

КИПЕНИЕ ЭМУЛЬСИЙ С НИЗКОКИПАЮЩЕЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОЛОЧНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Б.М. Гасанов¹, Н.В. Буланов²

¹*Институт теплофизики УрО РАН, 620016, Россия, Екатеринбург, ул. Амундсена, 106,*

bulanov@itp.uran.ru

²*Уральский государственный университет путей сообщения, 620034, Россия, Екатеринбург,*

ул. Колмогорова, 66, NBulanov@usurt.ru

Представлены результаты экспериментального исследования теплоотдачи от тонких платиновых проволок к эмульсиям с низкокипящей дисперсной фазой. Показано зарождение, рост и отрыв пузырьков пара при кипении на горизонтальной и вертикальной нагреваемой поверхности. Получена зависимость температуры задержки начала кипения от концентрации эмульсии.

Введение

Кипение эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой сопровождается рядом особенностей [1-4]. Это высокие перегревы капелек дисперсной фазы, широкие, по сравнению с чистыми жидкостями, интервалы пузырькового кипения, высокие значения коэффициентов теплоотдачи. Задержка начала кипения связана с тем, что центры кипения на греющей поверхности не работают, а плотность центров кипения в объеме капелек дисперсной фазы при малых температурных напорах оказывается недостаточной для интенсивного кипения. На величину задержки начала кипения оказывает влияние концентрация эмульсии и диаметр капелек дисперсной фазы. Задержку начала кипения можно регулировать путем введения в эмульсию различных поверхностно-активных веществ и адсорбентов (цеолитов, опок, полимеров и др.). Настоящая работа посвящена исследованию возникновения, роста и отрыва пузырьков

пара дисперсной фазы эмульсии при кипении эмульсий типа масло в воде (фреон-11/вода) и вода в масле (вода/вакуумное масло ВМ-1С) на поверхности проволочного нагревателя. Исследования проведены при горизонтальном и вертикальном положении нагревателя. Также в данной работе рассмотрена связь между концентрацией эмульсии и температурой задержки начала кипения.

Кипение на вертикальной поверхности

Пузырьковое кипение эмульсии с низкокипящей дисперсной фазой можно разделить на слабо развитое и интенсивное кипение. Слабо развитое кипение наблюдается тогда, когда на поверхности нагревателя образуются пузырьки пара. При интенсивном кипении происходит быстрый рост и отрыв пузырьков пара от нагреваемой поверхности. В ряде случаев при интенсивном кипении наблюдается взрывообразное вскипание капелек дисперсной фазы эмульсии, как на поверхности нагревателя, так и в тепловом пограничном слое. На рис. 1 представлена зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры нагревателя T при вертикальном положении платиновой проволоки диаметром 0,10 мм и длиной 53 мм для эмульсии фреон-11/вода. Там же представлены фотографии при слабо развитом кипении *a* и при интенсивном кипении *b* и *c*. Парообразование происходит на центрах кипения, находящихся на поверхности проволоки. Объем вскипевшей капельки при слабо развитом кипении (рис. 1 фотография *a*) не всегда достигает критических размеров, т.е. размеров, при которых он может оторваться от нагреваемой поверхности и всплыть. При вертикальном положении проволоки, за счет возникающих конвективных потоков такие пузырьки пара вытесняются с поверхности нагревателя, а на их месте вскипают новые капельки дисперсной фазы. Такое кипение носит слабо развитый характер (участок *ab* рис. 1). При дальнейшем увеличении температуры нагревателя наблюдается интенсивное пузырьковое кипение (участок *bc* рис. 1). Интенсивное пузырьковое кипение наблюдается тогда, когда пузырьки пара достигают критического размера и отрываются от поверхности нагревателя и их место занимают новые паровые пузыри меньшего размера. При этом, как и в чистых жидкостях, с ростом перегрева радиус

критического пузырька уменьшается. Такой же характер теплообмена наблюдается и при кипении эмульсии н-пентан/вода.

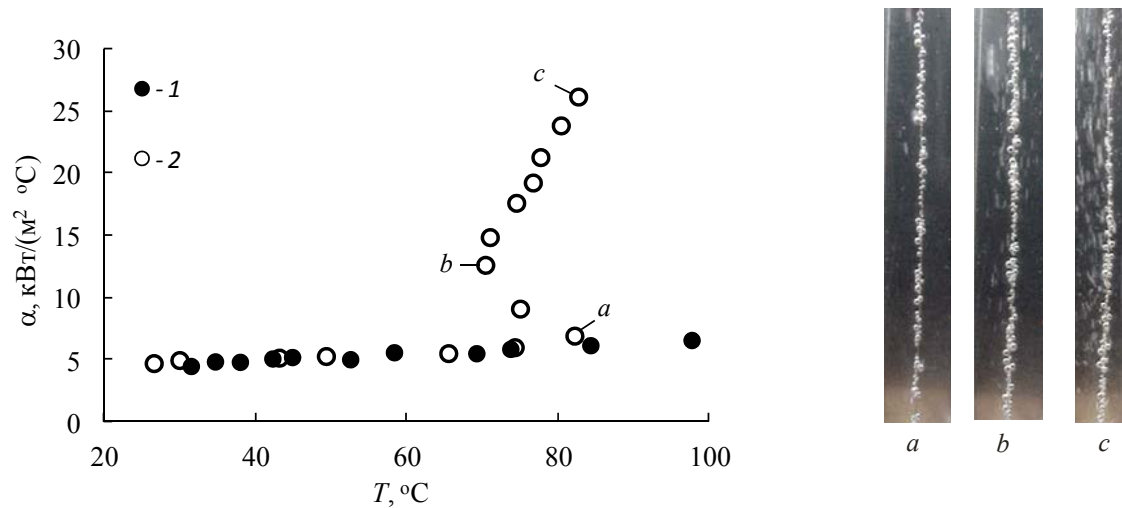


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры нагревателя T при конвективном теплообмене и пузырьковом кипении на вертикальной платиновой проволоке: 1 – чистая вода; 2 – эмульсия фреон-11/вода с концентрацией $C = 3,0$ об. %; a, b, c – фотографии проволоки при разных режимах кипения

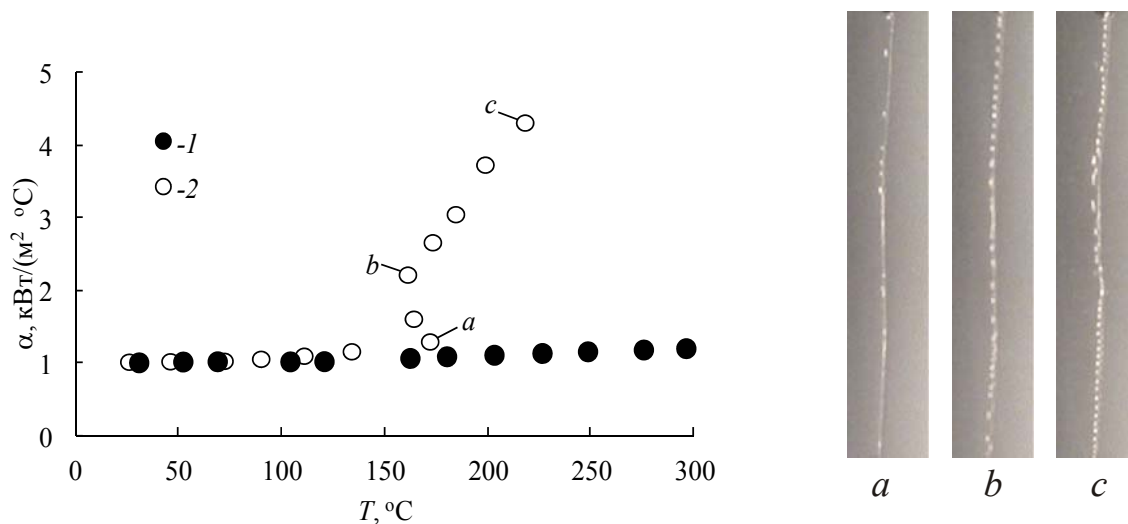


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры нагревателя T при конвективном теплообмене и пузырьковом кипении на вертикальной платиновой проволоке: 1 – чистая вода; 2 – эмульсия вода/масло VM-1C с концентрацией $C = 0,3$ об.%; a, b, c – фотографии проволоки при разных режимах кипения

При кипении эмульсии типа вода в масле слабо развитый режим пузырькового кипения такой же, как и при кипении эмульсий типа, масло в воде (рис. 2 фотография *a*). Интенсивное кипение эмульсии вода в масле сопровождается взрывным кипением перегретых капелек воды, как на поверхности нагревателя, так и в тепловом пограничном слое, что приводит к дополнительной турбулизации теплового пограничного слоя (рис. 2 фотография *c*)

Кипение на горизонтальной поверхности

На рис. 3 представлена зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры нагревателя T при горизонтальном положении платиновой проволоки диаметром 0,10 мм и длиной 53 мм для эмульсии вода /масло ВМ-1С. Если при вертикальном положении проволоки пузырьки пара, не достигшие критических размеров, вытесняются конвективными потоками с нагреваемой поверхности, то на горизонтальной поверхности такие пузырьки пара под действием конвективных потоков хаотически передвигаются по поверхности проволоки, объединяются с другими паровыми пузырями, достигают критического размера и всплывают. Участок кривой *ab* (рис. 3) соответствует слабо развитому кипению, а *bc* интенсивному. При интенсивном кипении (рис. 3 фотография *c*), наблюдается взрывное кипение перегретых капелек дисперсной фазы, которое приводит к тому, что от поверхности нагревателя отрываются пузырьки пара, которые еще не достигли критического размера, и на их месте образуются новые пузырьки. При кипении эмульсий типа масло в воде (рис. 4) характер слабо развитого кипения такой же, как и при кипении эмульсии вода/масло ВМ-1С, т.е. образующиеся пузырьки пара не достигают критического размера, объединяются и всплывают. Интенсивное кипение эмульсии такого типа не сопровождается взрывным кипением, капельки дисперсной фазы вскипают на поверхности нагревателя и всплывают, на их месте вскипают другие капельки (рис. 4*b*).

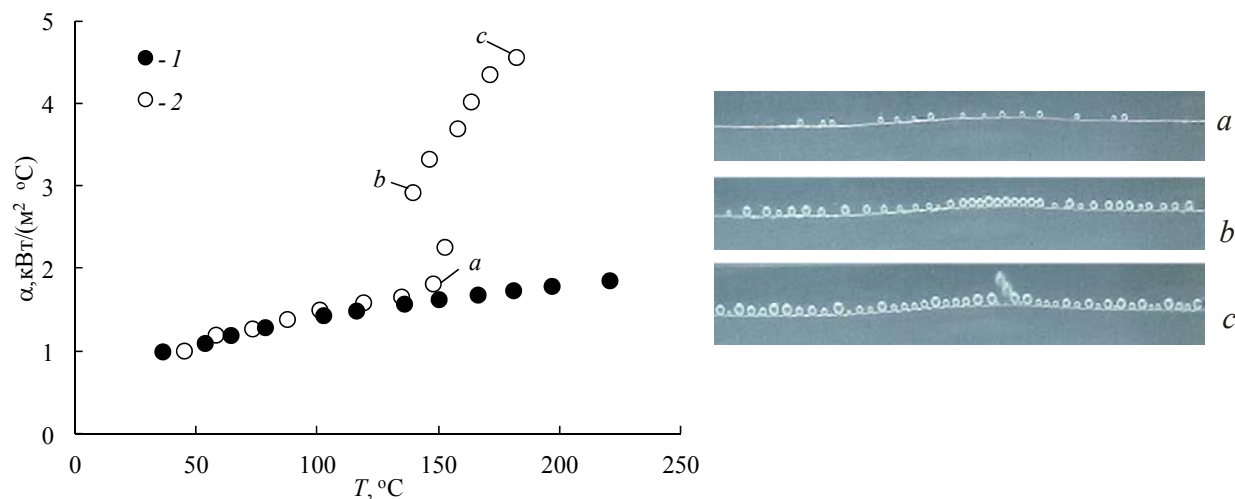


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от температуры нагревателя T при конвективном теплообмене и пузырьковом кипении на горизонтальной платиновой проволоке:
 1 – чистая вода; 2 – эмульсия вода/масло ВМ-1С с концентрацией $C = 0,5$ об. %;
 а, б, с – фотографии проволоки при разных режимах кипения

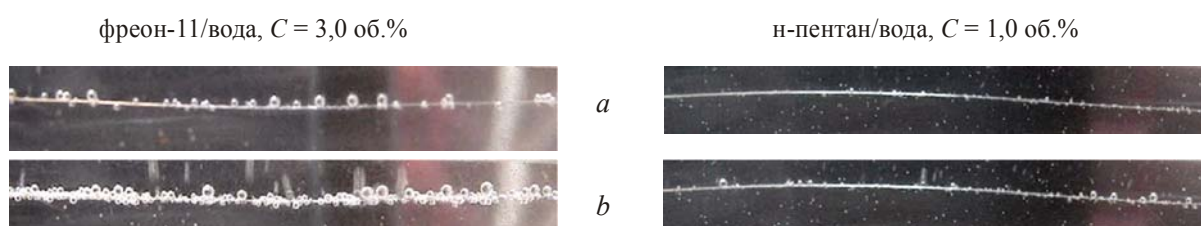


Рис. 4. Слаборазвитое кипение *a* и интенсивное кипение *b* эмульсий фреон-11/вода и н-пентан/вода на горизонтальной платиновой проволоке диаметром 0,1 мм и длиной 53 мм

Зависимость задержки начала кипения от концентрации

Как было отмечено выше, на характер теплообмена при кипении эмульсии влияет концентрация эмульсии. На рис. 5 и 6 представлены результаты экспериментального исследования при теплообмене эмульсии вода/масло ВМ-1С и н-пентан/глицерин. Из рисунка видно, что наибольшие величины задержки начала кипения $\Delta T_{зд}$ наблюдаются при малых концентрациях эмульсии. С ростом концентрации эмульсии количество способных вскипеть капелек дисперсной фазы увеличивается, этим объясняется тот факт, что увеличение

концентрации эмульсии приводит к уменьшению величины $\Delta T_{зд}$. Нами получена зависимость температуры задержки начала кипения от концентрации эмульсии

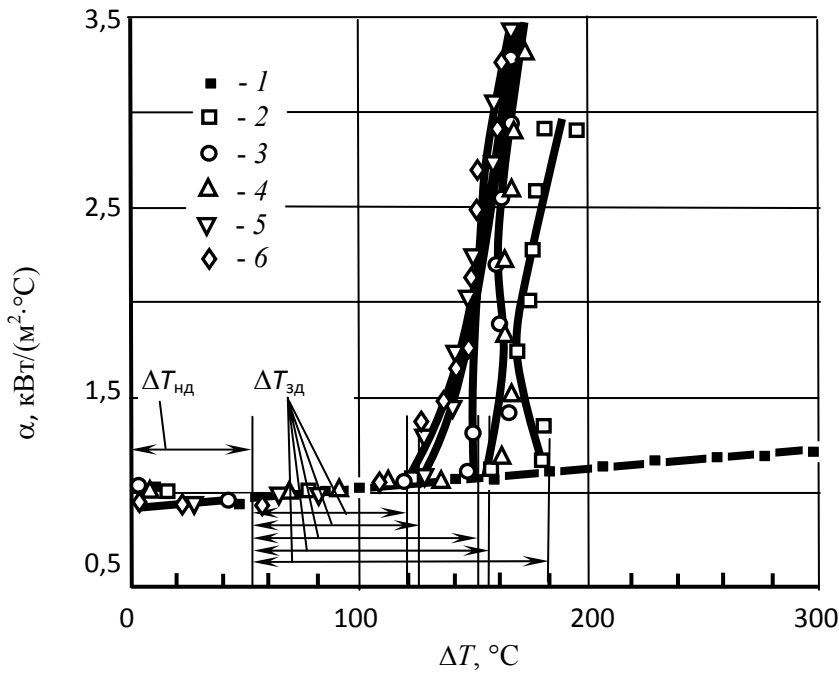


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от разности температур ΔT нагревателя T_w и теплоносителя T_0 для эмульсии вода/масло ВМ-1С для вертикальной платиновой проволоки диаметром 0.10 мм, $T_0 = 21.8$ °С.

1 – чистое масло ВМ-1С, 2 – 6 – эмульсия вода/масло ВМ-1С с концентрациями $C = 0.1, 0.3, 0.6, 1.0, 3.0$ об. %, соответственно.

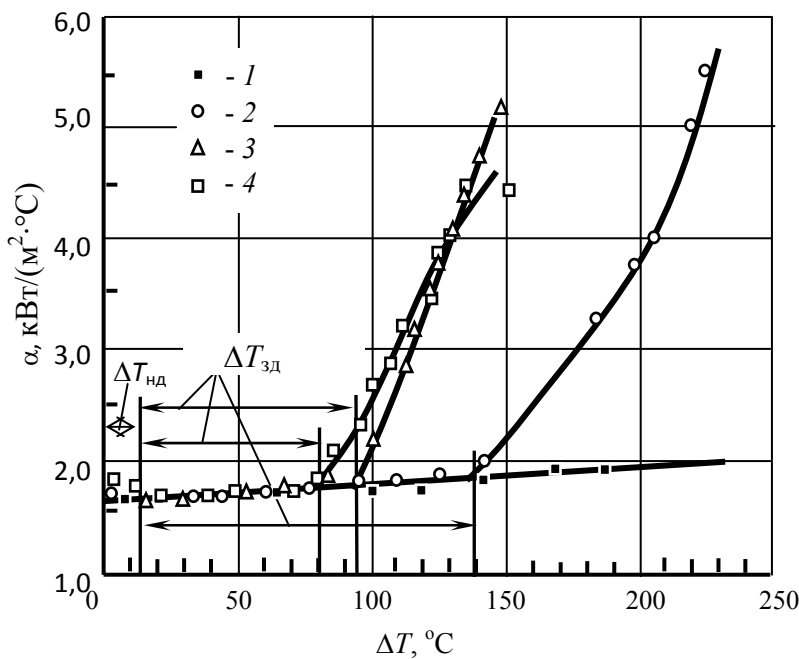


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплоотдачи α от разности температур ΔT нагревателя T_w и теплоносителя T_0 для эмульсии н-пентан/глицерин для вертикальной платиновой проволоки диаметром 0,10 мм, при $T_0 = 22,8$ °С.

1 – чистый глицерин, 2 – 4 – эмульсия н-пентан/глицерин с концентрациями $C = 0,5; 3,0; 10,0$ об. %, соответственно.

Нами получена зависимость температуры задержки начала кипения от концентрации эмульсии

$$\Delta T_{здi} = k \cdot C^{-1/3}, \quad (1)$$

где k - коэффициент, равный 11 К для эмульсии вода/масло ВМ-1С и 25К для эмульсии н-пентан/глицерин. На рис. 7 показана проверка полученной зависимости. Линии проведены по результатам обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов по однопараметрическому уравнению (1). Из рис. 7 видно, что в пределах точности экспериментальных данных (рис. 5 и 6) зависимость (1) подтверждается.

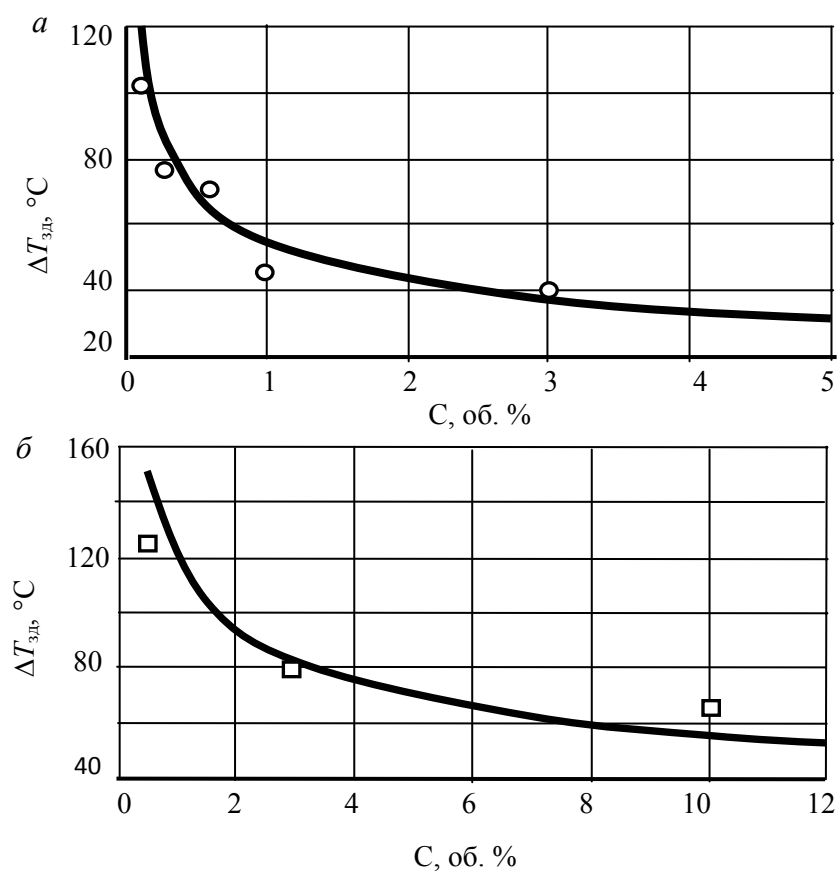


Рис. 7. Связь концентрации дисперсной фазы эмульсии и температуры задержки начала кипения

а – эмульсия вода/масло ВМ-1; *б* – н-пентан/глицерин

Литература

- [1] Гасанов Б.М., Буланов Н.В., Байдаков В.Г. Особенности кипения эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой и с добавкой ПАВ. Инженерно-физический журнал. 1997. Т. 70, № 2. С. 184-187.

[2] Буланов Н.В., Гасанов Б.М., Турчанинова Е.А. Результаты экспериментального исследования теплообмена эмульсий с низкокипящей дисперсной фазой. Теплофизика высоких температур. 2006. Т. 44. № 2. С. 268-284.

[3] Гасанов Б. М., Буланов Н.В. Теплоотдача при кипении эмульсии на поверхности тонких проволочек. Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. С. 477-480.

[4] M.L. Roesle, F.A. Kulacki. Boiling of small droplets. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2010. Vol. 53. Issues 23–24. pp. 5587-5595.