УДК 664.8.047.9.047

Г.И. Касьянов, Е.И. Мякинникова, И.Е. Сязин, Ж.Ф. Карикурубу

УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

Разработана оригинальная конструкция лабораторной сушильной установки, позволяющая вести процесс обезвоживания сырья в мягких, щадящих условиях. Установлена возможность интенсификации процесса теплового обезвоживания пищевого сырья с использованием замкнутой схема использования сушильного агента – аргона, с его регенерацией и возвратом в цикл последующей обработки. На основе проведенных теоретических исследований предложен непрерывный способ сушки субтропического сырья, корнеплодов и рыбы. Проведено экспериментальное исследование кинетики процесса сушки ломтиков яблок, хурмы, семги и сельдерея в разработанной авторами сушилке. Определены кинетические характеристики процесса обезвоживания растительного и животного сырья. Техническим результатом, обеспечиваемым усовершенствованной опытно-промышленной установкой, является повышение качества готовой продукции и сокращение затрат электроэнергии на процесс сушки сельскохозяйственного сырья.

Сушка, инертный газ, растительное сырье, фрукты.

Введение

Для населения нашей страны вопросы продления сроков хранения сельскохозяйственной продукции актуальны, поскольку значительная часть территории не имеет благоприятных условий для выращивания и хранения выращенного сырья, в то время как значительная часть населения испытывает дефицит незаменимых аминокислот, жирных кислот, витаминов, микроэлементов и других биологически активных соединений, крайне необходимых для жизнедеятельности человека.

К малоисследованным сырьевым источникам питательных веществ относятся высушенные в мягких условиях плоды, корнеплоды и рыба ценных пород. Однако промышленное внедрение и надежное функционирование установок по переработке таких продуктов сдерживается отсутствием комплексных исследований по оптимизации технологических процессов измельчения, гранулирования, обезвоживания сырья. Традиционные способы сушки нельзя использовать из-за специфики химического состава продукта, относительно высокой начальной влажности, а также особенностей механизма внутреннего тепломассопереноса. Эти обстоятельства затрудняют использование традиционных способов обезвоживания и ставят задачу поиска новых способов повышения эффективности проведения процесса обезвоживания и получения конечного продукта высокого качества.

Для обеспечения бесперебойной поставки в торговую сеть и предприятия общественного питания высококачественных продуктов питания пониженной и промежуточной влажности необходимо разработать надежные способы их хранения, позволяющие в полной мере сохранить все ценные компоненты – белки, липиды, витамины и минеральные вещества [1].

Но сохранить высокие биологические свойства сезонного сельскохозяйственного сырья невозможно без специального технологического оборудования. Удаление влаги из сырья путем обезвоживания до влажности 22…31 % позволяет хранить его в охлаждаемом помещении длительное время. Однако существующие способы производства продуктов с такой влажностью не позволяют полностью сохранить лабильные биологически активные вещества.

Исключением из этого правила является сублимационная сушка, требующая вложения больших капитальных затрат на ее освоение [4].

Целью настоящей работы является исследование и разработка обезвоживания сырья в среде инертного газа с предварительной подготовкой сырья.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

– исследовать процессы щадящей сушки плодов, корнеплодов и рыбы;

– исследовать кинетику сушки сырья в среде инертного газа;

– разработать математические модели процессов сушки сырья в среде инертного газа;

– обосновать технико-экономическую эффективность разработанной технологии и оборудования.

Первоначально была поставлена задача разработать такую модель сушильной установки, которая за счет совершенствования её конструкции позволит организовать процесс щадящей сушки сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения.

В настоящее время из-за озадаченности вопросом сохранения и использования полезного потенциала пищевых веществ скоропортящихся фруктов и овощей технология сушки выносится на первый план. Такая технология применяется для производства мюсли, заготовок для фруктовых и овощных салатов, стратегического запаса фермерских, складских хозяйств, производственных предприятий и др. Хранятся высушенные овощи и фрукты в зависимости от остаточного в них количества влаги, способа сушки и условий хранения в течение 6...24 мес. При выборе технологии сушки важное значение имеют конструктивные особенности сушильных установок.

Среди сушильных установок известность и заслуженное распространение получила установка «Esidri» фирмы Hydraflow Industries Limited (Новая Зеландия) [2], имеющая легко монтируемую мо-

дульную сборно-разборную конструкцию из круглых лотков. Лотки состоят из высококачественного пластика, применяемого в аппаратах для обработки пищевых продуктов. Установка обладает многофункциональной способностью сушить сельскохозяйственное сырье при температуре от 40 до 60 °С. Недостатком данной установки является длительный период сушки – 8...12 ч – и окисление термолабильного сырья кислородом воздуха при температуре сушки выше 50 °С.

Известны установки для завяливания и сушки фруктов, овощей и других продуктов [3, 4], а также устройство для хранения овощей и фруктов [5]. Кроме аналогичных недостатков сушилки «Esidri», данные установки характеризуются высокими показателями энергозатрат [6].

Нами разработана усовершенствованная модель экспериментальной установки для сушки сельскохозяйственного сырья. При этом учтены недостатки известных сушилок, заключающиеся в окислении термолабильных компонентов растительного сырья кислородом, при сушке горячим воздухом.

Итоговым результатом, обеспечиваемым экспериментальной установкой, является повышение качества готовой продукции и сокращение затрат электроэнергии на процесс сушки сельскохозяйственного сырья.

Экспериментальная установка для сушки сельскохозяйственного сырья содержит теплоизолированный корпус, многоэтажные сменные лотки для сырья, принудительную подачу сушильного агента не снизу вверх через весь объем сушилки, а от краев к центру каждого из лотков. Установка отличается тем, что в теплоизолированном корпусе предусмотрена возможность использования в качестве сушильного агента инертного газа, в частности аргона. Применение аргона в качестве сушильного агента оправдано за счет включения в состав сушильной установки узла регенерации аргона и возвращения сушильного агента в цикл сушки. На Краснодарском кислородном заводе аргон является второстепенным продуктом и его себестоимость невелика. При этом в спроектированной установке потери сушильного агента (после регенерации) незначительны и не превышают 5–7 %.

В качестве объектов исследования были взяты нарезанные на дольки яблоки, очищенная от кожицы и нарезанная ломтиками или измельченная в пюре мякоть хурмы, ломтики рыбы семги и пластинки корня сельдерея, которыми заполнялись съемные лотки сушильной установки.

Исследование влияния режимов сушки выбранного сырья на процесс удаления влаги, осуществлялось на специально сконструированной экспериментальной установке (рис. 1).

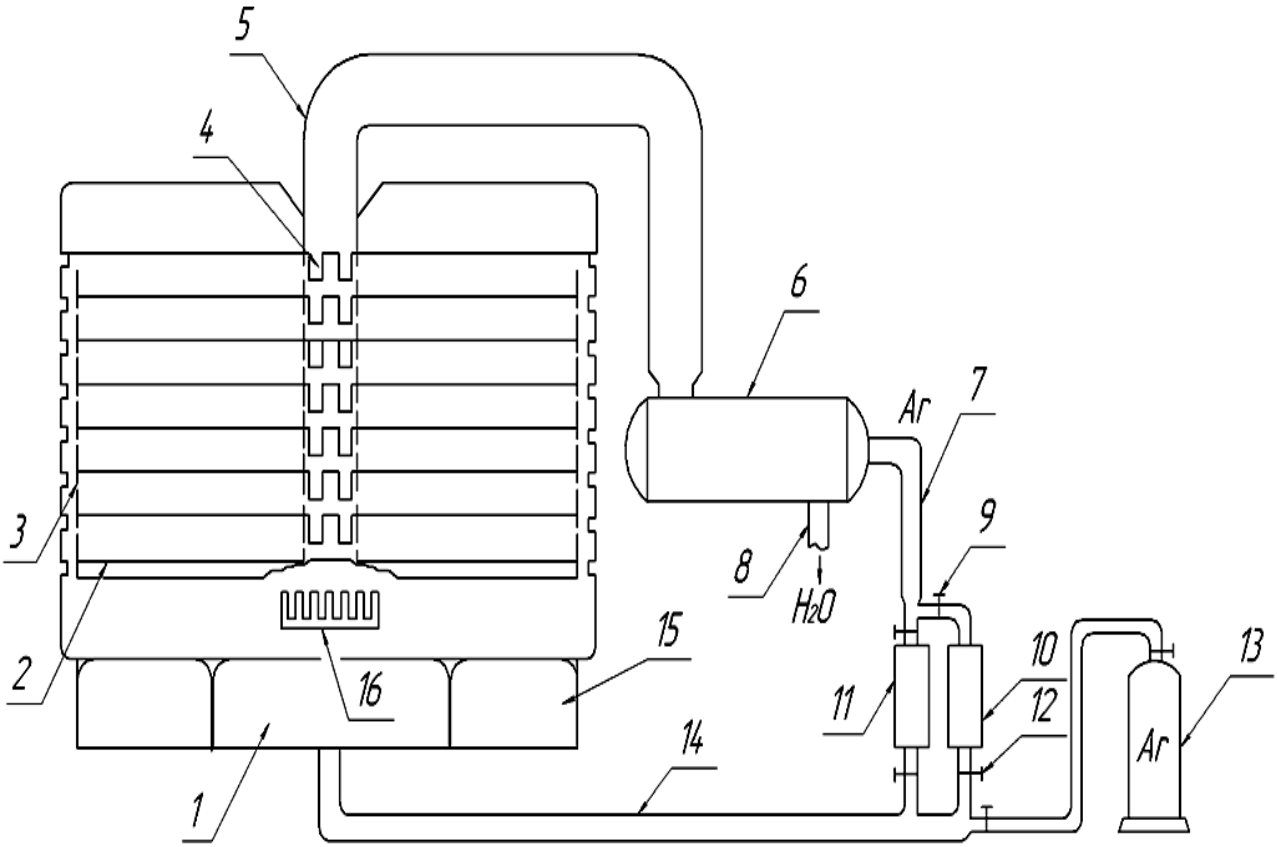

Рис. 1. Схема экспериментальной установки для сушки сельскохозяйственного сырья:
1 – полость всасывания аргона; 2 – лоток для продукта; 3 – стенки отсеков сушки;
4 – выпускные патрубки для отработанного газа; 5 – вытяжка; 6 – конденсатор; 7 – патрубок для аргона; 8 – патрубок для воды;
9, 12 – соленоидные вентили; 10, 11 – адсорбционные съемные фильтры; 13 – баллон с аргоном; 14 – всасывающий коллектор;
15 – основная платформа со встроенным тепловентилятором 16, который нагнетает и нагревает аргон

Теплоизолированный корпус сушилки состоит из сменных круглых лотков для сырья (2), выполненных из пищевого высококачественного термостойкого пластика, внизу установки находится полость для всасывания аргона (1) и всасывающий коллектор (14), подача аргона осуществляется из баллона (13), равномерная подача сушильного агента происходит по стенкам отсеков (3) с помощью тепловентилятора (15). В верхней части сушилки вытяжная труба (5), по которой увлажненный сушильный агент подается в конденсатор (6), в котором конденсируется водяной пар, а образовавшаяся влага удаляется через патрубок (8). Освобожденный от влаги аргон попеременно подается на один из съемных фильтров (10, 11), где дополнительно очищается от примесей и через всасывающий коллектор (14) вновь подается в сушилку. Предварительно подготовленное сельскохозяйственное сырье растительного или животного происхождения укладывается на лотки (2), которые затем складываются в вертикальную стопку из 8–30 лотков. После чего включается в сеть тепловентилятор (15) и устанавливается на пульте режим сушки от 40 до 65 °С. Через всасывающий коллектор (14) подается аргон из баллона (13). Далее сушилка работает в автономном режиме.

Особая роль в работе экспериментальной сушильной установки отводится нетрадиционному сушильному агенту – аргону, применение которого в технологической схеме позволило повысить качество готового продукта и максимально сохранить биологически активные компоненты исходного сырья.

Основными факторами, влияющими на процесс сушки, была начальная влажность каждого вида сырья, температура аргона как теплоносителя и мощность встроенного тепловентилятора. При этом учитывалось, что начальная влажность яблок 85 %, конечная 24 %, начальная влажность хурмы 81 %, конечная 31 %, начальная влажность семги 71 %, конечная 22 %. Эти факторы были совместимыми и некоррелировались между собой в следующих пределах измерений: $15 \le W \le 85$ %, $298 \le T \le 338$ К, $450 \le P \le 600$ Вт.

При указанных режимных параметрах скорость потока горячего аргона поддерживалась в интервале 0,5–2,0 м/с.

В процессе исследования режимов сушки разнородного по структуре и влагоотдаче сырья – ломтиков яблок, хурмы, рыбы семги и сельдерея установлены общие закономерности, например, повышение начальной влажности сырья приводит к необходимости увеличения скорости теплоносителя. Это связано с наличием поверхностной влаги, влияющей на скорость как первого, так и последующих периодов сушки.

Кроме того, исходная влажность корней сельдерея оказывает влияние на соотношение периодов постоянной и убывающей скорости сушки таким образом, что с повышением влажности возрастает величина критического влагосодержания и изменяется доля периода убывающей скорости сушки.

Подобные закономерности объясняются разной формой связи влаги с белками и углеводами. В сырье с высокой начальной влажностью естественно и количество более прочно связанной влаги выше. При этом на первом этапе скорость удаления свободной и частично связанной влаги довольно велика, а дальнейший характер протекания процесса замедлялся. Кинетические закономерности процесса сушки яблок, хурмы, семги и сельдерея представлены кривыми сушки и температурными кривыми. На рис. 2 показаны кривые сушки плодов, корнеплодов и рыбы.

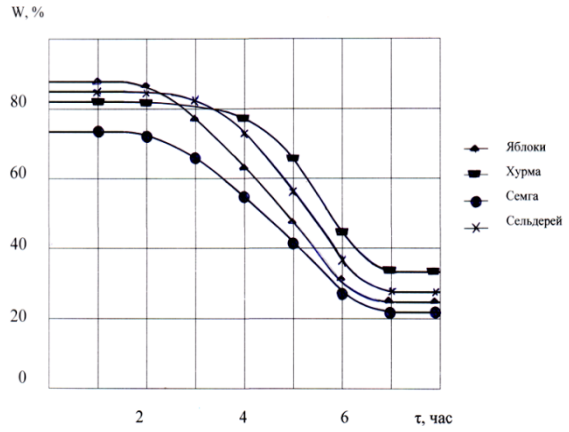

Рис. 2. Кривые сушки ломтиков яблок, хурмы, семги и сельдерея в зависимости от температуры и продолжительности процесса сушки

Установлено, что основная часть испаряемой влаги удаляется в периоде убывающей скорости сушки.

В результате исследования кинетических зависимостей процесса сушки яблок, хурмы, семги и сельдерея при стационарных режимах разработаны оптимальные режимы сушки, которые приведены в табл. 1. В периоде постоянной скорости сушки интенсивность процесса определяется внешними условиями, в периоде падающей скорости интенсивность удаления влаги зависит от сопротивления влагопереносу внутри материала.

Таблица 1

Режимы сушки ломтиков яблок, хурмы, семги и сельдерея

Вид сырья	Этап скорости сушки		
	I	II	III
Яблоки	Т=290 К, =2,0 м/с, =60 мин	Т=300 К, =1,0 м/с, =180 мин	Т=313 К, =0,5 м/с, =120 мин
Хурма	Т=290 К, =2,0 м/с, =40 мин	Т=300 К, =1,0 м/с, =60 мин	Т=313 К, =0,5 м/с, =40 мин
Семга	Т=300 К, =2,0 м/с, =30 мин	Т=310 К, =1,5 м/с, =120 мин	Т=320 К, =1,0 м/с, =180 мин
Сельдерей	Т=310 К, =2,0 м/с, =30 мин	Т=320 К, =1,5 м/с, =120 мин	Т=338 К, =1,0 м/с, =65 мин

Практическая реализация процесса конвективной сушки сельскохозяйственного сырья организована в условиях МП «Экологически чистые пищевые технологии». При сушке корней сельдерея сначала равномерно укладывали одним слоем очищенное тонконарезанное сырье в лоток, затем помещали его на основание сушилки. Включали тепловентилятор и открывали вентиль подачи аргона. Устанавливали режим сушки в интервале от 45 до 50 °С. За счет конвективного обдува продукта нагретым инертным газом удалось снизить продолжительность процесса сушки и его энергоемкость.

Таким же способом осуществляли сушку яблок, которые сначала нарезали на дольки и равномерно укладывали одним слоем в лоток из термоустойчивой пластмассы. Всего на основание сушилки помещали лотки с нарезанными яблоками в стопку от 8 до 30 лотков. Затем включали тепловентилятор, открывали вентиль подачи аргона и устанавливали режим сушки в интервале от 40 до 45 °С.

В случае закладки в лотки на сушку плодов хурмы сначала удаляли из них несъедобные части, косточки и семена, затем равномерно укладывали слоем до 2 см измельченное в пюре сырье в лоток, затем помещали его на основание сушилки в стопку от 8 до 30 лотков. При включенном тепловентиляторе открывали вентиль подачи аргона. Устанавливали режим сушки в интервале от 35 до 40 °С.

При подготовке сушке филе семги сначала посолили в тузлуке с пряностями, равномерно уложили одним слоем филе в лоток, затем поместили его в лотки на основание сушилки. Процесс конвективной сушки в среде инертного газа проводили при температуре от 50 до 60 °С в течение 8 ч.

В табл. 2 приведены показатели химического состава и калорийности сушеных плодов и овощей, полученных методом тепловой сушки.

Таблица 2

Основные показатели химического состава и калорийности сушеных плодов и овощей, полученных методом тепловой сушки, (% к сухой массе)

Продукт	Сухие вещества	Углеводы	Азотистые вещества	Калорийность, кал/100 г
Яблоки	80	63,4	2,4	269,5
Хурма	87	68,6	8,2	294,4
Сельдерей	86	53,0	7,4	247,6
Семга	88	43,0	20,6	261,7

Исследовались качественные показатели высушенных яблок, хурмы, семги и сельдерея, среди которых важным является процесс восстанавливаемости. Вполне очевидно, что полного восстановления высушенных продуктов нельзя достичь, поскольку в процессе сушки материалов, имеющих коллоидно-капиллярно-пористую структуру, деформируются ткани, сжимаются свободные межклеточные пространства и перекрываются капилляры, по которым влага могла впитываться при набухании. Под тепловым воздействием возможна коагуляция цитоплазмы клеток и денатурация термолабильных веществ, которые в нормальном состоянии хорошо связывают влагу и набухают. Однако восстанавливаемость плодов яблок и хурмы, высушенных разработанным способом, была лучше, чем плоды, высушенные при чистой конвекции. Вероятно, что при сушке в среде инертного газа в меньшей степени изменяется структура тканей сырья, уменьшается усадка и коробление, и продукт за счет быстрого испарения влаги сохраняет более пористую структуру.

Таким образом, в разработанной сушильной установке достигается следующий технический результат: повышение качества высушенного продукта за счет щадящих температурных режимов обработки сырья в среде аргона, сокращение затрат электроэнергии на процесс щадящей сушки сельскохозяйственного сырья в среде инертного газа, что достигается за счет включения в сушильный комплекс устройства для подачи и регенерации нетрадиционного сушильного агента – аргона.

Авторами изготовлен экспериментальный образец сушильной установки, испытания которой позволили определить удельный расход тепловой энергии на сушку в объеме 4 450 кДж/кг, по сравнению с расходом энергии в обычной сушилке 5 785 кДж/кг. Весьма важным достоинством разработанной сушильной установки является возможность сократить продолжительность сушки предварительно подготовленного сельскохозяйственного сырья с 11 ч в обычной сушилке до 8 ч в экспериментальной сушилке.

Изготовленная установка для сушки сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения выполнена с использованием промышленно выпускаемых устройств и материалов, может быть изготовлена на любом промышленном предприятии и найдет широкое применение в сельском хозяйстве, а также на малых предприятиях пищевой отрасли. Предложенная физико-химическая модель сушки растительных пищевых продуктов в среде инертного газа может быть рекомендована при разработке промышленных технологий обезвоживания сырья, в том числе с применением в качестве теплоносителей других инертных газов.

Выводы

1. Разработана конструктивно-технологическая схема экспериментальной сушильной установки, позволяющая вести процесс обезвоживания сырья в мягких, щадящих условиях. Установлена возможность интенсификации процесса теплового обезвоживания пищевого сырья с использованием замкнутой схемы использования сушильного агента – аргона с его регенерацией и возвратом в цикл последующей обработки.

2. На основе проведенных теоретических исследований предложен непрерывный способ сушки субтропического сырья, корнеплодов и рыбы.

3. Разработаны режимы низкотемпературного проведения процесса теплового обезвоживания сельскохозяйственного сырья с гарантированной сохранностью пищевой и биологической ценности готовой продукции.

4. Разработаны оптимальные режимы сушки плодового сырья, корнеплодов, рыбного филе, которые позволили сократить энергозатраты в 1,3 раза и время сушки в 1,4 раза по сравнению с сушкой в среде горячего воздуха.

Список литературы

1. Лягина, Л.А. Повышение эффективности сушки продуктов растительного происхождения за счет инфракрасно-конвективного воздействия: автореф. дис. … канд. техн. наук / Ладыгина Л.А. – Саратов, 2010. – 24 с.

2. Спецвыпуск о сушилке Изидри // Природное земледелие. – 2013. – 24 с.

3. Пат. 2051589 Российская Федерация. Установка для завяливания и сушки фруктов, овощей и других продуктов / Гаганов В.А. – № 5055590/13; заявл. 21.07.92.; опубл. 10.01. 96.

4. Пат. 2292193 МПК A23L 1/29. Способ сублимационной сушки растительного сырья / Касьянов Г.И., Мысак С.В., Иванова Е.Е. – № 2005106929/13; заявл. 10.03.05.; опубл. 27.01.2007.

5. Пат. № 2007901 RU. Устройство для хранения овощей и фруктов / Абрамов И.А., Павлов Е.В. – № 5012344/13; заявл. 18.11.91; опубл. 28.02.94.

6. Холманский, А.С. Исследование кинетики сушки растительных пищевых продуктов / А.С. Холманский, А.З. Тилов, И.И. Тюхов // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 2. – С. 15–17.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный
технологический университет»,
350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2.
Тел/факс 8(861)259-65-92,
e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

SUMMARY

G.I. Kasyanov, E.I. Myakinnikova, I.E. Syazin, J.F. Karikurubu

INSTALLATION FOR DRYING OF AGRICULTURAL RAW MATERIAL

The original construction of a laboratory drying plant for dehydration of raw material under soft conditions has been designed. The opportunity to intensify food raw material thermal dehydration applying a reversed scheme of using argon as a drying agent with its regeneration and return into the cycle of consequent processing has been determined. A continuous method of drying of subtropical raw material, roots and fish has been suggested based on fulfilled theoretical researches. The experimental research of apple, persimmon, salmon and celery slices drying kinetics has been fulfilled in the drying plant designed by the authors. Kinetic parameters of dehydration of raw materials of plant and animal origin have been determined. The technical result provided by the updated pilot plant is the increase of the finished product quality and the reduction of expenditure of electric energy used for agricultural raw material drying.

Drying, inert gas, plant raw material, fruits.

FSBEI HPE «Kuban State Technological University»,
2, Moscovskaya st., Krasnodar, 350072 Russia.
Phone/fax: 8(861)259-65-92,
e-mail: adm@kgtu.kuban.ru

Дата поступления: 06.03.2014