

Исследование радиационно-конвективной сушки картофеля при переменном теплоподводе

Екатерина Ю. Желтоухова ¹	Katsturova@gmail.com
Александр А. Каданцев ¹	aleksan1995@yandex.ru
Владислав И. Яницкий ¹	Zxwht256@gmail.com

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия

Реферат. В результате исследования и проведения анализа кинетических зависимостей процесса импульсной радиационно-конвективной сушки пластин картофеля при стационарных режимах разработан ступенчатый режим сушки корнеплодов. Нарезанные пластины картофеля подвергают комбинированной радиационно-конвективной сушке. При этом нагрев картофеля проводят инфракрасными лучами с длиной волны в диапазоне 1,16–1,65 мкм и плотностью теплового потока 2,69–5,44 кВт/м² при одновременном конвективном обдуве воздухом для удаления испаряемых из продукта водяных паров с начальной температурой окружающей среды 293 К. Сущность ступенчатого режима заключается в следующем. Общее время процесса сушки разделяется на определенное количество этапов. Продолжительности всех временных этапов определялись экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки и скорости сушки при стационарных режимах сушки корнеплодов картофеля. На каждом из этапов выбирается фиксированное значение температуры продукта, скорости воздуха за определенный промежуток времени. При анализе графических зависимостей можно выделить три периода сушки: прогрев, постоянной и убывающей скоростей сушки. На первом этапе порезанные дольки картофеля толщиной 1,5 мм нагревают инфракрасными лучами до температуры 318 К при одновременном обдуве воздушным потоком со скоростью 1,6 м/с в течение 6 мин; на втором этапе – до температуры 323 К и скорости воздушного потока 1,2 м/с в течение 18 мин; на третьем этапе – до температуры 328 К и скорости воздушного потока 0,7 м/с в течение 12 мин; затем высушенные до конечной влажности 12% пластины картофеля обрабатывают вкусовыми добавками (специями).

Ключевые слова: радиационно-конвективная сушка, кинетика, комбинированный режим, картофель, пластины

Investigation of radiation-convective drying of potato wafers with a variable heat supply

Ekaterina Y. Zheltoukhova ¹	Katsturova@gmail.com
Aleksandr A. Kadantsev ¹	aleksan1995@yandex.ru
Vladislav I. Yanitskiy ¹	Zxwht256@gmail.com

¹ fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia

Summary. As a result of research and analysis of kinetic dependencies of the pulsed radiation-convective drying process of potato slices under stationary conditions, a step-by-step regime for drying root crops was developed. Potatoes slices are subjected by combined radiation-convective drying. Moreover, the heating of the potato is carried out by infra-red rays with a wavelength in the range 1.16–1.65 mkm and a heat flux density of 2.69–5.44 kW/m² with simultaneous convective air blowing for water vapor evaporated from the product removal with initial temperature of the environment 293 K. Stepwise regime essence is as follows. Total drying process duration is divided into a certain number of stages. Durations of each time step was determined experimentally as a result of drying and drying rate curves analysis potato tubers stationary drying regimes. At each stage a fixed value of product temperature and air speed is selected. At the graphical dependencies analysis it is possible to distinguish three drying periods: heating, constant and decreasing drying rate. At the first stage potato slices 1.5 mm thick are heated by infrared rays up to 318 K temperature with simultaneous airflow with speed of 1.6 m/s for 6 minutes; at the second stage-up to 323 K temperature with air speed 1.2 m/s for 18 minutes; at the third stage-up to 328 K temperature and with air speed 0.7 m/s for 12 minutes. Later dried to a final 12% humidity potato slices are processed with flavoring (spices).

Keywords: radiation-convective drying, kinetics, combined mode, potatoes, plates

Введение

Использование переменного теплоподвода при сушке картофеля позволит интенсифицировать процесс сушки, сократить время сушки картофеля, применение щадящих температурных режимов, максимально адаптированных к основным кинетическим закономерностям, позволит снизить негативное воздействие на термолабильные вещества картофеля и повысить его качество [1–4].

Для цитирования

Желтоухова Е. Ю., Каданцев А. А., Яницкий В. И. Исследование радиационно-конвективной сушки картофеля при переменном теплоподводе // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 46–49. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-46-49

Материалы и методы

Целью работы является улучшение качества сушеного картофеля и повышение тепловой эффективности процесса сушки за счет использования ступенчатого режима радиационно-конвективной сушки картофеля и снижение энергозатрат на получение готового продукта [5–7].

For citation

Zheltoukhova E. Y., Kadantsev A. A., Yanitskiy V. I. Investigation of radiation-convective drying of potato wafers with a variable heat supply. Vestnik VSUET [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 46–49. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-46-49

Процесс сушки картофеля исследовали в следующих диапазонах изменения технологических параметров: температура воздуха 293 К; скорость потока воздуха от 0,3 до 1,6 м/с; толщина пластины картофеля $1,5 \cdot 10^{-3}$ м; расстояние от продукта до поверхности ИК-лампы – 0,4 м. Мытый картофель подвергают инспекции и сортированию, калибровке, очистке кожуры, а затем нарезают тонкими пластинами толщиной 1,5 мм.

Нарезанные пластины картофеля подвергают комбинированной радиационно-конвективной сушке. При этом нагрев картофеля проводят инфракрасными лучами с длиной волны в диапазоне 1,16–1,65 мкм и плотностью теплового потока 2,69–5,44 кВт/м² при одновременном конвективным обдуве воздухом для удаления испаряемых из продукта водяных паров с начальной температурой 293 К. При анализе стационарных режимов радиационно-конвективной сушки пластин картофеля установлено, что в периоде постоянной скорости сушки удаляется, в основном, капиллярная и осмотическая влага. При этом вся теплота, подводимая к пластинам картофеля, затрачивается на интенсивное поверхностное испарение влаги, и температура продукта остается постоянной.

Период убывающей скорости сушки характеризуется снижением скорости сушки и увеличением температуры пластин картофеля, при этом удаляется осмотическая и адсорбционная влага. Этот период начинается в тот момент, когда влажность на поверхности картофеля становится равной первой критической. При этом температура этой поверхности увеличивается. Зона испарения влаги находится внутри пластины пластин картофеля, 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 дифференциально-термического анализа и анализа кинетических закономерностей процесса радиационно-конвективной сушки пластин картофеля предлагается следующий подход к обоснованию выбора ступенчатых режимов сушки картофеля. Процесс радиационно-конвективной сушки картофеля разбивается на несколько различных по продолжительности этапов, на каждом из которых в зависимости от вида формы связи испаряемой из картофеля влаги подбирается свой рациональный режим радиационно-конвективной сушки пластин. При этом температура и скорость теплоносителя (воздуха) принимали фиксированные значения, необходимые для своевременного и эффективного отвода испаряемых из пластин картофеля водяных паров.

В результате исследования кинетических зависимостей процесса радиационно-конвективной сушки пластин картофеля при стационарных режимах разработан ступенчатый режим сушки картофеля, сущность которого заключается в следующем. На первом этапе порезанные дольки картофеля толщиной 1,5 мм нагревают инфракрасными лучами до температуры 318 К при одновременном обдуве воздушным потоком со скоростью 1,5 м/с в течение 6 мин; на втором этапе – до температуры 323 К и скорости воздушного потока 1,2 м/с в течение 18 мин; на третьем этапе – до температуры 328 К и скорости воздушного потока 0,7 м/с в течение 12 мин, затем высушенные до конечной влажности 12% пластины картофеля обрабатывают вкусовыми добавками (специями) [8, 9].

Продолжительности всех трех временных этапов определялись экспериментально в результате анализа полученных кривых сушки при стационарных режимах сушки пластин картофеля.

Результаты и обсуждение

Из анализа кривых сушки и скорости сушки (рисунок 1), температурной кривой и термограммы (рисунок 2) процесса радиационно-конвективной сушки пластин картофеля при ступенчатом температурном и гидродинамическом режиме видно, что имеют место три периода: прогрева, постоянной и убывающей скоростей сушки.

На первом этапе, который соответствовал периоду прогрева, происходил нагрев наружных слоев и испарение влаги с поверхности картофеля. Температура поверхностного слоя с самого начала сушки возрастает, в толще продукта возникают температурные градиенты, который уменьшается к центру продукта. Поле влажности внутри пластин картофеля становится неоднородным: на поверхности влажность ниже, чем в его толще, то есть появляется градиент концентрации влаги, которые увеличиваются к центру продукта. Под действием этого градиента влага в жидком виде начинает перемещаться к поверхности продукта. При этом поток влаги преодолевает сопротивление продукта, которое снижает скорость продвижения влаги, вследствие чего повышается температура долек картофеля (рисунок 2). 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 периоду постоянной скорости, предварительно подсушенные пластины картофеля нагревают инфракрасными лучами до температуры 323 К при одновременном обдуве воздушным потоком (рисунок 1). Увеличение температуры нагрева картофеля обусловлено тем, что на интенсивность удаления осмотической влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса. Этот период сушки характеризуется постоянной температурой продукта (рисунок 2), при этом удаляется капиллярная влага. В этот период вся теплота, подводимая к пластинам картофеля, затрачивается на интенсивное поверхностное испарение влаги, и температура продукта остается постоянной.

На третьем временном этапе, который соответствовал первой (начальной) части периода убывающей скорости, картофель нагревается ИК-лучами до температуры 328 К при одновременном обдуве воздушным потоком. Этот период сушки характеризуется снижением скорости сушки и увеличением температуры картофеля (рисунок 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, то продукт нагревают инфракрасными лучами до температуры 328 К.

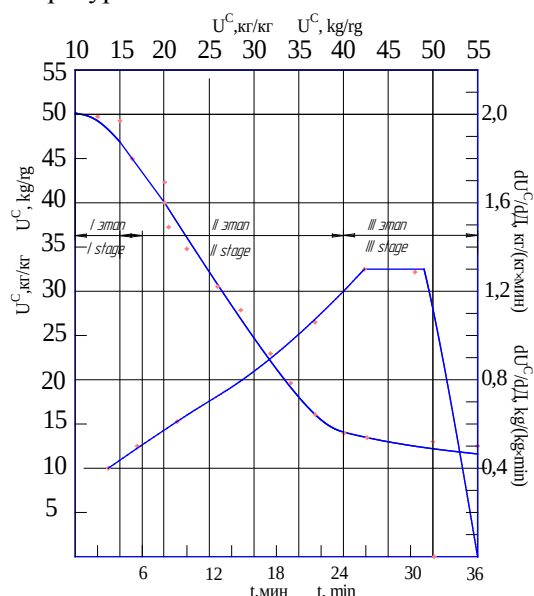


Рисунок 1. Кривая сушки и скорости сушки пластин картофеля при ступенчатом режиме радиационно-конвективной сушки

Figure 1. The curve of drying and the speed of drying the potato wafers in a step mode radiation-convective drying

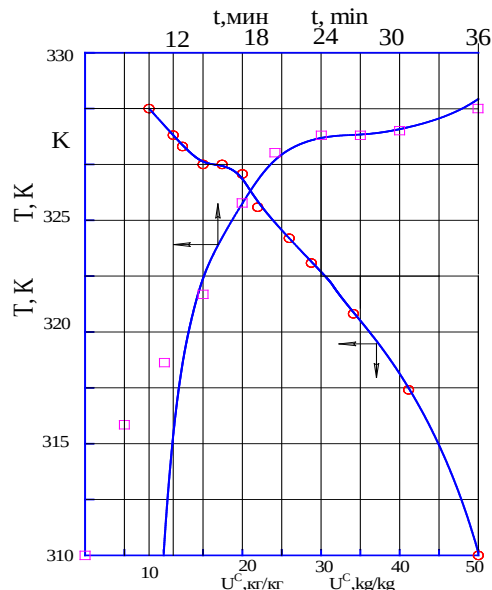


Рисунок 2. Температурная кривая и термограмма сушки пластин картофеля при ступенчатом режиме радиационно-конвективной сушки картофеля

Figure 2. The curve of temperature and drying thermogram potato wafers in a step mode radiation-convective drying

На третьем этапе пластины картофеля нагревают инфракрасными лучами до более высокой температуры (328 К) при одновременном обдуве воздушным потоком. В связи с тем, что на интенсивность удаления моноадсорбционной влаги наибольшее влияние оказывает температура, как фактор, определяющий интенсивность внутреннего влагопереноса. При этом также прекращается охлаждающее действие процесса испарения с поверхности картофеля, и температура поверхности увеличивается, стремясь к заданной температуре нагрева продукта, которая поддерживалась за счет импульсного режима работы инфракрасных ламп. Все это приводит к уменьшению количества теплоты, передаваемой через поверхность пластин картофеля из окружающей среды. Находясь в довольно длительном контакте со стенками пор, пар успевает прогреться до температуры стенок и с поверхности пластин пар уходит в инфракрасную камеру с температурой поверхности продукта.

Затем высушенные до конечной влажности 12% пластины картофеля обрабатывают вкусовыми добавками (специями).

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования и анализ показателей качества полученных картофельных пластин показали их высокую пищевую ценность, обусловленную высокой сохранностью ценных термолабильных веществ из-за применения «мягких» температурных режимов сушки и высокой интенсивностью влагоудаления.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Альхамова Г. К., Мазаев А. Н., Ребезов Я. М., Шель И. А., Зинина О. В. Продукты функционального назначения // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 62-64.
- 2 Антипов С. Т., Журавлев А. В., Казарцев Д. А., Инновационное развитие техники пищевых технологий: учебн. Пособие под редакцией акад. В.А. Панфилова. С-Пб.: Лань, 2016. 660 с.
- 3 Желтоухова Е.Ю., Каданцев А.А., Яницкий В.И. Технологическая линия сушки картофеля // Сборник научных статей и докладов II международной научно-практической конференции (заочной) «Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья» ФГБОУ ВО «ВГУИТ». Воронеж: издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2016. С. 251.
- 4 Желтоухова Е.Ю., Каданцев А.А., Яницкий В.И. Выбор и обоснование стационарных режимов сушки картофеля // Материалы международной научно-технической конференции, посвящённая 100-летию со дня рождения М.Х. Кишиневского. ФГБОУ ВО «ВГУИТ», Воронеж, 2016, С. 402
- 5 Lin Y., Tsen J., King V. Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato // Journal of Food Engineering. 2015, T. 68, c. 249–255.
- 6 Zhenjiang Zhou, Finn Plauborg, Kristian Kristensen Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in response to temperature and nitrogen application regimes // Agricultural and Forest Meteorology Vol. 232, № 15, 2017, c. 595–605.
- 7 Glenn Gunner Brink Nielsen, Anders Kjær, Beate Klösgen Dielectric spectroscopy for evaluating dry matter content of potato tubers // Journal of Food Engineering, T. 189, 2016, c. 9–16.
- 8 Trygve Helgerud, Jens P. Wold, Kristian H. Liland Towards on-line prediction of dry matter content in whole unpeeled potatoes using near-infrared spectroscopy // Talanta, T. 143, № 1, 2015, c. 138–144.
- 9 Shiva Ruhanian, Kamyar Movaghamejad Mathematical modeling and experimental analysis of potato thin-layer drying in an infrared-convective dryer // Engineering in Agriculture, Environment and Food, T. 9, № 1, 2016, c. 84–91.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Екатерина Ю. Желтоухова к. т. н, старший преподаватель, кафедра жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия, Katsturova@gmail.com

Александр А. Каданцев студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия, aleksan1995@yandex.ru

Владислав И. Яницкий студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394066, Россия, Zxwh1256@gmail.com

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Екатерина Ю. Желтоухова предложила методику проведения эксперимента и организовала производственные испытания

Александр А. Каданцев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Владислав И. Яницкий обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 04.02.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.02.2017

REFERENCES

- 1 Al'khamova G. K., Mazaev A. N., Rebezov Ya. M., Shel' I. A., Zinina O. V. Products of functional purpose. *Molodoi uchenyi* [Young scientist]. 2014. no. 8. pp. 62–64. (in Russian).
- 2 Antipov S. T., Zhuravlev A. V., Kazartsev D. A., Innovatsionnoe razvitie tekhniki pishchevykh tekhnologii: uchebn. Posobie pod redaktsiei akad. V.A. Panfilova [Innovative development of technology food technology: The textbook under the editorship of V. A. Panfilov]. Saint Petersburg. Lan'. 2016. 660 p. (in Russian).
- 3 Zheltoukhova E.Yu., Kadantsev AA, Yanitsky V.I. *Tekhnologicheskaya liniya sushki kartofelya* [Technological line for drying potatoes]. Collection of scientific articles and reports of the II International Scientific and Practical Conference (in absentia) "Innovative solutions for the production of food products from plant raw materials" Voronezh. "Scientific Book", 2016. p. 251. (in Russian).
- 4 Zheltoukhova E.Yu., Kadantsev A.A, Yanitsky V.I. *Vybor i obosnovanie statsionarnykh rezhimov sushki kartofelya* [Selection and justification of stationary modes of potato drying]. Materials of the international scientific and technical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of M.Kh. Kishinev. Voronezh. 2016. p. 402. (in Russian).
- 5 Lin Y., Tsen J., King V. Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. *Journal of Food Engineering*. 2015, vol. 68, pp. 249–255.
- 6 Zhenjiang Zhou, Finn Plauborg, Kristian Kristensen Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in response to temperature and nitrogen application regimes. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 232, № 15, 2017, c. 595–605.
- 7 Glenn Gunner Brink Nielsen, Anders Kjær, Beate Klösgen Dielectric spectroscopy for evaluating dry matter content of potato tubers. *Journal of Food Engineering*, vol. 189, 2016, pp. 9–16.
- 8 Trygve Helgerud, Jens P. Wold, Kristian H. Liland Towards on-line prediction of dry matter content in whole unpeeled potatoes using near-infrared spectroscopy. *Talanta*, vol. 143, № 1, 2015, pp. 138–144.
- 9 Shiva Ruhanian, Kamyar Movaghamejad Mathematical modeling and experimental analysis of potato thin-layer drying in an infrared-convective dryer. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 9, № 1, 2016, pp. 84–91.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Ekaterina Y. Zheltoukhova candidate of technical sciences, senior Lecturer, fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, Katsturova@gmail.com

Aleksandr A. Kadantsev student, machines and equipment for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia), aleksan1995@yandex.ru

Vladislav I. Yanitskiy student, machines and equipment for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia), Zxwh1256@gmail.com

CONTRIBUTION

Ekaterina Y. Zheltoukhova proposed a scheme of the experiment and organized production trials

Aleksandr A. Kadantsev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Vladislav I. Yanitskiy review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 2.4.2017

ACCEPTED 3.16.2017