

Профессор Г.В. Калашников, аспирант Е.В. Литвинов
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра технической механики,
тел. (473) 255-47-20

Кинетика СВЧ-сушки яблок

Изучено влияние основных технологических параметров. Выполнен анализ кинетических закономерностей процесса.

The influence of main technological parameters was studied as a result of research of microwave drying of apples and the analysis of kinetic regularity of the process was performed.

Ключевые слова: СВЧ-сушка, яблоки, кинетика.

Недостаточно прогрессивный технический уровень сушилок для яблок определяет невысокое качество высушенной продукции и значительные энергозатраты на производство, вызывает необходимость введения вспомогательных операций для достижения требуемого качества готовой продукции, что приводит к увеличению себестоимости продукта. Поэтому решение вопроса о соответствии оптимального значения влагосодержания и температуры материала кинетическим закономерностям процесса обезвоживания является актуальной задачей при организации технологии высокоинтенсивной сушки термочувствительных материалов. Возможность резкой интенсификации процессов переноса теплоты и массы, с одной стороны, и опасность перегрева материала и ухудшения качества готового продукта, с другой, – обуславливают необходимость выбора оптимальных режимных параметров не только исходя из кинетики сушки, но и с учетом изменения температуры материала в процессе влагоудаления и нагрева продукта до максимально допустимого значения [1, 2].

Цель исследования – изучение влияния основных технологических параметров на кинетику процесса СВЧ-сушки яблок при атмосферном давлении.

В результате предварительного эксперимента выбраны основные варьируемые параметры, определяющие продолжительность СВЧ-сушки яблок: скорость потока теплоносителя и мощность магнетронов. Для получения яблочных чипсов исследованы кинетические закономерности процесса СВЧ-сушки яблок с различными технологическими

режимами: скорость подачи потока теплоносителя ($v = 0,3 \dots 4$ м/с) и мощность магнетронов ($P = 100 \dots 600$ Вт/кг).

В качестве объекта исследования использовали яблоки сорта «Степная красавица» в виде пластин толщиной 2...4 мм, которые предварительно отсортировывали с целью обеспечения однородности структуры продукта.

В результате исследований процесса СВЧ-сушки пластин яблок отмечено, что изменение влажности продуктов характеризуется взаимосвязанной с формами связи влаги переменной скоростью влагоперемещения и зависит от количества теплоты, что связано с преобразованием веществ продукта, нестационарностью структурных компонентов продукта в течение воздействия температурных полей на частицы.

Перед сушкой исходное сырье подвергали бланшированию по следующему технологическому режиму: пластины яблок обрабатывали раствором лимонной кислоты с pH 4,0 – 4,5 с температурой 333...348 К в течение 3...6 мин.

При анализе стационарных режимов СВЧ-сушки яблок установлено, что в периоде постоянной скорости сушки удаляется в основном капиллярная и осмотическая влага. При этом вся теплота, подводимая к пластинам яблок, затрачивается на интенсивное поверхностное испарение влаги, и температура продукта остается постоянной. Перемещению влаги способствует термодиффузия, обусловленная наличием градиента температуры на начальной стадии прогрева пластин.

Принцип преобразования СВЧ-энергии в теплоту основан на эффективном поглощении влагой нагреваемого продукта подводимой к нему СВЧ-энергии. При этом подводимая в рабочую камеру СВЧ-энергия и теплота, генерируемая во всем объеме обрабатываемого продукта, практически им полностью поглощается.

Вследствие проникновения волн в глубь объекта происходит преобразование этой энергии в тепло не на поверхности, а в его объеме, и поэтому происходит более интенсивное нарастание температуры при большей равномерности нагрева по сравнению с традиционными способами нагрева, что приводит к улучшению качества готового изделия. Кроме того, при использовании СВЧ-энергоподвода обеспечивается равномерное распределение СВЧ-поля по объему сушильной камеры, и вследствие СВЧ-термообработки достигается стерильность процесса и безинерционность регулирования нагревом.

За счет того что градиенты температуры и влажности совпадают, влага дополнительно интенсивно перемещается внутри пластины. Движение влаги в пластине рассматривается вдоль оси, направленной перпендикулярно поверхности пластины.

Для СВЧ-сушки температурное поле рассматривается с непрерывно действующим источником тепла. После периода прогрева процесс массообмена определяется внутридиффузионным сопротивлением, зависящим от вида обрабатываемого сырья и связи присоединяемой влаги.

Период убывающей скорости сушки характеризуется снижением скорости процесса и возрастанием температуры пластин яблок, при этом удаляется осмотическая и адсорбционная влага. Этот период начинается в тот момент, когда влажность на поверхности пластин яблок становится равной первой критической. Зона испарения влаги находится внутри пластин яблок, а не на его поверхности, поэтому влага из центральных слоев пластин доходит до зоны испарения в жидком виде, а от зоны испарения до поверхности она движется в парообразном состоянии.

В результате оценочных экспериментов была выбрана наиболее эффективная мощностью магнетронов и сушку яблок осуществляли в СВЧ-поле с постоянной мощностью магнетронов $P = 360$ Вт/кг при различных скоростях потока теплоносителя.

Влияние скорости потока теплоносителя на температуру нагрева слоя пластин яблок и изменение кинетических закономерностей процесса сушки представлено на рис. 1, 2.

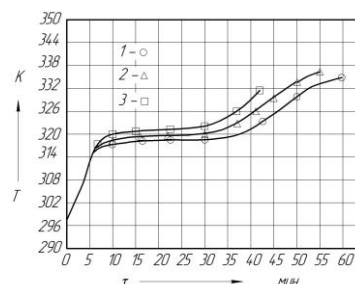


Рис. 1. Зависимость температуры яблок от времени обработки СВЧ-энергией при $T = 338$ К, $P = 360$ Вт/кг и различной скорости теплоносителя, м/с: 1 – 0,3; 2 – 2; 3 – 4

Обработка опытных данных показала, что в периоде постоянной скорости сушки с увеличением скорости потока теплоносителя возрастает скорость удаления влаги.

Из рис. 1, 2 следует, что во втором периоде скорости сушки при удалении связанной влаги скорость потока теплоносителя в незначительной степени влияет на изменение скорости влагоудаления по сравнению с мощностью магнетронов. При увеличении скорости потока теплоносителя с $v = 0,3$ до $v = 2$ м/с продолжительность процесса сушки уменьшается на 5 %, а при увеличении скорости до $v = 4$ м/с продолжительность сокращается на 22 %.

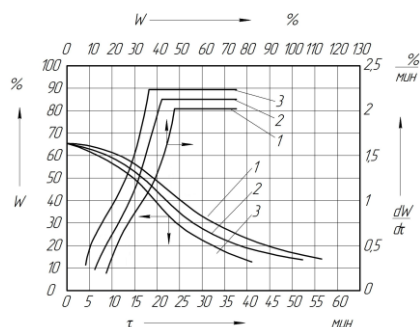


Рис. 2. Кривые сушки и скорости сушки слоя яблок при $T = 338$ К, $P = 360$ Вт/кг и различной скорости потока теплоносителя, м/с: 1 – 0,3; 2 – 2; 3 – 4

Из анализа температурных кривых (рис. 1) следует, что в первом периоде с изменением скорости сушильного агента температура материала изменяется незначительно. Увеличение скорости теплоносителя во втором периоде интенсифицирует теплообмен, приводит к повышению температуры материала и в меньшей степени оказывает влияние на интенсивность массообмена.

Влияние СВЧ – мощности на температуру нагрева пластин и изменение влагосодержания представлено на рис. 3, 4.

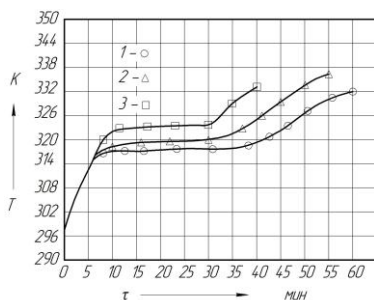


Рис. 3. Зависимость температуры яблок от времени обработки СВЧ-энергией при $T = 338$ К, $v = 4$ м/с и различной мощности магнетрона, Вт/кг: 1 – 100; 2 – 360; 3 – 600

Полученные кривые свидетельствуют, что СВЧ-мощность является одним из наиболее существенных факторов, влияющих на скорость сушки пластин яблок, и ее повышение в периоде убывающей скорости сушки позволяет в значительной степени интенсифицировать процесс. При возрастании мощности от $P = 100$ до $P = 600$ Вт/кг и скорости потока теплоносителя $v = 4$ м/с продолжительность процесса СВЧ-сушки яблок уменьшается на 33 %.

Отличием воздействия СВЧ-энергии от воздействия температуры теплоносителя на продукт является то, что подводимая СВЧ-мощность в меньшей степени оказывает влияние на критическое влагосодержание. Соотношение периодов постоянной и убывающей скорости сушки определяется только формами связи влаги с материалом.

Следует отметить, что с понижением влажности пластин яблок происходит уменьшение коэффициента диэлектрических потерь, что приводит к снижению количества теплоты, генерируемой в продукте. Увеличение подводимой СВЧ-мощности способствует увеличению КПД процесса трансформации СВЧ-энергии. В процессе экспериментального исследования сушки яблок за счет электромагнитной энергии данный КПД составлял 83 %.

В процессе сушки СВЧ-энергия позволяет в значительной степени интенсифицировать тепломассообмен, однако чрезмерное увеличение подводимой СВЧ-мощности может привести к возникновению большого градиента влагосодержания, и, как следствие, образованию трещин и нарушению структуры пластин яблок.

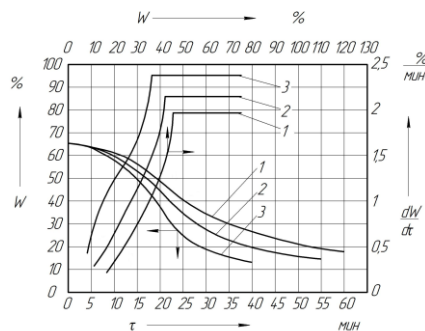


Рис. 4. Кривые сушки и скорости сушки слоя яблок при $T = 338$ К, $v = 4$ м/с и различной мощности магнетрона, Вт/кг: 1 – 100; 2 – 360; 3 – 600

Изученная кинетика процесса СВЧ-сушки яблок позволила предложить комбинированный способ СВЧ-сушки с промежуточной обработкой водным раствором для получения яблочных чипсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник технолога пищеко-
нцентратного и овощесушильного произ-
водства [Текст] / В. Н. Гуляев, Н. В. Дремина,
З. А. Кац [и др]; под ред. В. Н. Гуляева. – М.:
Легкая и пищевая пром-ть, 1984. – 488 с.
2. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] /
А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
3. Калашников, Г.В., Физическая модель
гидратации и сушки плодовоовощного сырья
[Текст] / Г.В. Калашников, Е.В. Литвинов // Материалы XLIX отчетной конференции пре-
подавателей и научных сотрудников ВГТА за
2010 год: В 3 ч. Ч.2. - Воронеж, 2011.- С. 145.