

5. Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г., Арсланова С.Н. Акустическая коагуляция аэрозоля в технологии газификации криогенных жидкостей. // В сборнике: Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках. Пятая международная конференция : Тезисы докладов. - 2015. - С. 96-98.
6. Баянов И.М., Тонконог В.Г., Гортышов Ю.Ф., Арсланова С.Н., Тонконог М.И., Мубаракшин Б.Р. Сепарация фаз при газификации сжиженного природного газа. // В сборнике: Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену 2014. С. 802-805.
7. Тонконог В.Г., Коченков А.Г., Кусюмов С.А. Кавитационный парогенератор для опреснительной установки. // Труды Академэнерго. 2011. - № 2. - С. 33-39.

© Кувшинов Н.Е., Салимханов М.М., 2016

УДК 62-176.2

**Н.Е. Кувшинов**

инженер научно-исслед. лаборатории «ФХПЭ»

**Р.Р. Файрушин**

магистр 2 курса гр. ГТУМ-1-15

Казанский государственный энергетический университет

г. Казань, Российская Федерация

## ПУЗЫРЬКОВЫЙ ПОТОК

### Аннотация

В данной статье рассматривается математическая обработка роста пузыря, его уравнение, а так же последующее решение.

### Ключевые слова

Теплопроводность, пузырьковый поток, дисперсный поток, Уравнение Плезет

Для роста пузыря, чтобы иметь место  $P_v - P_l$  должен быть положителен и для испарения, чтобы иметь место  $T_l - T_v$  должен быть положителен.

Математическая обработка роста пузыря сложна. (Forester и Zuber) Они предполагали, что господствующий механизм теплообмена - теплопроводность. (Плезет и Цвик) Они предполагали единичный сопротивление теплообмена, обеспеченное тонким жидким оболочка окружающим пузырь.

Решение уравнения роста пузыря может быть упрощено, рассматривая последовательность трех режимов пузыря:

-поверхностное напряжение управляла стадией, где пузырь растет от критического радиуса (зарождение, нуклеация). Самый маленький пузырь, способный к росту имеет радиус:

$$r_1 = \frac{2\sigma}{P_{sat} - P_s}$$

-инерция управляла стадией, где пузырь растет по постоянной норме, определенной давлением пара и плотностью перегретой жидкости. Этот процесс имеет место очень быстро (в порядке микросекунд) и заключительный радиус пузыря - приблизительно в 10 раз  $r_1$ :

$$r_2 \approx 10 \cdot r_1$$

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{\frac{2(P_B - P)}{3\rho_l}}$$

асимптотическая стадия, где пузырь растет, ограничена теплообмена, и следует Плезет и Цвик отношение или другая корреляция

Уравнение Плезет и Цвик

$$\dot{R} \approx \frac{R_0}{\pi\mu} \left( \frac{\alpha}{3t} \right)^{0.5} = \left( \frac{3}{\pi} \right)^{0.5} \frac{k(T_0 - T_b)}{L\rho'D^{0.5}} \frac{1}{t^{0.5}}$$

В работе предложено отношение для роста пузыря, которое для асимптотических случаев «медленного и быстрого роста пузыря.

$$m = \frac{dR}{d\tau}$$

$$m = \sqrt{\frac{3}{\pi} Ja} + \sqrt{\frac{3}{\pi} Ja^2 + 2Ja}$$

$$Ja = \frac{\rho' C_p \Delta T}{\rho'' L}$$

$$R_n = R_{kp} + \frac{dR}{d\tau}$$

$$m_n = \frac{4}{3} \pi \rho_2 R_n^3$$

$$\Gamma'_{32} + \Gamma''_{32} = N \frac{4}{3} \pi R_n^3 \rho_2$$

где  $\rho'$  - плотность жидкости;  $\rho''$  - плотность пара;  $\Delta T = T_\infty - T_s$  “жидкость на бесконечности – поверхность пузырька”;  $C_p$  - удельная теплоемкость жидкости при постоянном давлении;  $L$  - теплота фазового перехода;  $R$  - радиус пузыря;  $\tau$  - время;  $a$  - теплопроводность.

#### Список использованной литературы:

1. Misbakhov R.S., Moskalenko N.I., Bagautdinov I.Z., Gureev V.M., Ermakov A.M. Simulation of surface intensification of heat exchange in shell-and-pipe and heat exchanging devices. // Biosciences Biotechnology Research Asia. - 2015. - Т. 12. - С. 517-525.
2. Misbakhov R.Sh., Moskalenko N.I. Simulation of heat transfer and fluid dynamics processes in shell-and-pipe heat exchange devices with segmental and helix baffles in a casing. // Biosciences Biotechnology Research Asia. - 2015. - Т. 12. - С. 563-569.
3. Safin A.R., Ivshin I.V., Kopylov A.M., Misbakhov R.S., Tsvetkov A.N. Selection and justification of design parameters for reversible reciprocating electric machine. // International Journal of Applied Engineering Research. - 2015. - Т. 10. - № 12. С. 31427-31440.
4. Мисбахов Р.Ш. Влияние добавок водорода на технико-экономические и экологические показатели газовых и дизельных двигателей. // автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, - 2010
5. Тукмаков А.Л., Тонконог В.Г., Коченков А.Г., Кусюмов С.А. Моделирование низконапорного течения воды через сопло лавая с учетом парообразования на основе односкоростной двухтемпературной модели двухфазного течения. // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2012. - № 1. - С. 40-47.

© Кувшинов Н.Е., Файрушин Р.Р., 2016

**В.В.Кузнецов**

д.ф.-м.н., заведующий отделом

ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Г. Новосибирск, Российская Федерация

## **МАКРОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЙ В РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЕ С НАСАДКОЙ**

### **Аннотация**

Рассмотрены процессы самоорганизации противоточного парожидкостного течения при разделении многокомпонентной смеси в ректификационной колонне. Получены условия возникновения макромасштабных конвективных течений при разделении бинарной смеси хладонов R21-R114 в колонне, заполненной регулярной структурной насадкой Koch 1Y. По физическим свойствам такая смесь близка к свойствам компонент воздуха при криогенных температурах.

### **Ключевые слова**

Бинарные смеси, макромасштабные конвективные течения, ректификация

Наиболее эффективным способом разделения жидких смесей на чистые компоненты, отличающиеся температурами кипения, является ректификация, которую проводят в колоннах различного типа при противоточном непрерывном контакте паров и жидкостей [1]. В последнее время задачи повышения производительности ректификационных колонн обусловили необходимость применения регулярных насадок для создания непосредственного контакта между паром и жидкостью. Такие насадки обеспечивают меньшие потери давления и увеличивают поверхность контакта фаз по сравнению с нерегулярными насадками или ректификационными тарелками. Для регулярных структурных насадок изучаются физические процессы в сложных канальных системах, создаются методы расчета эффективности разделения бинарных смесей для насадок различного типа [2].

Процесс обогащения пара более летучими компонентами и обеднение ими жидкости с выходом продуктов разделения в верхней и нижней частях колонны происходит вследствие имеющейся разности концентраций компонент в жидкости и паре. Поэтому возникновение крупномасштабных неоднородностей течения жидкости и пара и концентраций компонент вызывает ухудшение эффективности разделения [3]. В данной работе рассмотрены условия возникновения макромасштабных конвективных течений в колонне и их влияние на процесс разделения бинарной смеси хладонов R21-R114 в колонне, заполненной структурной насадкой Koch 1Y. По физическим свойствам такая смесь при комнатной температуре, близка к свойствам компонент воздуха при криогенных температурах.

Рассмотрим противоточное течение жидкости и пара в ректификационной колонне со структурной насадкой при разделении бинарной смеси газов. В такой колонне жидкость стекает вниз под действием силы тяжести в виде тонкой пленки по поверхности структурной насадки и пар поднимается вверх в условиях интенсивного массообмена на межфазной поверхности. Основной причиной спонтанной самоорганизации противоточного многокомпонентного течения с образованием крупномасштабных структур в процессе разделения в сложных канальных системах являются конвективные течения, возникающие в колонне с отрицательным градиентом плотности пара вдоль силы тяжести из-за перехода легколетучего компонента из жидкости в пар.

Численные расчеты разделения смеси хладонов R21-R114 в колонне, заполненной структурной насадкой Koch 1Y, выполненные на основе одномерной неравновесной модели неэквилибрийного разделения [4] для условий, соответствующих экспериментам [2], показали, что наибольшие градиент концентрации легколетучего компонента и плотность пара расположены в верхней части колонны. Градиент концентрации значительно возрастает при увеличении отношения мольных расходов жидкости и пара от 1 до 1.7, рисунок 1, что может служить причиной развития конвективных течений в поле силы тяжести.