

Демидов Сергей Федорович

канд. техн. наук, преподаватель, старший научный сотрудник

Пелевина Лидия Федоровна

директор

Нестеренко Екатерина Александровна

магистр, заместитель директора

Акуличева Олеся Юрьевна

преподаватель

Колледж бизнеса и технологий ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский

государственный экономический университет»

г. Санкт-Петербург

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ СВЕЖЕУБРАННОГО ЯЧМЕНЯ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫДЕЛЕННОЙ ДЛИННОЙ ВОЛНЫ

Аннотация: в данной статье авторами были проведены экспериментальные исследования процесса сушки свежесобранного пивоваренного ячменя инфракрасным излучением выделенной длинной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме в зависимости от начального влагосодержания ячменя 17,6–22кг/кг при плотности теплового потока 2,3кВт/м², высоте слоя ячменя на поддоне 10мм при достижении конечного влагосодержания ячменя 16,3 кг/кг и температуры 43–440С.

Ключевые слова: ячмень, процесс, сушка, исследование, инфракрасное излучение, температура, слой, влагосодержание.

Пивоваренный ячмень от комбайна должен сразу же поступать на зерноочистительные машины для удаления сорной примеси и дробленного зерна и аппараты для сушки. При температуре воздуха в период уборки 20 °С зерно пивоваренного ячменя с влагосодержанием 17,6–22кг/кг может безопасно храниться не более суток, а с влагосодержанием более 22кг/кг не хранится и сутки, теряет энергию прорастания в процессе получения солода. Сушку пивоваренного ячменя проводят на установках, предназначенных для сушки семенного зерна при

условии достижения конечного влагосодержания ячменя 16,3 кг/кг и температуры 43–44⁰С. Режимы сушки пивоваренного ячменя на шахтных сушилках следующие: температура рабочего агента на входе 70⁰С, на выходе 45⁰ С, начальное влагосодержание зерна до 19 кг/кг, число пропусков зерна через аппарат один; температура рабочего агента на входе 65⁰ С, на выходе 45⁰ С, начальное влагосодержание зерна до 25 кг/кг число пропусков зерна через аппарат два. Режимы процесса сушки пивоваренного ячменя в барабанных сушилках следующие: температура рабочего агента на входе 120 -130⁰ С, на выходе 45⁰ С, начальное влагосодержание зерна до 22 кг/кг число пропусков зерна через аппарат один; температура на входе 110 -120⁰С, на выходе 45⁰ С, начальное влагосодержание зерна до 25 кг/кг число пропусков зерна через аппарат два [1].

В Колледже бизнеса и технологи ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» проводятся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением [2–5].

Главной особенностью процесса сушки свежееубранного пивоваренного ячменя является ограничение по температуре. Под воздействием высоких температур происходят химические изменения, которые приводят к распаду комплексов липидов с белками и углеводами, происходит окислительный распад витаминов и других биологически активных веществ, денатурация белков, понижается энергия прорастания для получения солода. Показателем термоустойчивости растительного сырья принято считать максимально допустимую температуру нагрева его в процессе сушки, в нашем случае 43–44⁰С. Необходимо учитывать не только максимальную температуру продукта, но и скорость доведения его до этой температуры, время выдержки продукта при максимальной температуре. Скорость нагрева и обезвоживания продуктов при различных методах сушки зависит от их теплофизических, массообменных характеристик и движущей силы процесса. Движущей силой переноса влаги могут быть градиенты концентрации влаги, температуры, осмотического давления, общего давления внутри тела и другие.

Одним из способов интенсификации процесса сушки растительного сырья является применение инфракрасного излучения выделенной длины волны, позволяющего исключить перегрев материала и проводить процесс сушки в более «мягком» температурном режиме, обеспечивая сохранение всех качеств исходного продукта и достижения предельно допустимой температуры для данного продукта [6,7]. Это происходит из-за снижения температуры испарения влаги при инфракрасном излучении. При инфракрасной сушке с выделенной длины волны растительных продуктов происходит регулируемый нагрев материала. Вследствие испарения влаги и теплообмена с окружающей средой поверхностные слои материала обезвоживаются и теряют теплоту, поэтому температура и влажность материала внутри сырья выше, чем снаружи. Возникают градиенты влагосодержания q_{gradU} и температуры q_{gradT} , под воздействием которых влага изнутри перемещается к поверхности. При этом в отличие от конвективной сушки, направление обоих градиентов совпадают, что интенсифицирует процесс сушки. Безинерционность, объемность нагрева и возможность концентрации энергии в единице объема позволяют сократить процесс в 1,5–2,0 раза по сравнению с конвективной сушкой при максимальном сохранении вкусовых качеств.

Данное исследование посвящено процессу сушки свежесобранного пивоваренного ячменя инфракрасным излучением выделенной длиной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме при естественном охлаждении продукта в зависимости от начального влагосодержания ячменя 17,6–22 кг/кг при плотности теплового потока 2,3 кВт/м², высоты слоя ячменя на поддоне 10 мм при достижении конечных значений влагосодержания ячменя 16,3 кг/кг и температуры 43–44 °С.

Экспериментальные исследования проводились на аппарате (рис. 1).



Рис. 1. Экспериментальный аппарат.

В качестве источника излучения длиной волны 1,5–3,0 мкм использовались линейные кварцевые излучатели диаметром 0,012 м с керамической функциональной оболочкой [8,9,10]. Продукт располагали на сетчатом поддоне из нержавеющей стали. Инфракрасные излучатели располагали сверху и снизу относительно слоя зерен ячменя высотой 10 мм. Габаритные размеры аппарата: длина 500 мм, ширина 360 мм, высота 680 мм, длина инфракрасного излучателя 500 мм, количество инфракрасных излучателей 16 штук. Для измерения влагосодержания зерен ячменя применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ. Измерение температуры поверхности слоя зерен ячменя производилось при помощи инфракрасного термометра Raytek MiniTemp МТ6. Зерна ячменя высотой слоя 10 мм с влагосодержанием 17,7–22 кг/кг равномерно распределяли на сетчатом поддоне из нержавеющей стали в сушильной камере и при заданных параметрах, слой зерен ячменя подвергался инфракрасной обработке с двух сторон. Расстояние между инфракрасными излучателями составляло 150 мм. Процесс сушки осуществляли в осциллирующем режиме, проводя нагрев до температуры на поверхности слоя зерен ячменя 42–44°C и охлаждение без принудительного обдува, вынимая поддон из сушилки с продуктом для естественного охлаждения до температуры 37–38°C, а циклическое охлаждение обрабатываемого

материала до температуры 25–35°C требует дополнительной затраты энергии на последующий нагрев до температуры удаления структурной влаги.

Продолжительность инфракрасной сушки выделенной длиной волны пивоваренного ячменя при заданной плотности теплового потока 2,3кВт/м² и высоте слоя продукта 10 мм определяется временем достижения заданных значений конечного влагосодержания продукта 16,3 кг/кг, температуры в центре слоя и на поверхности слоя зерен ячменя 42–44°C.

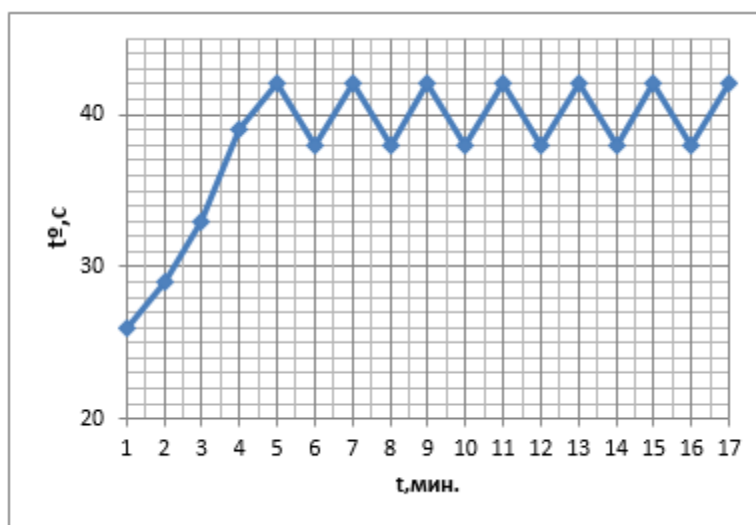


Рисунок 2. Экспериментальная зависимость процесса сушки свежесобранного пивоваренного ячменя инфракрасным излучением выделенной длиной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме при естественном охлаждении продукта при начальном влагосодержании зерен ячменя 17,6кг/кг, плотности теплового потока 2,3кВт/м², высоты слоя ячменя на поддоне 10мм при достижении конечных значений влагосодержания ячменя 16,3 кг/кг и температуры 43 -44°C.

Процесс нагрева слоя зерен ячменя до температуры 43 -44°C происходит в течение 5 мин, после этого вынимался поддон из каркаса сушилki с продуктом наружу и в течение 1 мин температура зерен ячменя с помощью естественного охлаждения становилась 37–38°C. Затем вставляли поддон в каркас сушилki в зону действия инфракрасного излучения на 1 мин, температура достигала 43–44°C, затем снова охлаждали при комнатной температуре. Таким образом, в течение 12 мин достигали конечное влагосодержание ячменя 16,3 кг/кг и

температуры 43–44⁰С. В процессе естественного охлаждения при комнатных температурах 18–20⁰С. в зернах пивоваренного ячменя образуется градиент температур, вектор которого направлен из глубинных слоёв продукта к его поверхностным слоям, где происходит совпадение с направлением вектора выхода влаги из продукта на его поверхность. Естественно, чем больше разность температур между глубинными слоями продукта и его поверхностными, тем больше температурный градиент, и тем сильнее напор свободной влаги из глубинных слоёв зерен ячменя на его поверхность [11]. Этим и достигается необходимое условие интенсификации процесса удаления свободной влаги при температуре 43–44⁰С. Аналогично проведены экспериментальные исследования процесса сушки свежееубранного пивоваренного ячменя инфракрасным излучением выделенной длиной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме при естественном охлаждении продукта в зависимости от начального влагосодержания ячменя 18,6кг/кг, 20,5 кг/кг, 22,0кг/кг, плотности теплового потока 2,3кВт/м², высоты слоя ячменя на поддоне 10мм при достижении конечных значений влагосодержания ячменя 16,3 кг/кг и температуры 43–44⁰С.

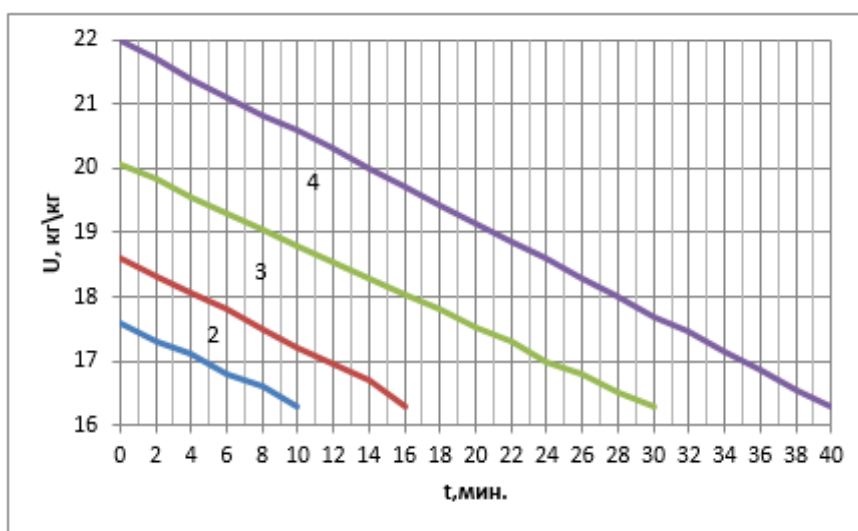


Рисунок 3. Экспериментальные зависимости процесса сушки свежееубранного пивоваренного ячменя инфракрасным излучением выделенной длиной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме при естественном охлаждении продукта в зависимости от начального влагосодержания ячменя 17,6кг/кг (прямая

1), 18,6кг/кг (прямая 2), 20,5 кг/кг (прямая 3), 22,0кг/кг (прямая 4), плотности теплового потока 2,3кВт/м², высоты слоя ячменя на противне 10мм при достижении конечных значений влагосодержания ячменя 16,3 кг/кг и температуры 43 -44⁰С.

Процесс сушки свежееубранного пивоваренного ячменя высотой слоя 10 мм протекает в периоде постоянной скорости. Длительность процесса в значительной мере определяется начальным влагосодержанием ячменя. Анализ прямых 1и 4 показал, что время инфракрасной сушки зерен ячменя от начального до конечного влагосодержания при плотности теплового потока 2,3 кВт/м²высоты слоя 10 мм увеличивается на 30 мин. Убыль влаги в процессе сушки составляет 0,13–0,14 кг/кг в мин.

Данные исследования будут использованы для дальнейшего исследования процесса сушки свежееубранного пивоваренного ячменя, связанные с интенсификацией процесса.

Список литературы

1. Гержой М.И. Зерносушение и зерносушилки. – М.: Колосс, 1967. – 277 с.
2. Демидов С.Ф. Кинетические закономерности процесса сушки панировочной хлебной крошки инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, С.С. Беляева, Л.Ф. Пелевина [и др.] // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 12 февр. 2016 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – №1 (7). – С. 160–163. – ISSN 2412–0510.
3. Демидов С.Ф. Исследование кинетики сушки пшеничных зародышей инфракрасным излучением выделенной длиной волны в осциллирующем режиме / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, Н.Н. Гашникова // Интерактивная наука – 2016. – №2.
4. Ивкина А.П. Инфракрасная сушка измельченной цветной капусты / А.П. Ивкина, С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина [и др.] // Приоритетные направления развития науки и образования: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 27 нояб. 2016 г.). В 2 т. Т. 1 / редкол.: О.Н. Широков [и др.]

др.] – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – №4 (11). – С. 263–268. – ISSN 2411–9652.

5. Демидов С.Ф. Сушка инфракрасным излучением торфа для производства биоконтейнера с растительным посевным материалом / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, Е.А. Нестеренко [и др.] // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 12 февр. 2018 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2018. – С. 12–14. – ISBN 978–5-6040732–3-0.

6. Гинсбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 528 с.

7. Атаназевич В.И. Сушка семян. – М.: Агропромиздат, 1986.

8. Демидов С.Ф. Некоторые закономерности процесса инфракрасной сушки семян подсолнечника для семенного фонда / С.Ф. Демидов, Б.А. Вороненко, А.С. Демидов [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств – 2013, – №2.

9. Демидов А.С. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением / А.С. Демидов, Б.А. Вороненко, С.Ф. Демидов // Новые технологии – 2011. – №3. – С. 25–30.

10. Демидов С.Ф. Исследование температурного поля инфракрасной нагревательной системы для сушки зародышей зерна пшеницы и ржаных отрубей / С.Ф. Демидов, С.С. Беляева, В.И. Марченко [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств – 2011. – №1.

11. Демидов С.Ф. Сушка растительного сырья инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, Б.А. Вороненко, В.В. Пеленко [и др.]. – СПб: Интермедия, 2015. – 102 с.