раздробленных частиц дисперсной фазы, а сам процесс является неотъемлемой частью как вскипания, так и перемещения, и последующего дробления капель.

Постановка задачи. Рассмотрим две частицы жидкой смеси вода-масло разного размера, которые сливаются друг с другом, и определим параметры образующейся частицы.

Суммарные объем и масса воды после слияния

$$V_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^2 \frac{4}{3} \pi R_i^3, \quad m_{e\Sigma} = V_{e\Sigma} \rho_e, \quad i=1,2, \quad (1)$$

где R_i – радиус капли воды.

Для определения температуры воды образующейся частицы определим средние температуры по сечению капель воды исходных частиц. При известном числе расчетных делений сечения капли воды и известных температурах в каждом слое из данных делений средняя температура объема воды каждой исходной частицы определится выражением

$$t_{sr_i} = \frac{\sum_{n=1}^{N_i} t_{n_i}}{N_i}, \quad (2)$$

где N_i – число делений данного сечения объема воды частицы.

Тогда средняя температура образующегося объема воды, в предположении равенства теплоемкостей, определится из уравнения теплового баланса

$$t_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^2 m_{e_i} t_{sr_i}}{m_{e\Sigma}}. \quad (3)$$

Суммарный объем воды определяет радиус образующейся капли воды

$$R_1 = \left(\frac{3}{4\pi} V_{\Sigma} \right)^{1/3}. \quad (4)$$

Уравнения (1)-(4) определяют образующиеся значения радиуса капли воды и температуры данного объема. Для дальнейшего расчета принимаем температуру по сечению капли воды равной средней t_{sr} . Данное предположение основано на факте полного взаимного перемешивания двух объемов воды.

Массу пара в каждой частице можно определить с помощью модели [3]. Тогда суммарный объем и масса пара равны

$$V_{n_{\Sigma}} = \frac{4}{3} \pi \sum_{i=1}^2 (R_{2_i}^3 - R_{1_i}^3), \quad m_{n_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^2 m_{n_i}, \quad (5)$$

где R_2 – радиус границы раздела масло-пар.

Суммарный объем пара совместно с известным радиусом R_1 определяют общий радиус образующейся капли эмульсии

$$R_2 = \left(\frac{3}{4\pi} V_{n_{\Sigma}} + R_1^3 \right)^{1/3}. \quad (6)$$

Плотность пара образующейся капли

$$\rho_n = m_{n_{\Sigma}} / V_{n_{\Sigma}}. \quad (7)$$

Температура пара новой капли определяется из уравнения теплового баланса в предположении того, что температуры пара исходных объемов постоянны по их сечению. Тогда

$$t_n = \frac{\sum_{i=1}^2 m_{n_i} t_{n_i}}{m_{n_{\Sigma}}}. \quad (8)$$

По известным температуре и плотности пара можно определить давление пара. Уравнения (5)-(8) определяют общий радиус новой частицы, а также ее термодинамическое состояние.

Для определения скорости движения границы раздела масло-пар w_2 сложим кинетические энергии движения данных границ каждой из исходных частиц. Кинетическая энергия каждой частицы определяется выражением [4]

$$E_{k_i} = \frac{1}{2} \rho_m \int_{R_{2_i}}^{\infty} 4\pi w^2 r^2 dr = 2\pi \rho_m w_{2_i}^2 R_{2_i}^3, \quad (9)$$

или в данном случае

$$E_{k_i} = 2\pi \rho_m |w_{2_i}| w_{2_i} R_{2_i}^3, \quad i = 1, 2. \quad (10)$$

Тогда скорость w_2 равна:

$$w_2 = h \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^2 E_{k_i}}{R_2^3}}, \quad h = \begin{cases} 1, & \sum E_{k_i} > 0; \\ -1, & \sum E_{k_i} < 0. \end{cases} \quad (11)$$

Координаты центра новой капли найдем из соотношения сил без учета ускорения капель

$$d(x, y)' = \frac{m_{e_2} + m_{n_2}}{(m_{e_1} + m_{n_1}) + (m_{e_2} + m_{n_2})} d(x, y), \quad (12)$$

где $d(x, y)'$ – расстояние от центра капли 1 до центра новой капли;

$d(x, y)$ – расстояние от центра капли 1 до центра капли 2.

Введем обозначение

$$M = \frac{m_{e_2} + m_{n_2}}{(m_{e_1} + m_{n_1}) + (m_{e_2} + m_{n_2})} = \frac{m_{e_{n_2}}}{\sum_{i=1}^2 m_{e_{n_i}}}. \quad (13)$$

Тогда с учетом рассмотрения геометрической теории подобия треугольников получим координаты центра новой капли

$$x = (x_2 - x_1)M + x_1, \quad y = (y_2 - y_1)M + y_1. \quad (14)$$

Проекция вектора скорости движения образовавшейся капли на оси x и y определим, используя теорему импульсов

$$w_{kx} = \frac{\sum_{i=1}^2 m_{e_{n_i}} w_{k_i} \sin \gamma_i}{\sum_{i=1}^2 m_{e_{n_i}}}; \quad w_{ky} = \frac{\sum_{i=1}^2 m_{e_{n_i}} w_{k_i} \cos \gamma_i}{\sum_{i=1}^2 m_{e_{n_i}}}, \quad (15)$$

где угол γ_i определяется по методу, изложенному в [5].

Тогда скорость движения образовавшейся капли равна:

$$w_k = \sqrt{w_{kx}^2 + w_{ky}^2}. \quad (16)$$

Таким образом, уравнения (1)-(16) позволяют определить параметры новообразованной капли.

Результаты работы. Проводим расчеты для представленной на рис.1 модели в

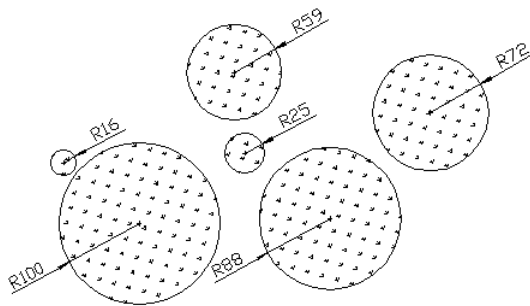


Рисунок 1 – К расчетной модели слияния капель дисперсной фазы эмульсии (характерные размеры в микронах)

соответствии с уравнениями [3] при $t_0 = 105^\circ\text{C}$ с учетом сил, которые могут вызвать неустойчивость, сил, вызывающих перемещение, т.е. с учетом смещения по осям, а также с учетом слияния капель. Считаем, что если капля раздроблена либо слилась с другой, то нумерацию капель уменьшаем на единицу, начиная с номера капли, которая раздроблена, либо с наименьшего из номеров капель, которые слились. Как по-

казали расчеты [3], капля № 2 будет раздроблена в начальный момент времени, поэтому № 2 будет № 3 и т.д. Результаты расчетов представлены на рис.2, 3.

На данных рисунках четко видны моменты слияния капель: сначала № 2 с № 3, далее № 4 с № 5, потом № 2 с № 4 и т.д. В момент слияния двух капель, после образования новой капли, ускорение границы раздела масло-пар (рис.2, б) скачкообразно возрастает, что объясняется резким снижением силы Лапласа, которая входит в уравнение

Релея-Плессета, из-за резкого увеличения радиуса границы раздела. Как видно из рис.3, б, основной термодинамический параметр (давление p) в момент слияния определяется значениями между двумя первоначально существующими.

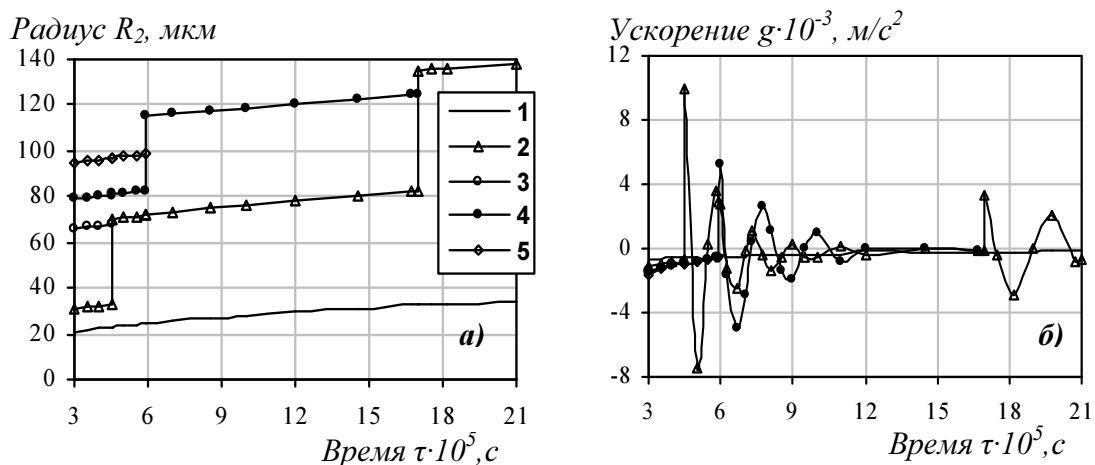


Рисунок 2 – Изменение радиуса капли (а) и ускорения границы раздела масло-пар (б) при слиянии капель

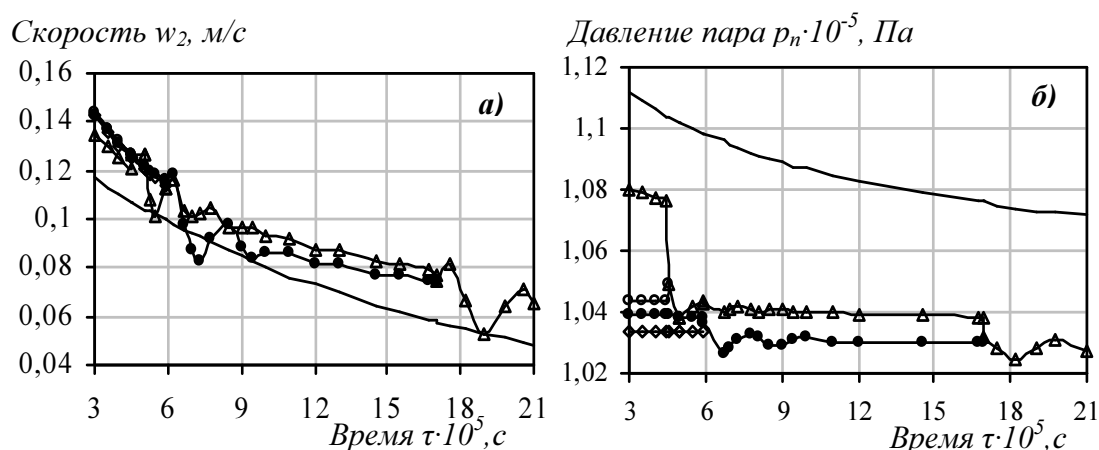


Рисунок 3 – Изменение скорости границы раздела масло-пар (а) и давления пара (б) при слиянии капель во времени (обозначения из рис.2)

Описанное выше увеличение ускорения и его осцилляции в дальнейшем приводят к соответствующим осцилляциям скорости w_2 (рис.3, а). Эти резкие изменения значений ускорения и скорости могут также служить причиной гидродинамической неустойчивости соседних капель. Но, в данном случае, как показал расчет, величины данных сил, вызванных g и w , недостаточны для дробления близлежащих капель. Осцилляции ускорения и скорости носят затухающий характер и, как видно из рис.2, 3, с увеличением времени при дальнейшем слиянии капель амплитудные значения данных параметров уменьшаются, что является следствием как увеличения размера образующейся капли, так и снижения общего давления в системе по рис.3, б. Соответствующее резкое увеличение скорости w_2 приводит к снижению значений p_n и наоборот. Тепловой поток изменяется обратно пропорционально температуре пара.

Выводы. В статье исследованы процессы слияния капель дисперсной фазы эмульсионных сред путем математического моделирования с целью определения конечных параметров образующегося конгломерата по первоначальным параметрам от-

дельных частиц. Разработанная модель слияния капель эмульсии позволяет получить общую картину изменения параметров капель эмульсии и совместно с моделями дробления и перемещения описать процессы, происходящие при закипании водной фазы эмульсии. Допущение о малости сил электростатического отталкивания и Ван-дер-Ваальсовых сил притяжения, а также их исключения из рассмотрения на последних стадиях перемещения капель до момента их встречи является вполне оправданным из-за их полной неопределенности для капель разного размера. Конечно, сделанное предположение о том, что капли мгновенно сливаются, приводит к несколько неверным результатам, но вопрос о времени слияния двух капель разного размера также остается открытым. Время слияния двух капель разного размера, рассчитанное по среднему радиусу и методике [6], равно $\approx 10^{-7}$ с, что практически совпадает с шагом расчета. Возможен также и другой вариант схемы закипания, при котором капли не сливаются, а растут, взаимодействуя друг с другом, в том случае, если стабилизирующий эффект от ПАВ достаточно велик. Но также может существовать и комбинация данных схем. В целом же любая схема рассмотрения приведет к тепловому равновесию как в случае рассмотрения слияния капель, так и в случае изучения теплового контакта. Поэтому данная методика расчета закипания эмульсий является вполне приемлемой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шерман Ф. Эмульсии / Шерман Ф. – Л.: Химия, 1972. – 312с.
2. Солодов А.П. Гравитационные пузырьковые течения / Солодов А.П. // Теплоэнергетика. – 2002. – №8. – С.59-64.
3. Павленко А.М. Кинетика испарения в процессах гомогенизации / А.М.Павленко, Р.А.Климов, Б.И.Басок // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28. – №6. – С.14-20.
4. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении / Толубинский В.И. – К.: Наукова думка, 1980. – 316с.
5. Павленко А.М. Перемещение капель дисперсной фазы при вскипании эмульсий / А.М.Павленко, Р.А.Климов // Металлургическая теплотехника: сб. науч. трудов. – Днепропетровск: НМетАУ. – 2007. – С.203-210.
6. Накорчевский А.И. Гидродинамика и тепломассоперенос в гетерогенных системах и пульсирующих потоках / А.И.Накорчевский, Б.И.Басок. – К.: Наукова думка, 2001. – 348с.

Поступила в редколлегию 26.11.2013.

УДК 532.542.86.(088.8)

ГОЦУЛЕНКО В.В., к.т.н., ст. науч. сотр.
ГОЦУЛЕНКО В.Н.*, к.т.н., доцент

Институт технической теплофизики НАН Украины
*Институт предпринимательства „Стратегия”, г. Желтые Воды

МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВОСХОДЯЩЕЙ ВЕТВИ НА НАПОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СНИЖЕНИЕМ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА

Введение. Нестационарное движение жидкостей или газов в потенциально неустойчивых элементах [1] различных энергетических систем определяется уравнениями с сосредоточенными или распределенными параметрами. Известно, что при выполнении условия $\frac{\omega \ell}{c} \leq \frac{\pi}{12}$ движение сплошной среды можно рассматривать как динамическую систему с сосредоточенными (дискретными) параметрами, а при его невыполнении – соответственно с распределенными параметрами.