

*И. А. Викторова*, аспирант

*Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Чебоксары (Россия)*

*Аннотация.* Сублимационная сушка протекает при низких температурах и глубоком вакууме. При этом большая часть влаги испаряется из продукта, находящегося в замороженном состоянии, без плавления кристаллов льда. В слое продукта, высушенном методом сублимации, сохраняются объем и структура ткани, а также первоначальные свойства.

При сушке сублимацией наблюдается три периода. Первый период – период охлаждения и самозамораживания. Второй – период сушки сублимацией. Третий – тепловая сушка, которая составляет 25–45 % всей продолжительности процесса. Если это время уменьшить, то можно перегреть наружные высушенные слои.

В предлагаемом сублиматоре для уменьшения продолжительности процесса сушки, подогрев сырья осуществляется не за счет горячей воды, протекающей внутри эжектора, а за счет воздействия энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты. Сверхвысокочастотный нагрев позволяет подводить тепло равномерно по всему объему, что позволяет уменьшить продолжительность сушки и улучшить качество продукции. Смысл в том, что в первой половине технологического процесса необходимо немного увеличить мощность.

В статье описываются конструктивные особенности рассматриваемого устройства – сублиматора, указывающие на преимущества перед другими установками для сушки замороженного продукта: нижняя часть установки служит объемным резонатором СВЧ-генератора и в ней расположена диэлектрическая мешалка, а в верхней части камеры установлен конденсатор-вымораживатель, соединенный с холодильным контуром, расположенным с внешней стороны камеры. Генераторный блок герметично закреплен к объемному резонатору с внешней стороны.

*Ключевые слова:* вакуум, возгонка, контактная сушка, саморазмораживание, сублиматор, сублимационная сушка, сублимация, сверхвысокочастотная мощность, температура поверхности, теплоизлучение, токи высокой частоты, электрический СВЧ дуговой разряд, электромагнитное поле сверхвысокой частоты.

Известно, что сублимационная сушка протекает при низких температурах и глубоком вакууме. При этом большая часть влаги испаряется из продукта, находящегося в замороженном состоянии, без плавления кристаллов льда. В слое продукта, высушенном методом сублимации, сохраняются объем и структура ткани, а также первоначальные свойства [1–2]. В технологическом процессе сублимационной сушки замороженные продукты помещают в вакуумную камеру. Вакуум обеспечивает испарение влаги из продукта при температуре  $-10...-15$  °С. При сушке сублимацией наблюдается три периода. Первый – период охлаждения и самозамораживания. В этот период температура продукта, находящегося в условиях вакуума, снижается благодаря отводу теплоты на испарение влаги [9, 10, 12]. Второй период – сушка сублимацией, когда температура продукта почти не изменяется, замороженная влага сублимируется и удаляется из продукта. Скорость сушки при этом постоянна [13, 15, 17, 18]. В этот период для испарения влаги необходимо подводить тепловую энергию во всем интервале температур и давлений, при которых твердая и газообразная фазы сосуществуют. В вакууме происходит интенсивное испарение льда.

Возгонка, переход вещества из кристаллического состояния (без плавления) в газообразное, происходит с поглощением теплоты [8, 14, 16, 19]. Чтобы в процессе испарения температура продукта не падала слишком сильно, необходимо подводить тепло извне. Это так называемая теплота возгонки. Основное количество влаги, составляющее 75–85 %, удаляется из продукта в замороженном состоянии во второй период [5, 6, 7]. Третий период – тепловая сушка, когда происходит испарение абсорбционно связанной влаги (5–15 %), оставшейся в жидком состоянии, даже при очень низких температурах продукта [21]. Этот период составляет 25–45 % всей продолжительности сушки. При теплоизлучении наиболее длительной и сложной технологической операцией является возгонка льда, которая в начале процесса сушки проходит при температуре поверхности продукта  $-40...-50$  °С. В процессе сушки граница между высушенной и замороженной частями продукта, т. е. поверхность возгонки, постепенно перемещается вглубь, так что снаружи образуется высушенный слой с малой теплопроводностью, который препятствует передаче тепла к внутренним замороженным частям продукта. В результате для сушки теплоизлучением требуется

15–26 ч. Если попытаться сократить это время, то можно перегреть наружные высушенные слои. Анализ показывает, что в сублиматоре теплоносителем может являться горячая вода или пар (контактная сушка), электронагревательные элементы и токи высокой частоты. В предлагаемом сублиматоре, с целью уменьшения продолжительности сушки сырья, подогрев осуществляется не за счет горячей воды, протекающей внутри эжектора, а за счет воздействия энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты. СВЧ нагрев позволяет подводить тепло равномерно по всему объему, что позволяет уменьшить продолжительность сушки и улучшить качество сушеной продукции [20, 21, 23]. В первой половине технологического процесса необходимо несколько увеличивать мощность, но не настолько, чтобы произошло размораживание продукта, или возник электрический СВЧ дуговой разряд. Если при атмосферном давлении пробивная напряженность электрического поля 30 кВ/см, то при давлении остаточных газов 130...330 Па имеет место минимальная пробивная напряженность электрического поля, равная около 100 В/см в импульсе. При рабочих давлениях в сушильных камерах менее 100 Па пробивная напряженность электрического поля превышает 400 В/см на частоте 2450 МГц. В процессе сушки поверхностные слои при СВЧ-нагреве становятся практически сухими и обладают малой теплопроводностью, поэтому их температура становится положительной и может достигать нескольких десятков градусов. Например, для капусты максимально допустимая температура +40...50 °С, чтобы не произошло перегрева наружных слоев, в конце процесса сушки надо уменьшить подводимую сверхвысокочастотную мощность [4, 11]. С другой стороны, при температурах ниже нуля фактор потерь примерно на порядок меньше, чем при более высоких температурах. Это говорит о том, что только в ЭМП СВЧ, можно получить равномерное распределение мощности по объему [1, 2]. Чтобы уменьшить опасность пробоя, конструкция резонаторных камер должна быть такова, чтобы напряженность электрического поля в продукте была максимальной, а окружающем вакууме не превышала допустимого значения. Сублиматор (рисунок 1) с СВЧ генератором для сушки замороженного продукта представляет собой вертикальную цилиндрическую камеру с нижним и верхним люками и патрубками для вакуум-насоса и слива отходов, разделенную на две части с помощью многослойных перфорированных перегородок из неферромагнитного материала.

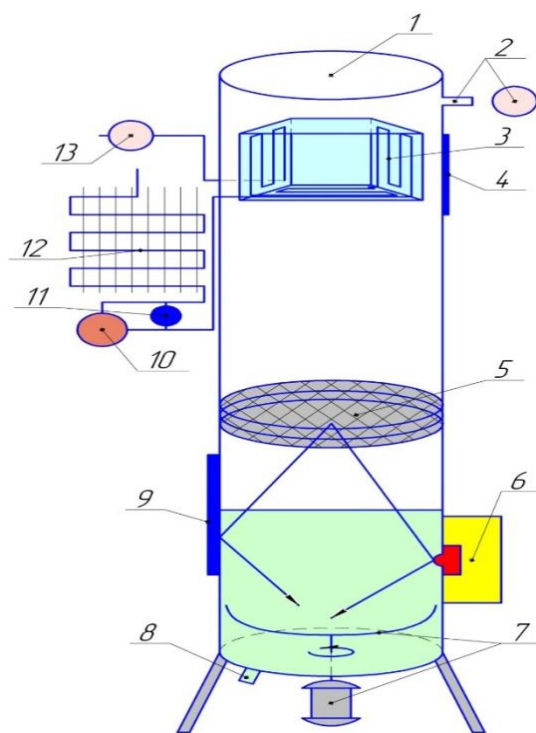


Рисунок 1 – Сублиматор с СВЧ генератором:

1 – камера сублиматора из неферромагнитного материала; 2 – вакуум-насос и патрубок для его подсоединения к сублиматору; 3 – конденсатор-вымораживатель; 4 – люк для очистки конденсатора от наросшего льда; 5 – многослойное перфорированное экранирующее перекрытие из неферромагнитного материала; 6 – сверхвысокочастотный генератор с магнетроном; 7 – перемешивающий механизм с мотор-редуктором; 8 – сливной патрубок; 9 – люк для загрузки и выгрузки продукта; 10 – компрессор; 11 – регулятор производительности; 12 – испаритель; 13 – ресивер

Причем ее нижняя часть служит объемным резонатором СВЧ-генератора и в ней расположена диэлектрическая мешалка, а в верхней части камеры установлен конденсатор-вымораживатель, соединенный с холодильным контуром, расположенным с внешней стороны камеры. Генераторный блок герметично закреплен к объемному резонатору с внешней стороны. Сублиматор работает в периодическом режиме, обеспечивая сушку замороженного продукта в процессе воздействия ЭМП СВЧ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новикова Г. В. Технологическое оборудование для термообработки сельскохозяйственного сырья // Вестник ФБГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева». Чебоксары : 2013. № 2 (78). С. 12–16.
2. Михайлова О. В. Установка для термообработки кускового мясного сырья // Известия Оренбургского ГАУ. 2013. № 3 (48) 2014. С. 143–148.
3. Михайлова О. В. Интенсификация посола и термообработки мясного сырья // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: 9 Международная научно-техническая конференция. М. : ГНУ ВИСЭХ. 2014. С. 78–80.
4. Гуйко Э. И. Теоретические основы хладотехники. М. : Колос, 1994. 367 с.
5. Жуковская Н. К. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Учебное пособие для вузов // М. : Агропромиздат, 1985. 225 с.
6. Азаров Б. М. Технологическое оборудование пищевых производств. М. : Агропромиздат, 1988. 463 с.
7. Антипов С. Т. Машины и аппараты пищевых производств. М. : Высшая школа, 2001. 703 с.
8. Белова М. В. Технологическое оборудование для термообработки сельскохозяйственного сырья // Вестник ФГОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический университет им. И. Я. Яковлева». Чебоксары : 2013. № 3 (70). С. 48–50.
9. Фролов С. В. Тепло- и массообмен в расчетах процессов холодильной технологии пищевых продуктов. М. : Колос-пресс, 2001. 144 с.
10. Соколов А. А. Технология мяса и мясопродуктов. М. : Пищевая промышленность, 1970. 740 с.
11. Соколов В. В. Переработка продукции животноводства в крестьянских, фермерских и коллективных хозяйствах. Ижевск: Удмуртский университет, 1998. 299 с.
12. Снежков Н. И. Технология первичной переработки продуктов животноводства. М. : МСХА, 1998. 112 с.
13. Рогов И. А. Физические методы обработки пищевых продуктов. М. : Пищевая промышленность, 1974. 584 с.
14. Плаксин Ю. М. Процессы и аппараты пищевых производств. М. : Колос, 2008. 760 с.
15. Панфилов В. А. Машины и аппараты пищевых производств. М. : Высшая школа, 2001. 1527 с.
16. Панфилов В. А. Технологические линии пищевых производств (теория технологического потока). М. : Колос, 1993. 288 с.
17. Лыков М. В. Теория сушки. М. : Энергия, 1968. 470 с.
18. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М. : Высшая школа, 1967. 600 с. 21. Теплообмен (справочник). М. : Энергия, 1978. 480 с.
19. Казимир А. П. Эксплуатация электротермических установок в сельскохозяйственном производстве. М. : Россельхозиздат, 1984. 208 с.
20. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. М. : Колос, 2001. 552 с.
21. Захаров А. А. Применение тепла в сельском хозяйстве. М. : Агропромиздат, 1980. 360 с.

## SUBLIMATOR FOR DRYING THE FROZEN PRODUCT

© 2015

*I. A. Viktorova, the post-graduate student  
Chuvash state agricultural academy, Cheboksary (Russia)*

*Annotation.* Sublimating drying proceeds at low temperatures and deep vacuum. Thus the most part of moisture evaporates from the product which is being the frozen condition, without fusion of crystals of an ice. In the layer of the product which has been dried up by a method of sublimation, the volume and structure of a fabric, as well as initial properties are kept. The first period – the period of cooling and self-freezing.

At drying by sublimation it is observed three periods. The first period – the period of cooling and self-freezing. The second period is the period of drying by sublimation. The third period is thermal drying which makes 25 ... 45 % of all duration of process. If at this stage to try to reduce this time it is possible to overheat the external dried up layers.

In offered сублиматоре to reduce duration of process of drying, the heating of raw material is carried out not due to the hot water proceeding inside etager, and due to influence of energy of an electromagnetic field of ul-

trahigh frequency. Super high-frequency heating allows bringing warmly in regular intervals on all volume; it allows to reduce duration of drying and to improve quality of dried production. Sense that in first half of technological process it is necessary to increase capacity a little.

In article design features of a considered arrangement – sublimator which specify advantages before other installations for drying the frozen product are described: the bottom part of installation serves the volumetric resonator of the microwave of the generator and in it the dielectric mixer is located, and in the top part of the chamber the condenser-freezer connected to a refrigerating contour, located with an external side of the chamber is established. The generating block is tightly fixed to the volumetric resonator from an external side.

*Keywords:* vacuum, sublimation, contact drying, self-defreezing, sublimator, sublimating drying, sublimation, temperature of a surface, thermal radiation, currents of high frequency, super high-frequency capacity, an electric microwave arc category, an electromagnetic field of ultrahigh frequency.

УДК 631.314.322.1

## ОБОСНОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ПОСЕВЕ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

© 2015

*В. В. Голубев*, кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Технологические и транспортные машины и комплексы»

*А. С. Фирсов*, аспирант

*Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь (Россия)*

*Аннотация.* На сегодняшний момент в нашей стране наблюдается значительное сокращение посевных площадей для сельскохозяйственных культур. Однако достаточно большое количество сельскохозяйственной продукции имеют тенденцию к увеличению спроса, так как широко используются во многих отраслях промышленности. Лен-долгунец является ценной масличной и технической культурой, которая внесена в перечень приоритетных направлений производства сельскохозяйственной продукции. В настоящее время качество проведения технологических операций возделывания мелкосеменных культур, таких как лен-долгунец, рапс яровой, люцерна и другие однолетние и многолетние травы, в системе земледелия занимают важное место. Концепцией развития сельского хозяйства на ближайшие 20 лет предусматривается разработка перспективных технологических операций при возделывании мелкосеменных культур. Наиболее значимыми и технологически сложными являются операции культивации, выравнивания, уплотнения и посева сельскохозяйственной культуры. При этом необходимо использование достаточно большого количества сельскохозяйственных машин, обеспечивающих выполнение агротехнических требований (АТТ), повышение производительности выполняемых работ, снижение металлоемкости машин, энергоемкости процесса и трудовых затрат. Выполнение указанных требований возможно при обстоятельном рассмотрении каждого технологического процесса как элемента общей системы. Качество посева условия размещения семян в почве во многом зависят от последовательности предпосевной обработки, что особенно важно при посеве мелкосеменных культур. Предпосевная обработка почвы является заключительным этапом подготовки почвы к посеву льна-долгунца. В статье проанализированы последовательность технологического процесса обработки почвы при посеве льна-долгунца, а также факторы, влияющие на проводимые операции.

*Ключевые слова:* агрофон, боронование, выравнивание, качество посева, лен-долгунец, мелкосеменные культуры, обработка почвы, посев, почва, последовательность операций, технологический процесс, урожайность, уплотнение.

*Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.* Исследованиями многих ученых установлено, что почва считается подготовленной под посев, если она обработана до оптимального состояния, при условии её биологической и физической спелости [1]. Значительное количество работ посвящено обоснованию способов предпосевной обработки

почвы, обеспечивающих повышение качества, соответствующего предъявляемым исходным агротехническим требованиям, при условии снижения удельных энергетических затрат, и с учетом ресурсосбережения.

Опираясь на агротехнические требования и исходных требования базовых технологических операций, ученые по-разному относятся к физико-