

УДК 664.8/9

Исполняющий обязанности директора А.И. Потапов
(ООО «РЕТА»)

директор А.Н. Рязанов
(ООО НПП «АГК-ТК»)

доцент А.С. Белозерцев, доцент А.В. Прибытков
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств,
тел. (473) 255-38-96

Разработка конструкции лиофильной сушилки для термолабильных продуктов

В статье представлены способ и конструкции вакуум-сублимационных сушилок для обезвоживания жидких и пастообразных термолабильных продуктов.

The article presents method and construction of vacuum freeze driers for dehydration of liquid and paste thermolabile products.

Ключевые слова: вакуум-сублимационная (лиофильная) сушка, испарительное самозамораживание, СВЧ-энергоподвод.

Вакуум-сублимационная или лиофильная сушка, т. е. высушивание материалов в замороженном состоянии под вакуумом, является одним из наиболее прогрессивных методов обезвоживания термолабильных пищевых продуктов и микробиологических материалов, который позволяет обеспечить максимальное сохранение большинства первоначальных свойств продуктов в процессе их получения и длительного хранения. Однако сублимационная (лиофильная) сушка не нашла широкого применения из-за сравнительно высокой стоимости получаемых продуктов за счет длительности и энергоемкости процесса в ее традиционном виде [1, 4].

Одним из направлений интенсификации процесса вакуум-сублимационной (лиофильной) сушки является создание развитой высокопористой структуры продукта с целью увеличения площади поверхности сублимации влаги. Однако при этом затрудняется подвод энергии традиционными способами к внутренним слоям продукта (кондуктивный и, в меньшей степени, ИК-нагрев). Поэтому для обеспечения равномерного нагрева продукта наиболее целесообразным является применение сверхвысокочастотной энергии. Как известно, характер СВЧ-нагрева позволяет резко интенсифицировать процессы тепло- и массообмена, так как прогрев продукта происходит по всему объему. Сушка является тем процессом, в котором преимущество СВЧ-энергии проявляется наиболее ярко,

при этом предпочтение отдается установкам непрерывного действия. Поэтому применение сверхвысокочастотного нагрева для интенсификации процесса вакуум-сублимационной сушки пищевых продуктов является перспективным направлением на пути устранения вышеперечисленных недостатков в совокупности с организацией процесса в непрерывном режиме. В то же время, создание установок непрерывного действия затруднено высокой степенью сложности конструкций, низкой надежностью и трудностями при загрузке и выгрузке высушиваемого продукта в вакуумной камере сублимационной сушилки.

Предлагаемые далее способ и конструкции вакуум-сублимационных сушилок для обезвоживания жидких и пастообразных продуктов с СВЧ-энергоподводом позволяют комплексно решить проблему интенсификации процесса при получении продукта высокого качества и минимальных затратах энергии и времени [2, 3].

Поставленная задача достигается тем, что продукт выдавливают методом экструзии непосредственно в сублимационную камеру в зону с давлением выше тройной точки с образованием высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры и с последующим испарительным замораживанием продукта (экструдата) в зоне с давлением ниже тройной точки, который параллельно подвергают сублимационной сушке в сверхвысокочастотном поле. При этом паровой затвор создается за счет паров, образованных в результате интенсивного испарения влаги в

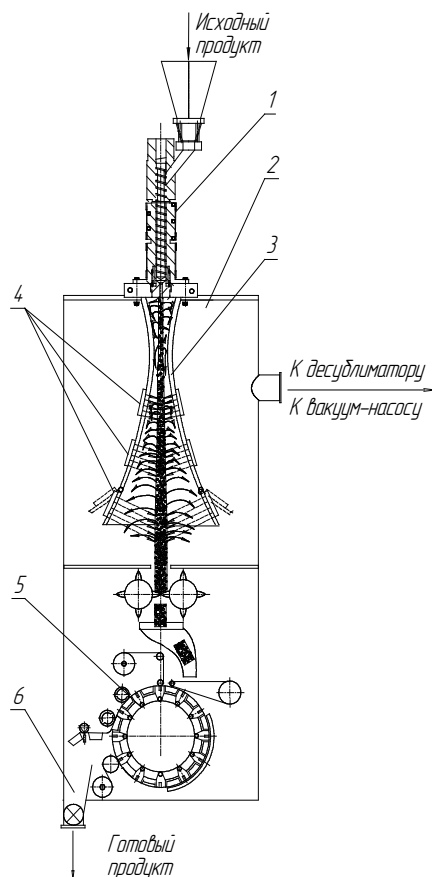


Рисунок 1 - Вакуум-сублимационная сушилка с СВЧ-энергоподводом

зоне подачи продукта, а упаковку высушенного продукта осуществляют непосредственно в сублиматоре вне зоны действия СВЧ энергии с его последующим удалением через шлюзовой затвор. Установка для получения сублимированных пищевых продуктов состоит из устройства подачи продукта в вакуумную камеру сушилки; парового затвора; сублимационной камеры с источниками энергии; выносного десублиматора и шлюзового затвора для выгрузки готового продукта из сушилки. Новизна установки заключается в том, что вокруг выходного отверстия вертикально расположенного устройства подачи продукта в вакуумную камеру в виде экструдера установлен паровой затвор, разделяющий зоны подачи продукта в вакуум и его сушки, канал которого имеет форму сопла Лавалья, снабженный источниками СВЧ энергии (магнетронами) с самой узкой части сопла до его нижней кромки, причем на нижней образующей сопла магнетроны установлены с возможностью изменения угла наклона, а делительно-упаковочное устройство установлено непосредственно после зоны действия магнетронов.

На рисунке 1 представлен общий вид установки для осуществления непрерывного способа получения сублимированных пищевых продуктов с СВЧ-энергоподводом. Установка для получения сублимированных пищевых продуктов состоит из экструдера 1; сублимационной камеры 2 с насадкой в форме сопла Лавалья 3 и источниками СВЧ энергии 4 (магнетронами); делительно-упаковочного устройства 5; шлюзового затвора 6 для выгрузки готового продукта из сушилки и выносного десублиматора (не показан).

Способ получения сублимированных пищевых продуктов заключается в следующем. Исходный продукт подается в загрузочное устройство предварительно включенного экструдера 1, на выходе из которого экструдат поступает в зону с давлением выше тройной точки устройства 3 сублимационной камеры 2, которое создается за счет испарения влаги из продукта. Полученный жгут продукта перемещается в зону с давлением ниже тройной точки устройства 3, где параллельно с испарительным замораживанием экструдата продукт подвергают сублимационной сушке в поле СВЧ энергии с окончательным образованием высокопористой равномерно распределенной пористой структуры за счет интенсивного сублимирования влаги. Разделение на зоны с различным давлением достигается благодаря тому, что создается гидравлическое сопротивление потоку паров и неконденсирующихся газов в кольцевом зазоре между жгутом продукта и соплом Лавалья в его узкой части, и как следствие, повышение давления выше тройной точки в зоне выхода продукта из экструдера 1. Высушенный жгут продукта подается в делительно-упаковочное устройство 5 и выгружается из установки посредством шлюзового затвора 6.

Предлагаемый способ и установка имеют следующие преимущества:

- экструдирование продукта непосредственно в сублимационную камеру в зону с давлением выше тройной точки обеспечивает предотвращение замерзания продукта на выходе из экструдера и образование жгута продукта пористой структуры;

- осуществление сублимации влаги из экструдата в сверхвысокочастотном поле с его одновременным испарительным замораживанием значительно ускоряет процесс сублимационной сушки и позволяет снизить энергозатраты на ее проведение;

- осуществление упаковки высушенного продукта непосредственно в сублимационной

камере исключает возможность его контакта с влажным атмосферным воздухом;

- использование СВЧ энергии для сублимационной сушки продукта с пористой развитой структурой позволяет обеспечить адресное и равномерное получение энергии всеми частями продукта.

На рисунке 2 представлена конструкция установки для вакуум-сублимационной (лиофильной) сушки термолabileльных продуктов,

состоящая из пресса (экструдера) 1; корпуса сублимационной сушилки 2 со съемными дверцами 3, 16 и насадкой в форме сопла Лавала 4; формирующих роликов-укладчиков 5; делителя 7; пластинчатого конвейера 6; основного волновода 10 с запредельными волноводами 9, 17 и магистралью 13 для подключения согласованной нагрузки; валцов 14 и шлюзового затвор 15. Подвод энергии осуществляется посредством магнетронов 11 и диэлектрических линз 12.

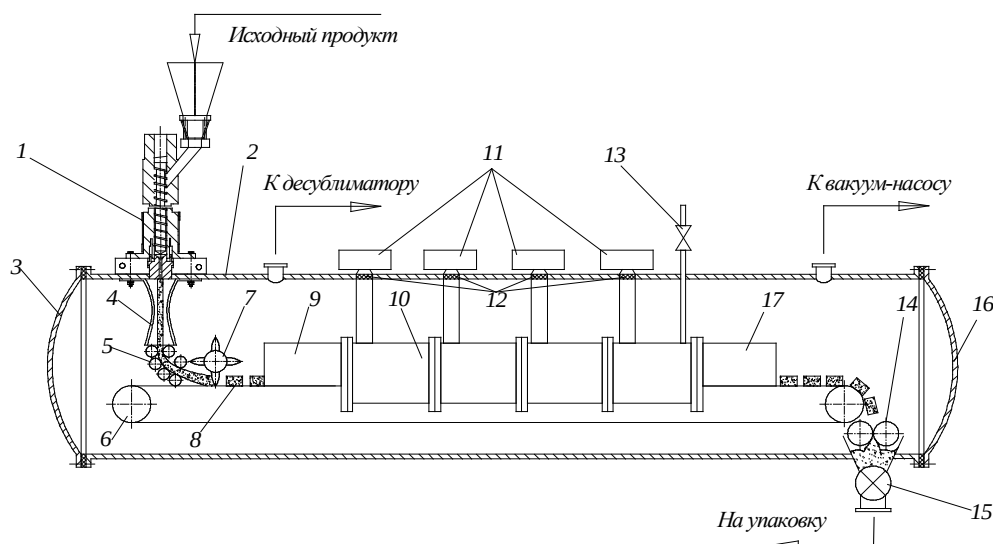


Рисунок 2 – Схема вакуум-сублимационной сушилки с СВЧ-энергоснабжением:

- 1 – пресс; 2 – корпус сушилки; 3, 16 – дверцы; 4 – насадка; 5 – формирующие ролики-укладчики; 6 – конвейер; 7 – делитель; 8 – продукт; 9, 17 – запредельный волновод; 10 – волновод; 11 – магнетроны; 12 – диэлектрические линзы; 13 – трубопровод для подключения согласованной нагрузки; 14 – валцы; 15 – шлюзовый затвор.

Вакуум-сублимационная сушилка работает следующим образом. Исходный продукт подается в загрузочное устройство предварительно включенного пресса (экструдера) 1, на выходе из которого экструдат поступает в зону с давлением выше тройной точки устройства 4 сублимационной камеры 2, которое создается за счет испарения влаги из продукта. Полученный жгут продукта перемещается в зону с давлением ниже тройной точки устройства 4, где происходит его укладка на пластинчатый конвейер 6, выполненный из радиопрозрачного материала (например, фторопласта) посредством роликов-укладчиков 5 и деление его на части определенной равной длины устройством 7 параллельно с испарительным самозамораживанием экструдата с окончательным образованием высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры за счет интенсивного сублимирования влаги. Разделение на зоны с различным давлением достигается благодаря тому, что создается гидравличе-

ское сопротивление потоку паров и неконденсирующихся газов в кольцевом зазоре между жгутом продукта и соплом Лавала 4 в его узкой части, и как следствие, повышение давления выше тройной точки в зоне выхода продукта из пресса (экструдера) 1. Равные по длине и форме самозамороженные куски жгута продукта подаются через запредельный волновод 9 в волновод 10 во избежание утечки электромагнитной энергии в свободное пространство корпуса сушилки 2, где происходит его вакуум-сублимационная сушка в поле токов сверхвысокой частоты. Причем волновод 10 состоит из отдельных перфорированных секций с диаметром отверстий, исключающим утечку энергии, каждая из которых имеет собственный независимый источник СВЧ-энергии (магнетрон) 11. Ввод энергии в секции волновода 10 осуществляется через диэлектрические линзы 12. Для поглощения СВЧ-энергии в отсутствие обрабатываемого продукта или при неполной загрузке конвейера установка имеет

магистраль 13 для подключения специальной поглощающей согласованной нагрузки (на схеме не показана). Поглощение СВЧ-энергии в этой нагрузке осуществляется водой, прокачиваемой через рабочую полость нагрузки. Далее высушенный продукт подается на вальцы 14, где происходит его дробление и посредством шлюзового затвора 15 выгружается из сушилки и поступает на упаковку.

Предлагаемая сушилка непрерывного действия с СВЧ-энергоподводом позволяет:

- проводить процесс сублимации влаги из экструдата в сверхвысокочастотном поле с его одновременным испарительным замораживанием, что значительно ускоряет процесс сублимационной сушки и снижает энергозатраты на ее проведение;

- повысить качество готового продукта за счет избирательного посекционного регулирования мощности магнетронов в зависимости от свойств объекта и периода сушки;

- проводить процесс вакуум-сублимационного обезвоживания в непрерывном режиме.

При сушке предлагаемым способом жидких продуктов не представляется возможным обеспечить получение продукта с заданными свойствами, а именно с развитой однородно-пористой структурой из-за его бурного кипения, разбрызгивания и получения им неопределенной формы и размеров в процессе испарительного самозамораживания. Данный недостаток ведет к увеличению энергозатрат на проведение процесса и снижению качества готового продукта из-за неоднородного (селективного) воздействия СВЧ-энергии, что может приводить к перегреву одних слоев и недосушиванию других. С целью устранения перечисленных недостатков предлагается способ ввода жидких продуктов с низким содержанием сухих веществ в сублимационную камеру лиофильной сушилки (рисунок 3).

Ввод продукта осуществляется следующим образом: предварительно приводится во вращение нагнетающий шнек центрального канала и его корпус, но вращаются они в противоположные стороны.

Исходный продукт с высоким содержанием сухих веществ (например 50-70 %) подается в периферийный коаксиальный канал 5, в котором под действием усилия витков шнека 4 корпуса 3 он перемещается к входу в вакуумную камеру сублимационной сушилки.

При поступлении по коаксиальному периферийному каналу 5 продукта с высоким содержанием сухих веществ (например 50-70 %) в

вакуумную камеру сушилки из него начинает интенсивно испаряться влага, пары которой позволяют создать паровой затвор в узкой части сопла Лавали и образовать зону с остаточным давлением около тройной точки, но не ниже ее (например 611-620 Па), обеспечивающую исключение блокировки самозамороженным продуктом каналов 1 и 5 экструдера. В связи с высоким содержанием сухих веществ, т.е. малым количеством влаги в этом продукте, происходит под действием разряжения быстрое его обезвоживание, уплотнение и образование трубчатого подсыхшего каркаса (рисунок 3).

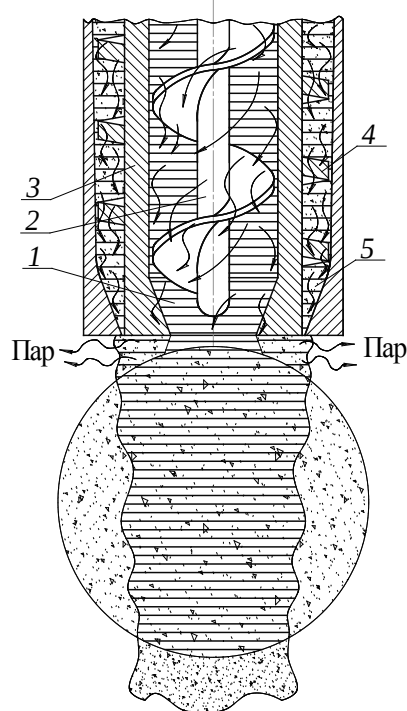


Рисунок 3 - Экструдер и схема формирования структуры продукта:

1 – центральный канал; 2 – шнек; 3 – корпус экструдера; 4- витки шнека; 5 – периферийный коаксиальный канал

При достижении трубчатого подсыхшего каркаса узкой части сопла Лавали и входа в зону самозамораживания с остаточным давлением ниже тройной точки (например, 100-609 Па) во внутреннюю его полость посредством нагнетающего шнека 2 по центральному каналу 1 подается продукт с низким содержанием сухих веществ (например, 3-10 %). Во внутренней полости трубчатого каркаса продукт с низким содержанием сухих веществ вскипает и образует пенную структуру, которая в зоне с остаточным давлением ниже тройной точки самозамораживается с получением высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры.

Сформированный жгут продукта перемещается в зону действия поля сверхвысокочастотной энергии, где одновременно с испарительным замораживанием продукт подвергают сублимационной сушке при рабочем остаточном давлении (например, 50-100 Па) с окончательным образованием высокоразвитой равномерно распределенной пористой структуры за счет интенсивного сублимирования влаги.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы" по Государственному контракту № 14.512.11.0078 от 20.06.2013 года. Статья подготовлена по результатам работ, выполненных на оборудовании ЦКП "КУЭП".

ЛИТЕРАТУРА

1 Гуйго, Э.И. Сублимационная сушка в пищевой промышленности [Текст] / Э.И. Гуйго, Н.К. Журавская, Э.И. Каухчешвили. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 434 с.

2 Лебедев, Д.П. Тепло- и массообмен в процессах сублимации в вакууме [Текст] / Д.П. Лебедев, Т.Л. Перельман. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.

3 Некрутман, С.В. Диэлектрические свойства пищевых продуктов на частоте 2375 МГц [Текст] / С.В. Некрутман // Электронная обработка материалов. – 1973. - №4. - С. 82-84.

4 Николаенко, С.В. Повышение эффективности сублимационной сушки ферментных препаратов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1990.

REFERENCES

1 Guygo, E.I. Freeze drying in the food industry [Text] / E.I. Guygo, N.K. Zhuravskaya, E.I. Kauhcheshvili. – M.: Pishhevaya promyshlennost, 1972. - 434 p.

2 Lebedev, D.P. Heat and mass transfer in the process of sublimation in vacuum [Text] / D.P. Lebedev, T.L. Perelman. – M.: Energiya, 1973. - 336 p.

3 Nekrutman, S.V. Dielectric properties of food at a frequency of 2375 MHz [Text] / S.V. Nekrutman // Electronic processing of materials. - 1973. - № 4. - P. 82-84.

4 Nikolaenko, S.V. Improving the efficiency of freeze-dried enzyme preparations [Text]: abst. dis. ... PhD. - Voronezh, 1990.