

664.126.4.053.3

ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР ПРИ КИПЕНИИ УТФЕЛЕЙ

В. Т. ГАРЯЖА, В. Р. КУЛИНЧЕНКО, Ю. Г. АРТЮХОВ, Б. Г. ДИДУШКО, В. А. ТОКАРЕВ

*Киевский технологический институт пищевой промышленности*

Для изучения теплоотдачи при кипении высоковязких сахарных утфелей важно знать распределение их температур в элементах конструкций вакуум-аппаратов. Поле температур и связанная с ним толщина перегретого пристенного слоя зависят от интенсивности теплового потока  $q$ , массовой концентрации сухих веществ  $CB$ , давления  $p$ , скорости циркуляции  $W'$  и предопределяет рост паровой фазы, отрывные размеры пузырьков, число центров парообразования и частоту генерации пузырьков. Знание этих параметров, определяющих в известной мере механизм кипения, позволит создать физическую модель процесса теплоотдачи и определить его интенсивность.

В работах [1–3] отсутствует аналитическое описание изменения градиента температуры. В связи с этим на установке [4] выполнены измерения поля температур по высоте кипящего утфеля по текущей ординате  $H$ , изменяющейся от нуля у теплоотдающей поверхности до зеркала испарения.

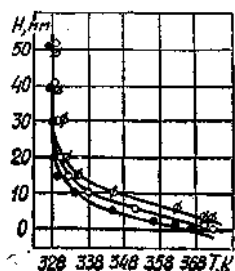


Рис. 1. Содержание твердой фазы/%: ● – 10, □ – 30 □ – 50

На рис. 1 показаны результаты измерений поля  $T$  в кипящих утфелях с различным содержанием твердой фазы при  $p = 13,1$  кПа и  $q = 40$  кВт/м<sup>2</sup>. Каждая экспериментальная точка на рисунке представляет собой среднее значение пульсации температуры, измеренной температурным зондом за промежуток времени, в течение которого зонд оставался неподвижным. Рассмотрение распределения температуры показало, что падение  $T$  по высоте кипящего утфеля происходит в основном внутри пристенного слоя, омывающего теплоотдающую поверхность.

С ростом массового содержания кристаллов сахара в утфеле т. у. с повышением эффективной вязкости, увеличивается и пристенный слой, в котором утфель значительно перегрет по сравнению с температурой кипения, соответствующей температуре насыщения с учетом физико-химической депрессии при определенном  $p$ . Почти вся полезная разность  $T$  «срабатывается» в пристенных слоях. Поэтому вследствие высокой интенсивности теплоотдачи к утфелю и малой теплопроводности пара по сравнению с эффективной теплопроводностью утфеля можно считать, что практически все тепло передается от поверхности нагрева к утфелю, а затем уже паровым пузырькам путем испарения в них жидкости. Растущие и отрывающиеся от теплоотдающей поверхности паровые пузырьки турбулизуют пристенный слой, однако он для утфелей достигает значительных размеров. Так, постоянная температура устанавливается при  $q = 10$  кВт/м<sup>2</sup> на расстоянии  $H = 55$  мм от теплоотдающей поверхности, а при  $q = 80$  кВт/м<sup>2</sup> на расстоянии –  $H = 30$  мм.

С технологической стороны существование значительного по размерам перегретого слоя приводит к образованию поля концентраций, в котором межкристальный раствор утфелей претерпевает изменение насыщения. Так, в пристенных значительно перегретых слоях межкристальный раствор утфелей находится в ненасыщенном состоянии, что, согласно [5], приводит к включению его во впадины и трещины кристаллов, которые впоследствии зарастают, попадая в менее перегретые и более пересыщенные области, что

ведет к увеличению термоокрашенных примесей и к ухудшению качества кристаллической сахарозы.

Остановимся на более детальном анализе температурных полей (рис. 1). Все измеренные температурные профили кипящих утфелей характеризуются наличием линейного участка, расположенного над теплоотдающей поверхностью. Исследования позволили определить толщину теплового перегретого слоя  $\delta$  при изменяющихся тепловом потоке и количестве  $CB$  в утфелях. В работе [2] толщина теплового пристенного слоя определена как высота над поверхностью, за пределами которой средняя температура в кипящем утфеле постоянна. Авторы [6] указывали, что трудно определить, на какой именно высоте это условие достигается, так как невозможно сказать, где температурный градиент равен нулю, а область высокого перегрева жидкостей распространяется на небольшую высоту от теплоотдающей поверхности, которая значительно меньше величин  $\delta$ , приведенных в [2].

Для анализа температурных полей использовали методику, разработанную в [6], строящуюся на предположении, что в пристенном слое разность  $T$  имеет наибольшее значение. Толщину этого слоя  $\delta$  можно определить как расстояние от стенки, на котором касательная к температурному профилю у поверхности теплообмена пересекает линию постоянной температуры жидкости в объеме. Эта касательная фактически является мнимым продолжением (экстраполяцией) линейной части распределения температуры на температуру жидкости, находящейся в объеме. Поэтому  $\delta$  можно назвать «экстраполированной толщиной перегретого слоя» (ЭТПС). По-видимому, этот параметр достаточно точно отражает толщину перегретой области пристенного слоя.

Для кипящих утфелей ЭТПС является функцией двух переменных  $\delta = f(q, CB_y)$ , учитывающих влияние теплофизических и режимных параметров, так как для рассматриваемых стабильных и метастабильных утфелей  $CB_y = f(p)$ , а  $p \sim T$ . С увеличением  $q$  при  $CB_y = \text{const}$  и возрастающем содержании ЭТПС  $CB$  будет уменьшаться, а при  $q = \text{const}$  и возрастающем содержании  $CB$  утфеля – повышаться (рис. 2).

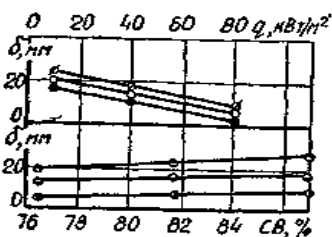


Рис. 2. Зависимость ЭТПС от интенсивности теплового потока при  $CB_y$ , %: ● – 76,4; □ – 81,7; □ – 87,0 и массовом содержании  $CB$  при  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>: □ – 10; □ – 40; □ – 80

Из рисунка видно, что нанесенные линии практически прямые, параллельные между собой. Это дало основание предположить, что зависимость  $\delta = f(q, CB_y)$  можно представить в общем виде эмпирической формулой:

$$\delta = A CB_y + Bq + C, \quad (1)$$

где  $A, B, C$  – постоянные эмпирического уравнения.

После определения постоянных эмпирическая формула в первом приближении будет;

$$\delta = 0,377 CB_y - 0,2q - 7,8, \quad (2)$$

где ЭТПС –  $\delta$ , мм;  $CB_y$  – массовое содержание  $CB$  утфеля, %;  $q$ , кВт/м<sup>2</sup>.

Уравнение (2) позволяет определить ЭТПС для утфелей с содержанием кристаллов сахара до 50% при изменении  $q$  до 80 кВт/м<sup>2</sup> и  $p > 5,2$  кПа. Это охватывает область гораздо шире той, в которой в настоящее время работают вакуум-аппараты сахарной промышленности.

При определении температурных полей замечено, что температурные пульсации достигают максимума на определенной высоте от поверхности нагрева, приблизительно равной ЭТПС. Это дает основание судить о том, что в этой области происходит сильная турбулизация, которая приводит к тому, что относительно холодный утфель, находящийся над перегретым слоем, опускается внутрь его, т. е. к теплоотдающей поверхности.

Полученная таким путем величина ЭТПС позволяет найти длину прямолинейной части температурного профиля и место, где температурные флуктуации достигают своего максимума. Уравнение (2) позволяет рассчитывать величину  $\delta$  при отсутствии данных измерения температурного профиля.

Обработка опытных данных в виде безразмерной температуры от безразмерного линейного размера

$$\frac{T - T_n}{T_{cm} - T_n} = u = f\left(\frac{H}{d}\right) \quad (3)$$

позволила получить обобщенный температурный профиль, для которого прямолинейная часть описывается уравнением (рис. 3 – I):

$$\frac{T - T_n}{T_{cm} - T_n} = 1 - \frac{H}{d}, \quad 0 \leq \frac{H}{d} \leq 0,9. \quad (4)$$

Условие, ограничивающее уравнение (4), показывает, что конец прямолинейной части (точка *б*, рис. 3 – 1) температурного профиля отклоняется от линейного закона при ЭТПС  $\approx 0,9 H/d$ .

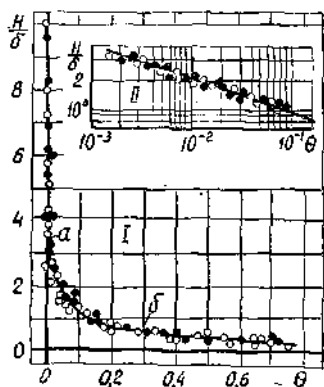


Рис. 3. Безразмерный температурный профиль кипящих utfелей при  $p$ , кПа: □ – 131; ● – 41,4

За участком с линейным распределением температуры следует область, где безразмерная разность температур связана степенной зависимостью с безразмерной функцией  $(H/d)$  рис. 3–I и рис 3–II. Эта зависимость соответствует уравнению:

$$\frac{T - T_n}{T_{cm} - T_n} = A \left(\frac{H}{d}\right)^n, \quad \frac{H}{d} > 0,9, \quad (5)$$

где  $A$  – постоянный коэффициент, определяемый путем совместного решения уравнений (4) и (5) в точке перегиба, т. е. при  $H/d=0,9$ .

Вычислить показатель степени  $n$  уравнения (5) затруднительно, так как величина  $n$  может быть функцией либо распределения активных центров на теплоотдающей поверхности, либо гидродинамических условий в пристенном слое или того и другого одновременно.

Согласно опытным данным (рис. 3 – II), в первом приближении можно считать  $n = -3,2$ .

Следовательно, для нелинейной области распределения  $T$  температурный профиль можно выразить уравнением (5) при  $A = 0,078$  и  $n = -3,2$ , из которого видно, что безразмерная температура обратно пропорциональна отношению линейных размеров в степени  $-3,2$ . Решение этой задачи в более общем виде потребует дополнительных систематических исследований.

По полученным температурным кривым можно расчетным путем определить поля пересыщений, вязкости, плотности, а также можно судить о количестве увариваемой массы, подвергающейся воздействию высоких температур.

### ВЫВОДЫ

1. Полученное эмпирическое уравнение позволяет определить экстраполированную толщину перегретого слоя в кипящих utfелях.
2. По уравнениям (4), (5) можно в любой точке найти температуру, по которой можно судить о теплофизических параметрах кипящего utfеля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Гаряжа В.Т.** Тр. Киевск. технол. ин-та пищ. пром-сти, вып. 15, 217, 1955; вып. 22, 35, 1960.
2. **Попов В.Д.** Основы теории тепло- и массообмена при кристаллизации сахарозы, Пищевая пром-сть, М., 1973. 319 с.
3. **Тройно В.П., Вайсман М.Л.** Сб. Пищевая пром-сть, вып. 6, Техника», К., 1968, с. 171.

4. Кулінченко В.Р., Гаряжа В.Т. Зб. Харчова пром-сть, вып. 16, Техніка, К., 1973 с 143.
5. Хониг П. Принципы технологии сахара, Пищепромиздат, М., 1961, 615 с.
6. Marcus В.Р., Dropkin D. Nrans ASME, J. Heat Transfer, № 3, 86, 1965  
*Кафедра промышленной теплоэнергетики* *Поступила 16 XII 1975*

СУПРОВІДНА ІНФОРМАЦІЯ ДО ПУБЛІКАЦІЇ

Известия высших учебных заведений «Пищевая технология», № 4, 1976.– С. 130–133

**ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР ПРИ КИПІННІ УТФЕЛІВ  
ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУР ПРИ КИПЕНИИ УТФЕЛЕЙ  
FIELD OF TEMPERATURES AT BOILING OF MASSECUITE**

**В. Т. ГАРЯЖА, В. Р. КУЛИНЧЕНКО, Ю. Г. АРТЮХОВ, Б. Г. ДІДУШКО, В. А. ТОКАРЕВ  
В. Т. ГАРЯЖА, В. Р. КУЛИНЧЕНКО, Ю. Г. АРТЮХОВ, Б. Г. ДИДУШКО, В. А. ТОКАРЕВ  
V.T. GARYAZHA, V.R. KULINTSCHENKO, Yu.G. ARTYUKHOV, B.G. DIDUSHKO,  
V.A. TOKAREV**

Отримане емпіричне рівняння, яке дозволяє визначити екстрапольовану товщину перегрітого шару в киплячих утфелях

**Ключові слова:** розчин, утфель, кипіння, теплообмін

Полученное эмпирическое уравнение позволяет определить экстраполированную толщину перегретого слоя в кипящих утфелях

**Ключевые слова:** раствор, утфель, кипение, теплообмен

The got empiric equalization allows to define the extrapolated thickness of the overheated layer in boiling massecuities

**Keywords:** solution, massecuite, boiling, heat exchange