

УДК 664.521.11

Профессор А.Н. Остриков, аспирант Р.В. Дорохин
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра процессов и аппаратов химических и пищевых производств, тел. (473) 255-35-54

Исследование СВЧ-конвективной сушки горького перца при переменном теплоподводе

В результате анализа кинетических закономерностей стационарных режимов СВЧ-конвективной сушки горького перца и дифференциально-термического анализа разработан комбинированный рациональный режим сушки.

As a result of the analysis of kinetic regularities of stationary modes of microwave convective drying of bitter pepper and the differential and thermal analysis the combined rational mode of drying of bitter pepper is developed.

Ключевые слова: СВЧ-конвективная сушка, кинетика, комбинированный режим, горький перец.

Применение комбинированного теплоподвода при сушке горького перца позволяет сократить время, осуществить процесс сушки в соответствии с основными кинетическими закономерностями, применить щадящие температурные режимы.

Цель работы – улучшение качества готового продукта и повышение тепловой эффективности процесса сушки за счет использования ступенчатого режима СВЧ-конвективной сушки, минимизация энергозатрат на получение готового продукта.

Процесс сушки горького перца исследовали при следующих диапазонах изменения технологических параметров: температура воздуха 293 К, скорость потока воздуха 0,338...1,575 м/с, толщина колец $2,0 \dots 3,0 \cdot 10^{-3}$ м, мощность магнетрона $N = 600$ Вт и $N = 800$ Вт. Мытый горький перец подвергали инспекции и сортированию, а затем резали кольцами.

Нарезанные кольца горького перца подвергали комбинированной СВЧ-конвективной сушке. Причем нагрев продукта осуществлялся в результате воздействия на продукт сверхвысокочастотного электромагнитного поля частотой 2450 МГц и одновременном конвективном обдуве воздухом с начальной температурой 293 К для удаления из продукта водяных паров.

Период убывающей скорости сушки характеризуется снижением скорости и увеличением температуры, при этом удаляется адсорбционная и осмотическая влага. Этот период начинается тогда, когда влажность горького перца становится равной первой критической [1].

© Остриков А.Н., Дорохин Р.В., 2012

При этом температура горького перца увеличивается. В результате дифференциально-термического анализа и анализа кинетических закономерностей процесса СВЧ-конвективной сушки предлагается следующий подход к выбору и обоснованию ступенчатого режима сушки. Процесс СВЧ-конвективной сушки разбивается на несколько различных по продолжительности этапов, на каждом из которых в зависимости от вида формы связи испаряемой из влаги подбирается свой рациональный режим СВЧ-конвективной сушки. При этом температура и скорость воздуха принимали фиксированные значения, необходимые для быстрого и эффективного отвода испаряемых из горького перца водяных паров.

Сущность разработанного ступенчатого режима сушки горького перца заключается в следующем.

На первом этапе нарезанные кольца горького перца толщиной 2...3 мм нагревают СВЧ-волнами до температуры 313 К при одновременном обдуве воздушным потоком со скоростью 1,6 м/с в течение 5 мин; на втором этапе – до температуры 318 К и скорости воздушного потока 0,9 м/с в течение 15 мин; на третьем этапе – до температуры 325 К и скорости воздуха 0,6 м/с в течение 33 мин.

Продолжительность всех трех временных этапов определялась по результатам анализа полученных кривых при стационарных режимах сушки.

Из анализа кривых сушки и скорости сушки (рис. 1), температурной кривой (рис. 2) и термограммы (рис. 3) процесса СВЧ-конвективной сушки горького перца при ступенчатом температурном и гидродинамическом режиме видно, что имеют место два периода: постоянной и убывающей скорости сушки.

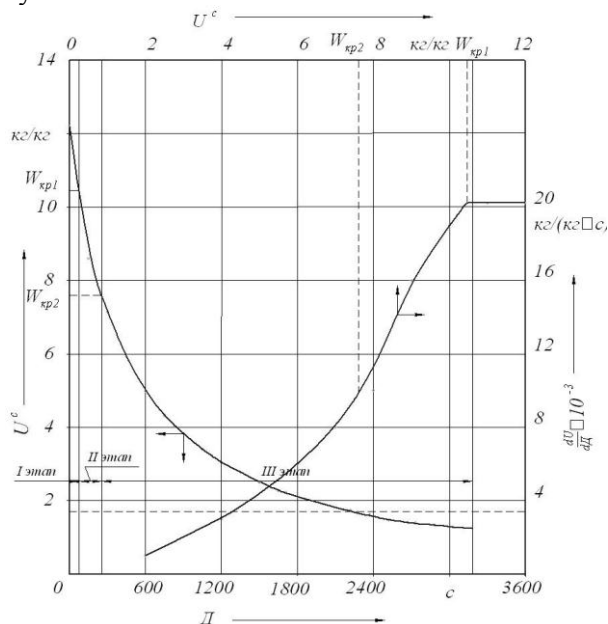


Рис. 1. Кривая сушки и скорость сушки при ступенчатом режиме СВЧ-конвективной сушки

Установлено, что в периоде постоянной скорости сушки удаляется в основном капиллярная и осмотическая влага. В этом периоде происходит равномерный нагрев горького перца по всему объему и интенсивное испарение влаги с поверхности продукта. Температура продукта с самого начала сушки быстро возрастает, при этом продукт поглощает значительную энергию за весьма короткий промежуток времени.

Поле влажности внутри колец горького перца становится неоднородным: на поверхности влажность ниже, чем в его толще, т. е. появляется градиент влагосодержания, направленный к поверхности продукта. Под действием этого градиента влага в жидком виде начинает перемещаться к поверхности продукта. На данном временном этапе горький перец нагревают СВЧ-волнами до температуры 313 К при одновременном обдуве воздушным потоком (см. рис. 1).

Увеличение температуры нагрева горького перца обусловлено тем, что на интенсивность удаления осмотической влаги наибольшее влияние оказывает температура. Этот пе-

риод сушки характеризуется постоянной температурой поверхности продукта (см. рис. 2), при этом удаляется капиллярная влага. В этот период вся теплота, подводимая к кольцам горького перца, затрачивается на интенсивное поверхностное испарение влаги.

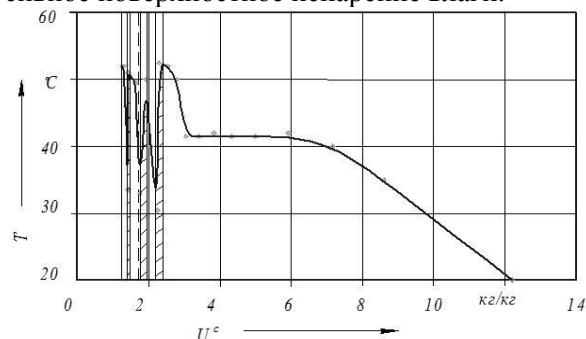


Рис. 2. Температурная кривая ступенчатого режима СВЧ-конвективной сушки

По мере удаления физико-механической влаги скорость теплоносителя, как определяющий фактор интенсивности процесса, теряет свое значение. Поэтому на втором этапе сушку предпочтительнее вести при снижающейся скорости и повышающейся температуре теплоносителя.

На втором временном этапе, который соответствовал первой части периода убывающей скорости, горький перец нагревали СВЧ-волнами до температуры 318 К при одновременном обдуве воздушным потоком. Этот период характеризуется снижением скорости сушки и увеличением температуры горького перца (см. рис. 2). При этом удаляется осмотическая и полиадсорбционная влага. В связи с тем что на интенсивность удаления полиадсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса, продукт нагревают СВЧ-волнами до температуры 318 К.

Третий временной этап соответствует второй (заключительной) части периода убывающей скорости сушки. В этот период сушки происходит удаление моноадсорбционной влаги. На интенсивность удаления моноадсорбционной влаги существенное влияние оказывает температура, поэтому горький перец нагревают СВЧ-волнами до более высоких температур (325 К).

Чтобы избежать перегрева продукта и снизить потери теплоты при нагреве и испарении моноадсорбционной влаги, на данном этапе сушки СВЧ-генератор работает в импульсном режиме. Вначале происходит нагрев про-

дукта СВЧ-волнами до 325 К в течение 7,5 мин, а затем обдув продукта воздухом в течение 1 мин со скоростью 0,6 м/с. В результате температура снижается до 303 К (см. рис. 2 и 3).

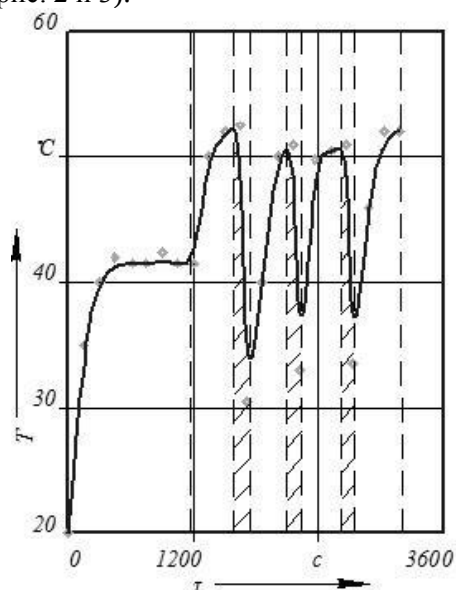


Рис. 3. Термограмма ступенчатого режима СВЧ-конвективной сушки

Данный режим обработки повторяется на всем протяжении второй части периода убывающей скорости сушки. Применение импульсного режима позволяет исключить возможность перегрева продукта. Для оценки последствий термического воздействия на продукт был исследован химический состав свежего и сушеного горького перца (таблица).

Анализ полученных результатов показал, что потери ценных термолабильных веществ в высушенном горьком перце минимальны по сравнению с их содержанием в свежем.

Т а б л и ц а
Химический состав свежего и высушенного горького перца

Параметры, ед. измер.	Свежий перец	Высушенный перец
Общая влага, %	88,02±0,50	9,17±0,50
Массовая доля белка, %	1,87±0,02	15,12±0,04
Массовая доля жира, %	0,44±0,04	4,20±0,04
Углеводы (общий сахар), %	8,80±0,04	61,76±0,04
Зола, %	0,87±0,04	9,75±0,04
Витамин А, мкг%	48,1±0,2	171,5±0,2
Тиамин (В ₁), мг%	0,072±0,004	0,262±0,004
Рибофлавин (В ₂), мг%	0,094±0,004	0,367±0,004
Витамин Е, мг%	0,694±0,002	2,516±0,004
Витамин С, мг%	143,7±0,2	302,2±0,1
Ниацин (РР), мг%	1,24±0,10	3,09±0,10

Использование комбинированного СВЧ-конвективного режима сушки горького перца позволяет повысить качество получаемого продукта за счет поддержания рационального температурного воздействия на обрабатываемый продукт; осуществлять процесс удаления испаряемой влаги в соответствии с основными кинетическими закономерностями; минимизировать энергозатраты на сушку за счет использования комбинированного теплоподвода к обрабатываемому продукту; достигнуть равномерной сушки вследствие использования мягких, щадящих режимов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога пищевого концентратного и овощесушильного производства [Текст] / В. Н. Гуляев, Н. В. Дремина, З. А. Кац [и др.]; под ред. В. Н. Гуляева. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 488 с.