



УДК 664.784.6

**А.Н. Остриков,
Ф.Н. Вертяков**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ПРИ ПУЗЫРЬКОВОМ КИПЕНИИ ПЛОДООВОЩНОГО ПЮРЕ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ

Введение

Одним из основных этапов технологии производства фруктовых и овощных пюреобразных концентратов методом двухстадийного выпаривания является пузырьковое кипение плодоовощного пюре при его свободном движении на вертикальной стенке вакуум-камеры под действием сил тяжести [1]. Стекающая вниз пленка пюре нагревалась до температуры кипения при данной величине разряжения от вертикальной стенки вакуум-камеры, которая в свою очередь нагревалась горячей водой [2]. Таким образом, происходило выпаривание влаги из нее до достижения заданного содержания сухих веществ в готовом концентрате.

Методика исследований

Целью работы являлось исследование механизма и основных закономерностей процесса теплоотдачи при пузырьковом кипении плодоовощного пюре в условиях свободного движения.

Исследования процесса выпаривания плодоовощного сырья в условиях пузырькового кипения при свободном движении пюре на вертикальной стенке вакуум-камеры проводились при следующих диапазонах изменения параметров: начальная

температура пюре – 396-420 К; давление в автоклаве – 0,15-0,40 МПа, величина разряжения в вакуум-камере – 4-7 кПа; температура стенки (термостатирования) вакуум-камеры – 313-368 К.

Предварительно измельченное и нагретое в автоклаве до температуры $T = 396-420$ К (под давлением $P = (1,5-4,0) \cdot 10^5$ Па) фруктовое или овощное пюре распыливается с помощью сопловой форсунки в вакуум-камере. В вакуум-камере с помощью вакуум-насоса поддерживается разряжение 4-7 кПа. В результате резкого перепада температуры и давления (сброса давления) в вакуум-камере происходит мелкодиспергированное распыление продукта, сопровождающееся мгновенным испарением части влаги, содержащейся в пюре в перегретом состоянии.

Затем капельки пюре достигали вертикальной стенки вакуум-камеры и оседали на ней, образуя пленку продукта, постепенно (по мере увеличения ее толщины)двигающуюся вниз по вертикальной стенке под действием сил тяжести. Таким образом, при достижении температуры кипения пюре происходило выпаривание влаги из него до достижения заданной влажности.

Результаты исследований

В результате визуального контроля установлено, что кипение пюре на вертикальной стенке вакуум-камеры имело пузырьковый режим кипения, т.е. такой, при котором пар образуется в виде отдельных периодически зарождающихся, растущих и отрывающихся паровых пузырей. Анализ термограмм показал, что пюре имело максимальную температуру непосредственно на обогреваемой поверхности вертикальной стенки, поэтому там и происходило образование пузырьков пара.

Динамика парообразования была следующей: вначале происходило зарождение пузырьков пара в некоторых центрах на поверхности нагрева. Затем происходит их рост и отрыв от этих центров. К завершающей стадии относится движение пузырьков в объеме перегретого пюре, при достижении поверхности пленки пюре, паровые пузырьки лопались.

Значительное увеличение объема пузырька за короткое время его роста придает процессу кипения пюре на поверхности нагрева взрывоподобный характер с пульсационным перемещением масс пара и пюре в граничном слое.

С увеличением температуры вертикальной стенки вакуум-камеры число мест образования паровых пузырьков на стенке возрастает. Вследствие повышения тепловой нагрузки увеличивается скорость роста паровых пузырьков, повышается частота отрыва их от стенки и, соответственно, повышается частота пульсационных притоков более холодных масс пюре в граничный слой у стенки. При достижении достаточно большой тепловой нагрузки, называемой критической (при температуре стенки вакуум-камеры свыше 89 °С), поток паровых пузырьков, выносимых от стенки, оказывается столь интенсивным, что граничный слой превращается в сплошную паровую пленку с большим термическим сопротивлением переносу теплоты от стенки. В этих условиях наступал кризис кипения пюре, сопровождаемый резким снижением коэффициента теплоотдачи.

Анализ процесса образования, роста и отрыва паровых пузырьков от поверхности нагрева показывает, что перенос теплоты при кипении пюре осуществляется в граничном слое у стенки. Перенос теплоты совершается пульсационным перемещением пленки пюре с участием теплопроводности. Такой характер переноса

теплоты подтверждается результатами измерения температурного поля по высоте пленки пюре.

В каждый момент времени внутри кипящей пленки пюре находится определенное количество пара в виде всплывающих пузырьков. Вследствие этого такая двухфазная смесь как бы набухает, что проявляется в виде увеличения высоты пленки пюре. Действительная скорость пара в двухфазном слое оказывается больше скорости всплывания отдельных пузырьков в малоподвижной пленке пюре. Это связано с тем, что при развитом кипении продукт интенсивно движется вверх в виде отдельных струй, увлекаемый паровыми пузырьками. Нисходящее движение, компенсирующее это подъемное движение пюре, происходит около стенок, где количество пузырьков меньше. Вследствие такой циркуляции основное количество паровых пузырьков всплывает в восходящем потоке пюре.

Таким образом, в результате проведенных исследований был исследован механизм процесса теплоотдачи при пузырьковом кипении плодовоовощного пюре в условиях свободного движения на вертикальной обогреваемой стенке вакуум-камеры.

Для определения характера изменения баротермического режима в вакуум-камере получены зависимости изменения величины разряжения в вакуум-камере от температуры при различных значениях давления яблочного пюре, подаваемого в вакуум-камеру из автоклава при распыливании из струйных форсунок разного диаметра (рис. а, б, в, г). Анализ кривых, приведенных на рисунке, показывает наличие двух четко выраженных стадий процесса выпаривания пюре. На первой стадии процесса выпаривания происходит увеличение давления с 2-5 до 13-22 кПа при соответствующем росте температуры пленки продукта на стенке вакуум-камеры. Затем после прохождения максимальных значений давления наступает вторая стадия процесса выпаривания, на которой происходит снижение давления при одновременном увеличении температуры пленки продукта на стенке вакуум-камеры. В результате обработки экспериментальных данных получили уравнение для определения коэффициента теплоотдачи при кипении пюре на вертикальной стенке:

$$Nu = 0,109 Re^{0,61} Pr^{0,33} .$$

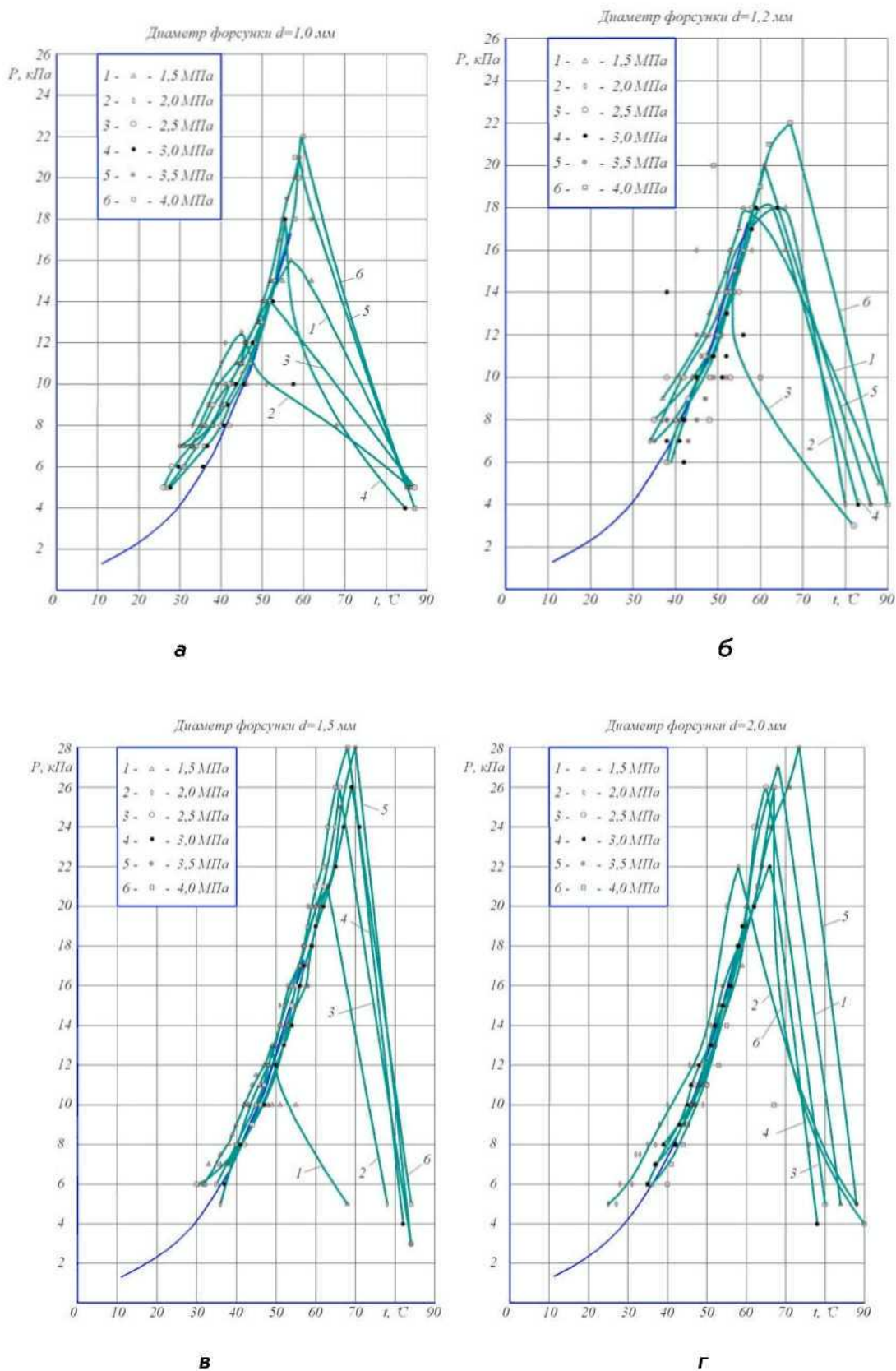


Рис. Зависимость изменения величины разряжения в вакуум-камере от температуры при различных значениях давления яблочного пюре, подаваемого в вакуум-камеру, МПа (1 – 1,5; 2 – 2,0; 3 – 2,5; 4 – 3,0; 5 – 3,5; 6 – 4,0) и при различных диаметрах струйной форсунки, d , мм: а – 1,0; б – 1,2; в – 1,5; г – 2,0

Критериальное уравнение справедливо для диапазона изменений чисел Рейнольдса $Re = 0,01-84,00$ и чисел Прандтля $Pr = 79-945600$ и было получено при следующих допущениях: пюре рассматриваем как гомогенную смачивающую жидкость при постоянных физических параметрах, пленка пюре на стенке движется ламинарно, пюре воспринимает тепловой поток от поверхности нагрева, режим кипения – пузырьковый, размеры поверхности нагрева велики по сравнению с размерами паровых пузырьков.

Вывод

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить основные закономерности процесса теплоотдачи при пузырьковом кипении плодоовощного пюре в условиях свободного движения на вертикальной стенке вакуум-камеры. Установлен механизм процесса теплоотдачи при пузырьковом кипении плодоовощного пюре.

Библиографический список

1. Вертяков Ф.Н. Новая технология производства пюреобразных фруктовых концентратов / Ф.Н. Вертяков, А.Н. Остриков, Г.О. Магомедов // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг: матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. Орел: ОрелГТУ, 2007. С. 467-468.
2. Остриков А.Н. Исследование теплоотдачи при кипении фруктовых пюре на вертикальной стенке вакуум-камеры / А.Н. Остриков, Ф.Н. Вертяков // Составляющие научно-технического прогресса: сб. матер. 4-й Междунар. науч.-практ. конф. (23-24 апреля 2008 г.). Тамбов: ТАМБОВПРИНТ, 2008. С. 247-249.
3. Остриков А.Н. Определение дисперсных характеристик при распыливании фруктовых и овощных пюре / А.Н. Остриков, Ф.Н. Вертяков // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 2-3. С. 76-78.

