УДК 631.362.6

И.Р. Ганеев, Х.Т. Каримов, И.Х. Масалимов

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ СУШКИ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА В СВЧ-УСТАНОВКЕ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ключевые слова: сушка семян подсолнечника; СВЧ-установка; исследование; интенсификация сушки; нагрев зерна.

Введение. Семена подсолнечника очень требовательны к условиям хранения. При высокой температуре и влажности происходит химическое изменение жиров и белковых веществ, что приводит к порче зерна и непригодности его для использования в пищу и на корм скоту. Для сохранения качества семян высокомасличного подсолнечника необходимо, чтобы влажность составляла 7–9 % при температуре хранения +10 °С. Наиболее распространенным способом сушки семян подсолнечника среди остальных является конвективный, доля которого составляет 80 %. При конвективной сушке происходит нагрев семян горячим воздухом или выхлопными газами, что отрицательно влияет на качество высушенного продукта [1]. Кроме того,

данный способ является энергозатратным, так как для испарения 1 кг влаги в сушилках такого типа затрачивается 5000–6000 кДж теплоты. Еще одним недостатком конвективной сушки является неравномерный нагрев семян, что приводит к его перегреву или недосушиванию [2, 3]. На сегодняшний день предложено множество способов интенсификации сушки семян сельскохозяйственных культур [4, 5]. Наиболее перспективным является применение электромагнитного излучения СВЧ- и ИК-диапазонов. В существующих сушильных установках СВЧ-нагрев используется как предварительный в сочетании с конвективным, а также применяется в установках для активного вентилирования [3, 6, 7]. Однако использование СВЧ-нагрева сов-

местно с конвективным приводит к необоснованным энергозатратам [8].

Цель – исследовать возможность использования только СВЧ-нагрева при сушке семян подсолнечника.

Рисунок 1
СВЧ-установка непрерывного действия

Объект и методика исследований. Для того чтобы повысить эффективность СВЧ-сушки семян подсолнечника, необходимо учесть биологические и физиологические процессы, происходящие в семени при СВЧ-нагреве. Как известно, после включения СВЧ-генератора под воздействием электромагнитного излучения происходит повышение давления внутри зерна, которое может привести к снижению его качества. Кроме того, производится объемный

нагрев слоя. Но температура в центре зерновки выше, чем на поверхности, что связано с наличием большого количества влаги в центре. При этом влага под действием градиента температуры и избыточного давления выделяется на поверхность и образует запирающий слой, препятствующий дальнейшему выделению влаги [3]. После определенного промежутка времени СВЧ-нагрева необходима релаксация давления, что позволит сохранить качество зерна. Также необходимо равномерное распределение температуры по объему зерна после нагрева, чего можно добиться применением отлежки. Для отвода влаги и охлаждения слоя зерна необходима ее продувка [9].

Согласно разработанной схеме, процесс сушки состоит из нескольких циклов, каждый из которых включает три этапа. На первом этапе происходит объемный нагрев семян до необходимой температуры при воздействии СВЧ-излучения. На данном этапе происходит выделение влаги в межсеменное пространство. Второй этап – отлежка, при котором происходит выравнивание температуры по всему объему семенного слоя и выделение влаги из внутренних слоев семени к внешним. На третьем этапе производится продувка слоя наружным воздухом в псевдоожиженном состоянии, что способствует удалению из слоя семян выделившейся влаги и их охлаждению [10]. Предложенная схема была реализована в лабораторной сушильной установке непрерывного действия (рисунок 2).

Рисунок 2

Технологическая схема установки с двумя рабочими зонами: 1 – конвейер; 2 – СВЧ-генераторы; 3 – канал зоны отлежки; 4 – отводящий канал; 5 – блок управления; 6 – заслонка; 7 – воздуховод; 8 – вытяжной вентилятор; 9 – выгрузное устройство; I – зона нагрева; II – зона отлежки; III – зона охлаждения [6]

На установке проводились исследования по определению режимов СВЧ-сушки подсолнечника. Исследования по сушке проводили в следующих режимах: время СВЧ-нагрева зерна на I этапе $t_n = 60 \dots 240$ с, на II этапе в зоне отлежки $t_{отл} = 20 \dots 80$ с, и на III этапе в зоне охлаждения $t_{охл} = 30 \dots 120$ с.

Результаты исследований. Полученные данные были обработаны в пакете прикладных программ для статистического анализа STATISTICA 10. На рисунке 3 приведены графики изменения температуры и влажности семян в процессе СВЧ-сушки подсолнечника при режиме t_n , $t_{отл}$ и $t_{охл}$.

Рисунок 3

График изменения влажности

Рисунок 5

График изменения влажности

Из графиков видно, что температура семян резко повышается при включении СВЧ-нагрева и снижается при их обдуве, что соответствует выбранной схеме сушки. Влажность семян в начале сушки интенсивно снижается, одновременно с ней снижается сьем влаги. Характер снижения влажности при сушке семян подтверждается данными других исследователей и, возможно, связан с удалением свободной влаги в начале и связанной влаги в конце сушки. По графику видно, что после каждого цикла сушки происходит существенное понижение влажности семян, что доказывает эффективность выбранной схемы сушки семян подсолнечника. Анализ графика температуры (рисунок 4) показывает, что на I этапе (СВЧ-нагрев) температура семян повышается и график принимает линейный вид. На II этапе (отлежка) температура семян продолжает повышаться, но не так интенсивно — на 1...1,5 °C. Это связано с выравниванием температуры зерен по слою, а также с инерционностью процесса нагрева. На III этапе (обдув) температура семян снижается и график принимает линейный вид, что в большинстве обусловлено продувкой семян в псевдоожиженном слое. После каждого цикла сушки происхо-

Рисунок 4

Зоны сушки: I – нагрев семян; II – отлежка; III – обдув

Рисунок 6

График изменения влажности

дит существенное понижение влажности семян. Это доказывает эффективность выбранной нами схемы сушки семян подсолнечника.

При режиме сушки $t_n = 180$ с, $t_{oml} = 60$ с, $t_{охл} = 90$ с максимальная температура нагрева семян достигла 64 °C и снижение влажности 1 кг семян с 28,3 % до 8,4 % проходит в течение 40 мин. На данном режиме скорость сушки высокая, но значение температуры выше 60 °C может привести к снижению всхожести семян, что нежелательно для семенного материала, поэтому семена, высушенные на данном режиме, могут быть использованы для употребления в пищу.

При первом проходе влажных семян происходит резкое повышение температуры. Скорее всего, это связано с уменьшением коэффициента диэлектрических потерь, что приводит к снижению количества теплоты, генерируемой в продукте.

По графику, приведенному на рисунке 5, видно, что при режиме $t_n = 60$ с температура семян повышается до 39 °C, что обуславливает возможность применения данного режима для сушки подсолнечника в качестве семенного материала, но из-за низкой скорости сушки повышаются общие энергозатраты.

В режиме $t_n = 240$ с, $t_{отл} = 80$ с, $t_{охл} = 120$ с температура нагрева достигает 82 °С. Как известно, чрезмерное увеличение температуры зерна с использованием СВЧ-энергоподвода может привести к возникновению объемного напряженного состояния внутри материала, связанного с неравномерным распределением влагосодержания, образованием трещин и разрушением структуры семян. Однако семена, высушенные на данном режиме, могут быть использованы для производства подсолнечного масла, так как, по результатам многих исследователей, при высокотемпературной сушке повышается масличность семян.

Вывод. В результате проведенных исследований было выявлено, что семена подсолнечника, высушенные при малых промежутках вре-

мени, наиболее подходят для закладки на семена, так как обрабатываются в щадящем режиме. При длительной сушке происходит повышение температуры выше допустимой, что соответственно приводит к порче семян. Проведенные исследования показали правильность выбора технологической схемы СВЧ-сушки семян подсолнечника. В ходе исследований были определены основные режимные параметры – время нагрева, отлежки и охлаждения, а также диапазоны температуры нагрева семян, предназначенных для различных целей.

Дальнейшие исследования направлены на определение оптимальных режимных параметров СВЧ-сушки семян подсолнечника, а также на повышение качества сушки семян.

Библиографический список

1. Исмаилов, Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений [Текст] / Э.Ш. Исмаилов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 144 с.
2. Журавлев, А.П. Технология сушки зерна и семян подсолнечника [Текст] / А.П. Журавлев, Л.А. Журавлев. Чапаев: б.и., 2000. 2003 с.
3. Будников, Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Будников. зерноград, 2008. 164 с.
4. Пат. 2577909 Российская Федерация, МПК F26B20/00, F26B9/06, B07B4/02 Устройство для сушки и сортировки сыпучих материалов [Текст] / И.Х. Масалимов, Х.Т. Каримов, И.Р. Ганеев, В.Н. Пермяков, Ш.Ф. Файзрахманов; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, Х.Т. Каримов, И.Р. Ганеев. № 2015107785; заявл. 05.03.2015; опубл. 20.03.2016, бюл. № 8.
5. Ганеев, И.Р. Влияние СВЧ-сушки на физиологическое состояние клетки в семенах рапса [Текст] / И.Р. Ганеев, И.Х. Масалимов // Особенности развития агропромышленного комплекса на современном этапе. Материалы Всероссийской научно-практической конференции в рамках XXI Международной специализированной выставки «Агрокомплекс-2011». Уфа: Башкирский ГАУ, 2011. С. 27–30.
6. Бородин, И.Ф. Изменение всхожести семян зерновых культур под влиянием СВЧ-обработки [Текст] / И.Ф. Бородин, С.В. Вендин, А.Д. Горин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1993. № 2. С. 92–95.
7. Гинзбург, А.С. Влага в зерне [Текст] / А.С. Гинзбург, В.П. Дубровский, Е.Д. Казаков, Г.С. Окунь, В.А. Резчиков. М.: Колос, 1969. 224 с.
8. Ганеев, И.Р. Перспективный способ сушки сельскохозяйственных культур [Текст] / И.Р. Ганеев, И.Х. Масалимов, Х.Т. Каримов // Достижения науки – агропромышленному производству. Материалы ЛП Международной научно-технической конференции. Челябинск: Челябинская ГАА, 2013. С. 47–49.
9. Ганеев, И.Р. Повышение эффективности сушки семян рапса с применением электромагнитного излучения [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.Р. Ганеев. Уфа: Башкирский ГАУ, 2011.
10. Файзрахманов, Ш.Ф. Разработка конвейерной СВЧ-установки для сушки семян подсолнечника с обоснованием ее параметров и режимов работы [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ш.Ф. Файзрахманов. Уфа: Башкирский ГАУ, 2015.

Сведения об авторах

1. **Ганеев Ильдар Рафаилович**, кандидат технических наук, доцент кафедры механики и инженерной графики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: gani-gir@mail.ru.
2. **Каримов Хасан Талхиевич**, ассистент кафедры механики и инженерной графики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: carimov.ces@mail.ru.
3. **Масалимов Ильгам Хамбалиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, тел.: 8(3472) 28-08-96, e-mail: mas_ilgam@mail.ru.

В данной статье приведены результаты исследования режимов сушки семян подсолнечника в СВЧ-установке непрерывного действия, технологическая схема разработанной уста-

новки для сушки семян подсолнечника с применением СВЧ-нагрева, установленные режимы сушки семян, используемые для различных целей.

I. Ganeev, KH. Karimov, I. Masalimov

STUDY MODE DRYING OF SUNFLOWER SEEDS IN MICROWAVE A CONTINUOUS PLANT

Key words: *drying of sunflower seeds; microwave installation; study; intensification of drying; heating the grain.*

Authors' personal details

1. **Ganeev Ildar**, Candidate of technical Sciences, associate professor of the department of mechanics and engineering graphics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letya Oktyabrya, 34, e-mail: gani-gir@mail.ru.

2. **Karimov Khasan**, Post-graduate student of the Chair Mechanics and Engineering Graphics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letya Oktyabrya, 34, e-mail: carimov.ces@mail.ru.

3. **Masalimov Ilgam**, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of the Chair theoretical and applied mechanics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letya Oktyabrya, 34, phone: (3472) 28-08-96, e-mail: mas_ilgam@mail.ru.

To date, it suggested many ways of intensification of grain drying. The most promising is the use of electromagnetic radiation of microwave and in-

frared bands. This article presents the results of research modes of drying sunflower seeds in the microwave Installing continuous.

© Ганеев И.Р., Каримов Х.Т., Масалимов И.Х.