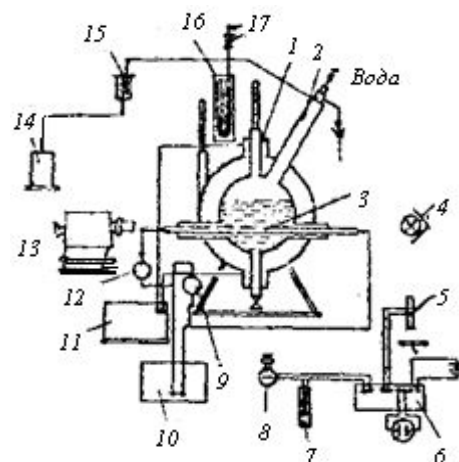


ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ВОДЫ И САХАРНЫХ РАСТВОРОВ

Во многих отраслях промышленности, в частности в сахарной, процессы выпаривания водных растворов органических веществ в выпарных аппаратах и кристаллизация сахарозы в вакуум-аппаратах проходят при пониженных давлениях. Это вызвано термолабильностью сахарных растворов и суспензий кристаллов в межкристальном растворе (уфелей). В последнее время изучение процесса кипения растворов и суспензий при пониженных давлениях все больше привлекает внимание исследователей. Так, в работах [1, 5] исследовался процесс кипения сахарных растворов ($CB = 20; 40; 60$ и 70%) в большом объеме при пониженных давлениях. В работах [3, 4] рассматривался процесс теплообмена кипящей под разрежением и при атмосферном давлении воды в условиях естественной конвекции. Вопросом теплообмена при изменении агрегатного состояния занимаются в настоящее время многие исследователи. Однако следует отметить, что закономерности теплоотдачи при кипении жидкостей, растворов и суспензий при пониженных давлениях требуют дальнейшего изучения, так как механизм процесса имеет существенные особенности [3]. Это вызывает необходимость изучения вопроса как с точки зрения разработки надежной методики расчета испарителей, так и с точки зрения дальнейшего исследования механизма процесса кипения жидкостей, растворов и суспензий.

Поставленная нами задача заключалась в установлении закономерностей процесса кипения сахарных растворов и уфелей при пониженных давлениях и сводилась к нахождению связи между физическими свойствами кипящих растворов различных концентраций, греющей поверхностью, режимными параметрами, скоростью зарождения и роста пузырей, их размерами в числом. Была изготовлена установка (рис. 1) для исследования механизма кипения на горизонтальной трубке. Во избежание загрязнения от коррозии узлы и детали установки выполнены из аустенитной стали X18H10T и цветных металлов.

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – корпус установки с компенсационной полостью; 2 – конденсатор; 3 – экспериментальная трубка; 4 – осветитель; 5 – гальванометр М-17; 6 – потенциометр Р-306; 7 – сосуд Дюара; 8 – многоточечный переключатель; 9 – вольтметр; 10 – универсальный источник питания; 11 – ультратермостат; 12 – амперметр; 13 – скоростная кинокамера СКС-16М; 14 – вакуумнасос; 15 – ресивер; 16 – вакуумметр; 17 – регулировочный воздушный вентиль



Принятая нами методика позволяла путем электрических измерений определять мощность рассеивания на рабочем участке экспериментальной трубки и расчетным путем определять интенсивность теплового потока и коэффициенты теплоотдачи к кипящим растворам и уфелям по уравнению

$$\alpha_2 = \frac{q}{\Delta t} = \frac{IU}{F(t_m - \delta t - t_n)}, \quad (1)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки к кипящему раствору, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ C)$; Δt – температурный напор, $^\circ C$; I – сила тока в цепи, A ; U – падение напряжения на рабочем участке нагревателя, B ; F – площадь экспериментального участка трубки, $м^2$; δt – температурный перепад в стенке экспериментальной трубки, $^\circ C$; t_n – температура насыщения, $^\circ C$; t_m – температура, соответствующая показанию термометра, $^\circ C$.

Перед началом проведения опытов поверхность экспериментальной трубки подвергалась предварительному формированию, при длительном кипении исследуемого раствора на поверхности нагрева. Это позволяет получать стабильные результаты. Исследования механизма теплообмена к кипящим сахарным растворам в условиях свободной конвекции проводились при изменении давления от 0,2 до 1 бар и интенсивности теплового потока от 10000 до 100000 Вт/м². Опыты отчетливо показали две зоны кипения – переходную, которая затягивается с увеличением разрежения, и пузырьковую. Переходная, или конвективная зона кипения, характеризуется менее интенсивным переносом тепла вследствие малого числа действующих центров парообразования. Для этого режима кипения основной составляющей переноса тепла являются конвективные потоки, на которые накладывается еще и перенос тепла, за счет теплота испарения. В этих условиях повышение перегрева жидкости ведет к возникновению новых центров, парообразования и вносит значительное изменение в процесс, заключающееся в увеличении коэффициента теплоотдачи.

При значительных разрежениях (0,059 бар) развитое пузырьковое кипение наступает при больших тепловых потоках. Эта закономерность наблюдалась для растворов различных концентраций ($CB = 0...80\%$). Явление затягивания первой стадии кипения можно объяснить значительным увеличением размеров минимальных зародышей паровой фазы, которое приводит к торможению процесса образования пузырьков на гладких поверхностях. Это подтверждается выражением

$$R_{\min} = \frac{2\gamma T^*}{rc''\Delta t}, \quad (2)$$

где R_{\min} – минимальный радиус зародыша паровой фазы, м; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м; T^* – абсолютная температура насыщенного пара, °С; r – скрытая теплота парообразования, Дж/кг; ρ'' – плотность пара, кг/м³.

Развитое пузырьковое кипение при значительных разрежениях (0,2— 0,059 бар) наступает взрывообразно. Пузырьки образуются в различных местах экспериментальной трубки без явно выраженных центров, при этом наблюдается значительная пульсация температуры стенки (5–6°С), которая объясняется нерегулярностью процесса кипения. Отрывные диаметры пузырей трудно определить даже при низких плотностях тепловых потоков, так как при этом нарушается стабильность процесса кипения. При высоких плотностях тепловых потоков пузыри теряют шаровидную форму, дробятся на более мелкие, соединяются с соседними, образуя паровые конгломераты.

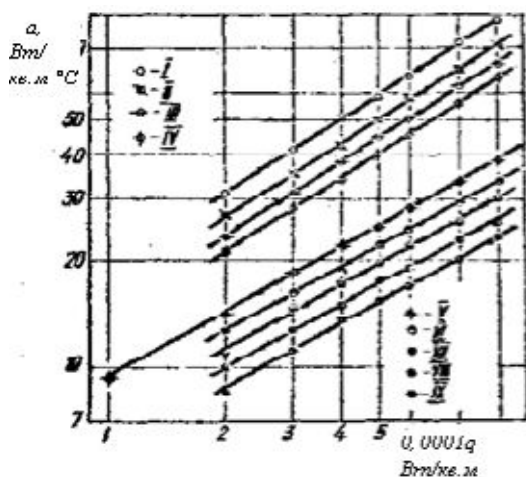


Рис. 2. Зависимость $\alpha_2=f(q)$: 1 – $p=1$ бар; 2 – $p=0,728$ бар; 3 – $p=0,461$ бар; 4 – $p=0,198$ бар (вода); 5 – $p=0,98$ бар; 6 – $p=0,717$ бар; 7 – $p=0,452$ бар; 8 – $p=0,188$ бар; 9 – $p=0,059$ бар (сахарный раствор, $CB=80\%$)

При увеличении разрежения коэффициент теплоотдачи уменьшается, что полностью подтверждается нашими экспериментальными данными. Из рис. 2, где для разных давлений получены значения α_2 при кипении воды и сахарных растворов при различных тепловых нагрузках поверхности нагрева, следует, что зависимости $\alpha_2=f(q)$ имеет существенные отличия от аналогичной зависимости при кипении воды. Так, с увеличением

концентрации сахарных растворов коэффициент теплоотдачи уменьшается вследствие увеличения вязкости и снижения теплопроводности растворов. Показатель степени при удельном тепловом потоке в известном уравнении

$$\alpha_2 = Aq^n p^m, \quad (3)$$

для случая кипения растворов с различными концентрациями и при различных разрежениях величина переменная. В наших опытах при $CB = 0 - 80\%$ показатель степени n изменялся соответственно от 0,7 до 0,6. Степень влияния давления на коэффициент теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении величина постоянная и равна $m \approx 0,15$. Постоянная A , заключающая в себе влияние физических констант исследуемых жидкостей и растворов, различна для разных жидкостей и изменяется от 2,75 для воды до 3,55 для сахарных растворов с $CB - 80\%$.

Одновременно с определением α_2 в наших опытах производилось кинематографическое исследование скорости роста паровых пузырей $D_0 f$ при определенных режимах ($q = \text{const}$, $p = \text{const}$, $\alpha_2 = \text{const}$). Пленки обрабатывались на специально переоборудованном кинопроекторном аппарате «Украина», позволяющем получить 150-кратное увеличение изображения.

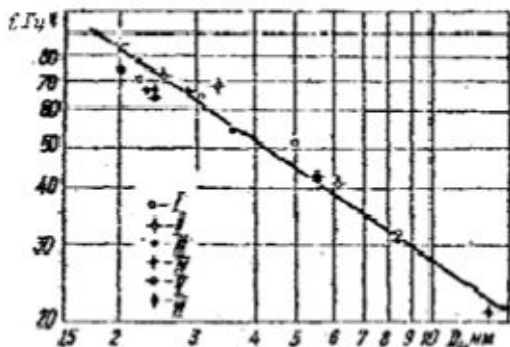


Рис. 3. Зависимость частоты отрыва паровых пузырей от величины отрывного диаметра: 1 – сахарные растворы $CB = 80\%$; 2 – вода (опытные данные); 3 – сахарные растворы $CB = 70\%$; 4 – вода; 5 – 25%-ный раствор NaCl ; 6 – 29%-ный раствор Na_2CO_3 [5]

Отрывной диаметр пузырька D_0 определялся в момент времени, предшествующий отрыву, путем сравнения его с калибром минимум двумя взаимно перпендикулярными измерениями изображения. Повторные измерения позволяли достаточно точно определить линейные размеры невибрирующих пузырьков, в дальнейшем под отрывным диаметром пузырька мы подразумеваем его среднее значение. Частота отрыва пузырьков f устанавливалась подсчетом числа кадров от отрыва предыдущего пузырька до отрыва последующего при известной скорости съемки. Средние количественные характеристики D_0 и f находили путем двойного усреднения: для пузырей, выходящих из одного центра парообразования, и для всех центров на поверхности нагрева. В случаях, где было возможно, обрабатывали все пузырьки, в остальных случаях обработку вели только для наиболее характерных пузырей. Результаты экспериментов приведены на рис. 3. Из рисунка видно, что частота отрыва паровых пузырьков находится в определенной связи с отрывным диаметром, но не зависит от интенсивности теплового потока, который влияет только на число действующих центров парообразования. Связь между частотой и отрывным диаметром пузырька в первом приближении описывается уравнением

$$f = 134 D_0^{-0,68}. \quad (4)$$

Из рис. 3 видно, что уравнение (4) дает только приближенную картину, так как частота отрыва пузырей зависит не только от величины отрывного диаметра, но и от теплофизических свойств исследуемой жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жура С.К. Островский Ю. Н.– Изв. вузов, Пищевая технология, 1968, 1.
2. Лабунцов Д.А. и др.– В кн. Теплообмен в элементах энергетических установок. «Наука», М.: 1966.
3. Мамонтова Н. М.– ПМТФ, 1966, 3.
4. Стюшин Н. Г., Элинзон Л. М – ИФЖ, 1969, 16, 1.
5. Толубинский В. И., Островский Ю. Н.— В кн.: Конвективный теплообмен. «Наукова думка», К.: 1965.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ КИПІННІ ВОДИ І ЦУКРОВИХ
РОЗЧИНІВ
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ ВОДЫ И
САХАРНЫХ РАСТВОРОВ
RESEARCH OF MECHANISM OF HEAT EXCHANGE AT BOILING OF WATER AND
SUGAR SOLUTIONS

В.Т. Гаряжа, В. Р. Кулінченко
В.Т. Гаряжа, В. Р. Кулинченко
V.T. Garyazha, V.R. Kulintchenko

Поставлене нами завдання полягало у встановленні закономірностей процесу кипіння цукрових розчинів і утфелів при зниженому тиску і зводилося до знаходження зв'язку між фізичними властивостями киплячих розчинів різних концентрацій, гріючою поверхнею, режимними параметрами, швидкістю зародження і зростання бульбашок, їх розмірами і числом. Була виготовлена установка для дослідження механізму кипіння на горизонтальній трубці Щоб уникнути забруднення від корозії вузли і деталі установки виконані з аустейтної сталі Х18Н10Т і кольорових металів.

Ключові слова: кипіння, цукор, розчин, утфіль

Поставленная нами задача заключалась в установлении закономерностей процесса кипения сахарных растворов и утфелей при пониженных давлениях и сводилась к нахождению связи между физическими свойствами кипящих растворов различных концентраций, греющей поверхностью, режимными параметрами, скоростью зарождения и роста пузырей, их размерами в числом. Была изготовлена установка для исследования механизма кипения на горизонтальной трубке Во избежание загрязнения от коррозии узлы и детали установки выполнены из аустейтной стали Х18Н10Т и цветных металлов.

Ключевые слова: кипение, сахар, раствор, утфель

The task put by us consisted in establishment of conformities to the law of process of boiling of saccharine solutions and утфелей at decompressed and taken to finding of connection between physical properties of boiling solutions of different concentrations, warming surface, regime parameters, speed of origin and growth of bubbles, by their sizes in by a number. A fluidizer research of mechanism was made boiling on a horizontal tube In order to avoid contamination from corrosion knots and details of setting are executed Х18Н10Т and coloured

Keywords: boiling, sugar, solution, masecuite