

А.З.Сапаков<sup>1</sup>, С.З.Сапакова<sup>2</sup>, С.Т.Демесова<sup>\*1</sup>, Е.С.Ержигитов<sup>1</sup>, Н.И.Молдыбаева<sup>1</sup>,  
М.А.Жусупалиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, [Sapakov\\_A@mail.ru](mailto:Sapakov_A@mail.ru), [saule.demesova@mail.ru](mailto:saule.demesova@mail.ru)\*, [taldybaeva\\_aigul@mail.ru](mailto:taldybaeva_aigul@mail.ru)  
[ergigitov.erken@mail.ru](mailto:ergigitov.erken@mail.ru), [moldybayeva78@mail.ru](mailto:moldybayeva78@mail.ru), [mkurmanaeva@inbox.ru](mailto:mkurmanaeva@inbox.ru)*

<sup>2</sup> *Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, [sapakovasz@gmail.com](mailto:sapakovasz@gmail.com)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ ЯГОД

### *Аннотация*

В данной статье представлены результаты исследования процессов сублимационной сушки ягод с использованием мобильных вакуумных сублимационных установок, разработанных для повышения эффективности обработки сельскохозяйственной продукции в условиях Казахстана. Новизна исследования заключается в предложении компактных и энергосберегающих установок, которые легко транспортируются и могут быть использованы в удалённых сельскохозяйственных регионах. Это позволяет фермерам сохранять продукцию без потери качества, что особенно актуально для регионов с ограниченной инфраструктурой. В работе проведены экспериментальные исследования, направленные на оптимизацию режимов сушки, включая контроль температуры на поверхности и в центре продукта, а также давления в камере. Установлено, что при давлении  $20 \pm 5$  Па температура десублиматора должна быть ниже  $-20^\circ\text{C}$ , а температура на поверхности продукта на этапе сублимации — в пределах  $-25 \pm 5^\circ\text{C}$ . Результаты показывают, что предложенная технология позволяет сократить время сушки до 7-8 часов при сохранении высокого качества конечного продукта, включая его питательные свойства, цвет и вкус. Новизна работы также заключается в разработке системы автоматического управления процессом сушки, что повышает точность контроля параметров и снижает энергозатраты. Данные исследования представляют значительный интерес для агропромышленного комплекса, особенно для малых фермерских хозяйств, стремящихся к повышению эффективности производства и сохранению качества продукции.

**Ключевые слова:** сублимация, вакуумная сушка, оптимизация, давление, температура, десублиматор, энергоэффективность.

### **Введение**

Анализ текущей ситуации АПК, проблемы отрасли, обзор международного опыта, тенденции и видение развития отрасли, определяет, что этот способ сушки является наиболее эффективным. Длительное хранение в условиях нерегулируемых температур обеспечивается за счет того, что после прохождения всего цикла сублимации конечная влажность высушенных материалов составляет порядком 2-5% от первоначальной [9, 12]. Высушенные материалы могут храниться в течение длительного времени без потери своих полезных свойств, сохраняют форму, цвет, вкус и питательные вещества. Сублимационная сушка может проводиться в вакуумной или атмосферной среде. Однако при пониженных температурах и при атмосферном давлении протекает очень медленно. По этой причине для повышения эффективности сушки применяют сушку в вакууме. На основе повышения коэффициента массообмена за счет снижения давления резко увеличивается испарение, которое обратно пропорционально давлению [3, 9, 14].

Вакуумная сушка происходит в герметично закрытой камере, то поступление тепла через конвекцию будет низким. Поэтому, чтобы повысить интенсивность процесса сушки в вакууме достаточно повышения температуры для испарения влаги за счет передачи тепла высушиваемому продукту через нагретую поверхность. Весь процесс сублимационной сушки

состоит из трех основных этапов: замораживание, сублимирование и досушивание [3, 8, 11, 14]. На первом этапе температуру продукта снижают до точки замерзания, после чего внутри продукта приводит к образованию мелких кристаллов льда. В результате сублимации кристаллы льда испаряются, образуя парообразное состояние. Влияние данного этапа на качество продукции высокое. Чем быстрее и глубже замораживается продукт, то в нем образуются менее мелкие кристаллы льда меньше повреждающие ткани, которые потом быстро испаряются, в результате качество продукта сохраняется лучше. Дальнейшее последний период процесса – досушивание продукта осуществляется в условиях плюсовой [1, 2, 12, 3–5, 7–11].

Ягоды по своей природе представляют собой капиллярно-пористыми телами, при удалении влаги они становятся хрупкими, мало изменяет свои размеры и объем, могут быть превращены в порошок. По свойствам этим материалам характерны капиллярно-пористых и коллоидных. При сушке удаление влаги из материала зависит от количественного содержание влаги и типа соединения влаги с материалом. При этом необходимо выполнить работу, для удаления 1 моля воды при постоянной температуре при неизменном составе веществ той же влажности. Энергия связи равна нулю, если материал содержит свободную энергию. По мере того, как влага уменьшается из-за сублимации, прочность влаги с материалом наоборот увеличивается и энергия связи возрастает. Если влажность материала низкая, то величина энергии связи, наоборот, выше. Физические свойства претерпевают физические изменения при термической обработке влажных материалов или при наличии теплового действия. Эти изменения основаны на молекулярном характере, который заключается в том, что вещество тела впитывает жидкость [3, 9, 10]. Перенос поглощенной жидкости и пара внутри коллоидного капиллярно-пористого тела зависит от характера молекулярного связи жидкости с веществом скелета тела.

По все виды связи делятся на три большие группы: химическая связь, физико-химическая связь, физико-механическая связь. В пищевых продуктах присутствуют все вышеперечисленные формы связи влаги, но на разных этапах сушки продукта важную роль играет вид связи. Механически связанная вода наиболее слабая, удерживается заполнением макро-и микрокапилляров. Эту связь можно рассматривать как свободную влагу, удаляемую в виде кристаллов льда при сублимационной сушке является более прочной, она прочно удерживается на поверхности и в порах продукта [4, 10]. Эта связанная влага включает адсорбционную и осмотическую, удаление этой влаги при сушке связано с дополнительными расходом энергии на теплоту. Химически связанная вода имеет очень прочную связь и при высушивании не удаляется [2, 10, 12, 14]. При этом надо учитывать, что растительное сырье, как объект сушки, характеризуются большим содержанием воды и сравнительно малым содержанием сухих веществ. Большая часть воды в плодах и овощах находится в свободном состоянии, только 5% влаги прочно связаны с клеточными коллоидами состоит в основном из углеводов, белков, липидов. В небольшом количестве присутствуют биологически активные вещества, которые отражают вкус и биологическую ценность сырья, к ним относятся: полифенолы, витамины, органические кислоты, минералы [2, 3, 5, 6, 9, 12]. Ниже в таблице 1 приведен список питательных веществ ягод, использованных в исследованиях.

**Таблица 1.** Содержание питательных веществ в ягодах

Питательные вещества, г/100 г	Клубника	Ежевика	Малина	Облепиха
Калорийность, ккал	41	34	46	82
Белки,	0,8	1,5	0,8	1,2
Жиры	0,4	0,5	0,5	5,4
Углеводы	7,5	4,4	8,3	5,7
Вода	87,4	88	84,7	83

Преимущества сублимационной сушки по сравнению с другими способами сушки можно представить следующим образом: 1. Сравнение качества конечного продукта.

Сублимационная сушка позволяет сохранить текстуру, цвет и биологически активные вещества, в то время как горячая воздушная сушка и распылительная сушка могут привести к деградации витаминов и изменению цвета из-за высокой температуры; 2. Энергоэффективность при долгосрочном хранении. Несмотря на более высокие энергозатраты на этапе сушки, конечный продукт, высушенная сублимация, не требует специальных условий хранения (например, охлаждения), что снижает затраты в большей перспективе. 3. Минимальное влияние на структуру продукта. В отличие от вакуумной или горячей воздушной сушки, сублимация требует усадки или разрушения клеточных структур, что важно для хрупких продуктов, таких как ягоды; 3. Гигиенические и экологические аспекты. Сублимационная сушка контактирует с продуктами с переменными температурами или загрязняющими веществами, что делает их незаменимыми для пищевых продуктов и фармацевтической промышленности.

#### ***Материалы и методы***

В данной работе использовалась лиофильная сушилка «Аламан-1», изготовленной на кафедре «Энергосбережение и автоматика» Казахского национального аграрного исследовательского университета. Внешний вид этой установки приведен на рисунке 1. Модернизированная версия отличается улучшенными параметрами сушильных камер и наличием в них нагревателей.

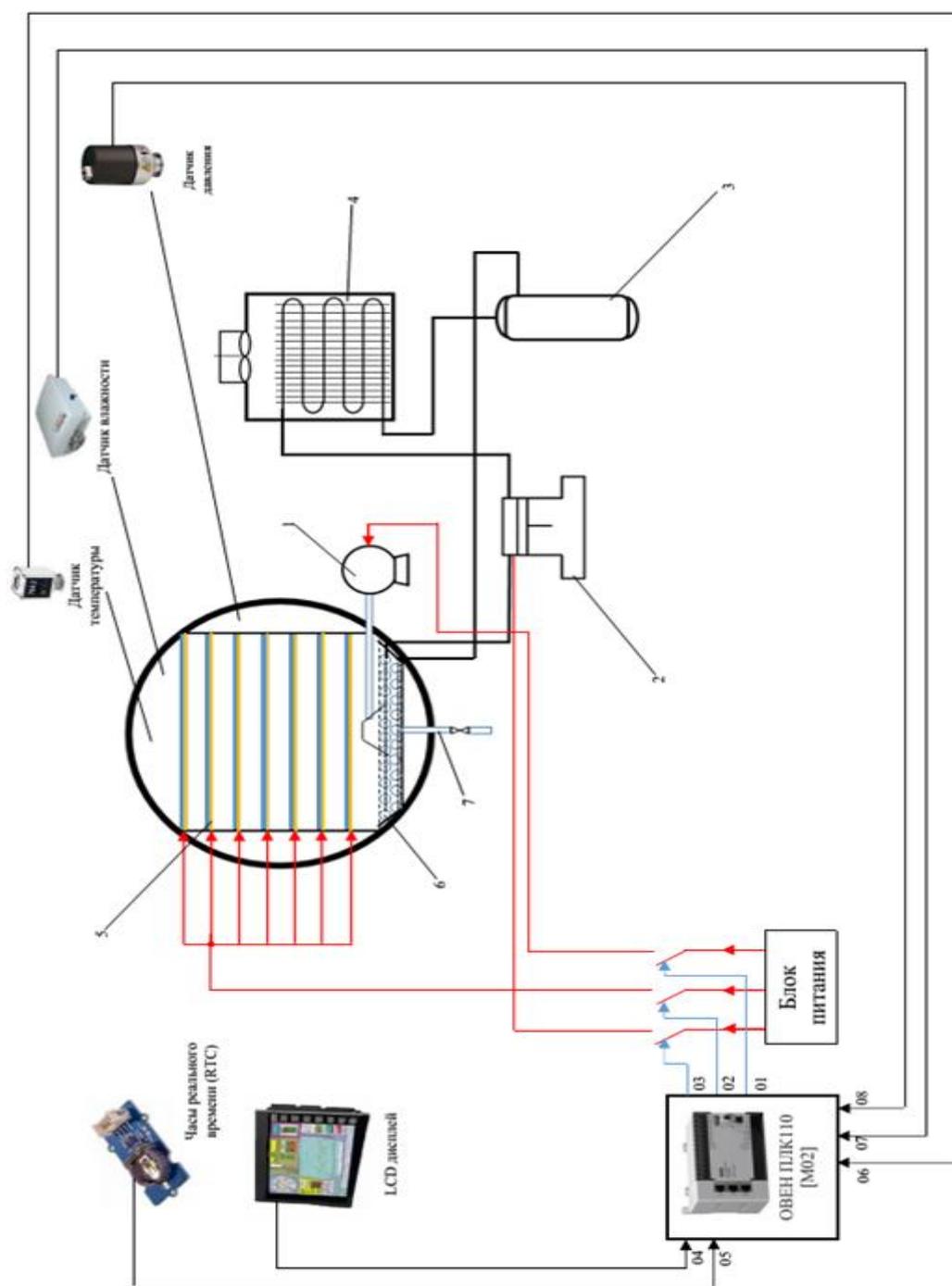


**Рисунок 1** - Внешний вид установки «Аламан-1», которая состоит из герметичного цилиндра, котором размещен сублиматор и десублиматор.

Сублиматор работает следующим образом. При комнатной температуре продукт помещают в сушильную камеру и замораживают непосредственно в сублиматоре. При этом, скорость замораживания продукта будет зависеть от того, что кристаллы образующегося льда не должны быть крупными, иначе они разрушат свою структуру, а также не должны быть мелкими, так как в этом случае процесс сублимации будет удлиняться. При замораживании продукта при температуре воздуха  $-30...-35^{\circ}\text{C}$  или  $-50...-55^{\circ}\text{C}$  в зависимости от вида продуктов образуется приемлемая кристаллическая структура льда. Для получения качественного продукта его замораживают до температуры, которая обеспечивает количество вымороженной влаги 75-80% от влаги, содержащейся в продукте. После включения вакуумного насоса давление в камере снижается на 10-30 Па. Далее начинается процесс сублимации. В результате сублимации образующийся пар поступает в десублиматор, где намораживается на трубы, охлаждаемые специальным агентом. Отработавший воздух удаляется из камеры через пылеуловительное устройство и выбрасывается в атмосферу. На завершающем этапе процесса сублимационной сушки нагревательные элементы включаются

и удаляют оставшуюся влагу. После полного цикла сушки на испарителе оттаивается лед с помощью горячего воздуха, оттаянная вода удаляется через сливное отверстие.

В системе охлаждения этого сублиматора используется фреон 404а. Схема реализации системы автоматического управления вакуумной сублимационной сушильной установкой приведена на рисунке 2. Для измерения, регистрации и регулирования температуры, давления использовался универсальный восьмиканальный измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ138. Продукт в камере вынимали каждые тридцать минут, измеряли массу с точностью 0,1 мг с помощью аналитических весов ВСЛ-200/0, 1 А.

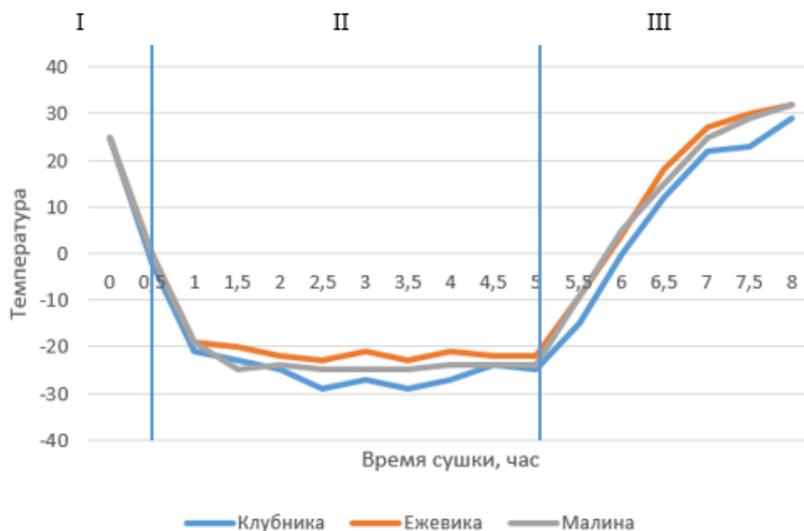


**Рисунок 2** - Схема реализации системы автоматического управления вакуумной сублимационной сушильной установкой: 1 – вакуумный насос; 2 – компрессор; 3 – ресивер; 4 – конденсатор; 5 – нагревательные элементы; 6 – десублиматор; 7 – дренажный кран.

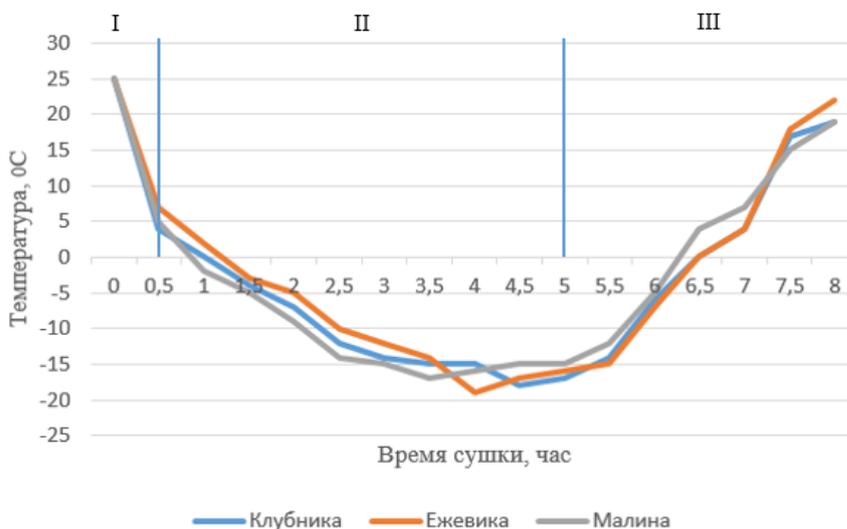
Проведение эксперимента выполнено на следующих ягодах: клубника, ежевика, малина. Во время эксперимента измерялись показания температуры на поверхности и внутри ягод, камеры и масса продукта. Определением работы оборудования в рациональном режиме стали продолжительность сушки, энергозатраты и физико-химические качественные показатели сухих ягод.

**Результаты и их обсуждение**

На основании полученных результатов были построены графики. На рисунках 3 и 4 представлены графики зависимости температуры продукта на поверхности и в центре от времени сушки.



**Рисунок 3** - График зависимости температура продукта на поверхности от времени сушки.

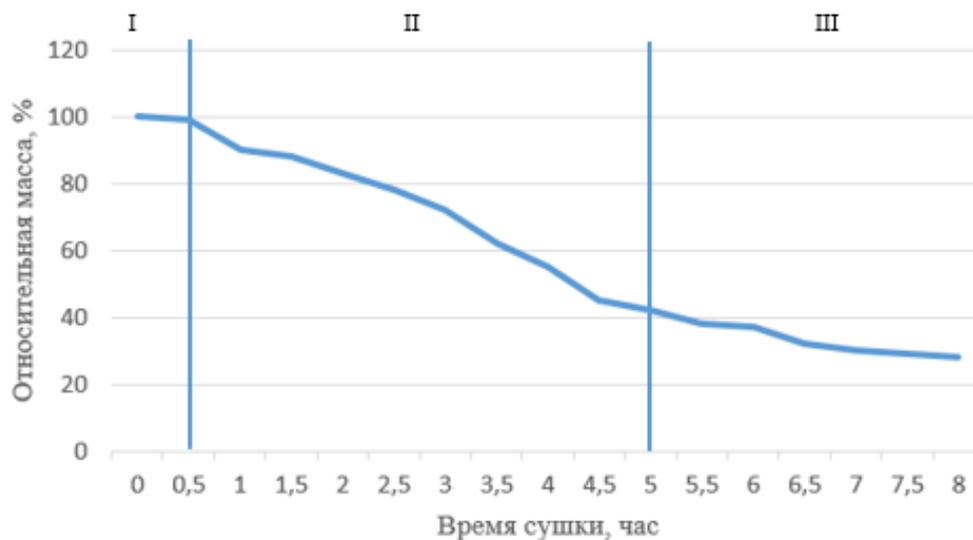


**Рисунок 4** - Зависимость температуры продукта в центре от времени сушки

Весь процесс вакуумной сушки состоящий из трех этапов приведены на графиках. Первый этап – это замораживание продукта при температуре ниже его точки затвердевания, характеризуется понижением температуры продукта, что можно увидет на 1-м графике. На втором этапе температура продукта продолжала падать из-за удаления жидкости в фазе льда при низком давлении. Температура на поверхности продукта через 2 часа устанвилась в пределах -25°C...-29°C, а температура в середине продукта продожало снижаться, через 5 часов достигло предельного значения, что можно увидеть на втором графике. Таким образом удалось сублимировать ягоды за 4-5 часов. Затем на третем этапе происходит досушивание

контактным нагревом, полка с продуктами установлена непосредственно на нагревающейся пластине и нагревается с помощью распределения тепла. На графиках этот процесс характеризуется повышением температуры продукта от температуры сублимации до температуры досушки.

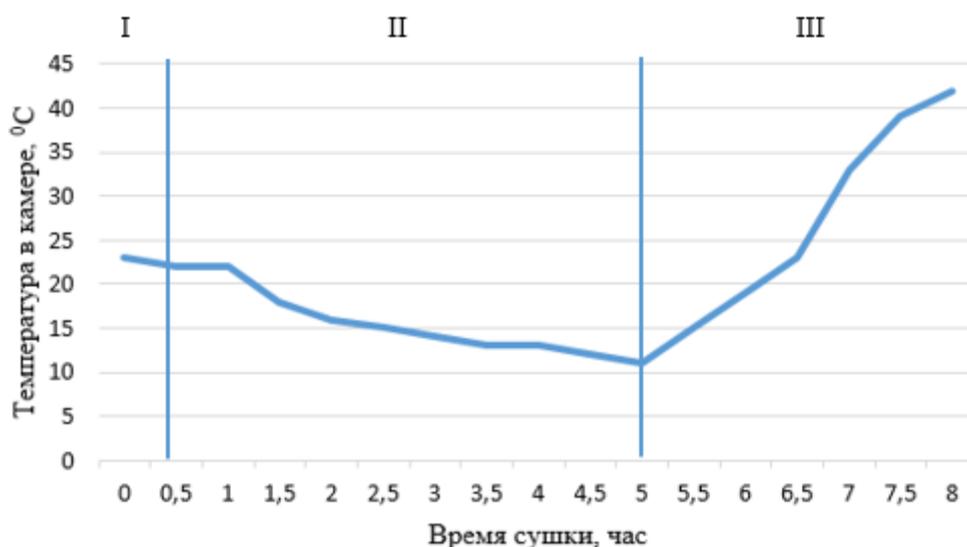
По снятым данным построен график зависимости относительной массы клубники от времени сушки приведен на рисунке 5. Как видно из графика, что на этапе шоковой заморозки масса клубники не изменилась.



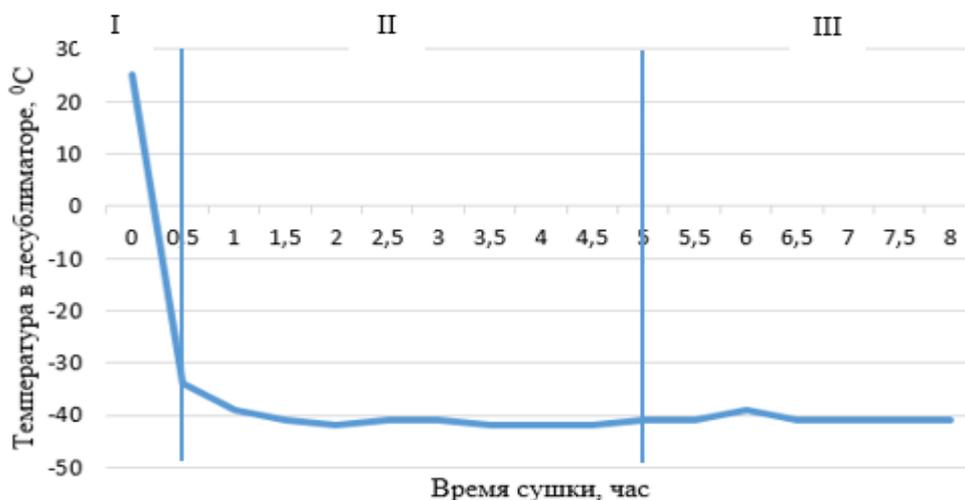
**Рисунок 5** - Зависимость массы клубники от времени сушки

На втором этапе сушки большая часть влаги в продукте была удалена, что составляет 58% от общей массы продукта. В процессе досушивания оставшаяся часть наиболее прочно связанной влаги испарилась. После 6,5 часов относительная масса клубники от времени не изменяется, это связано с тем что почти вся влага из продукта была удалена. Исходя из графика можно сделать вывод, что рациональное время при данном методе сушки составляет 7-8 часов. Когда полный цикл сушки закончился, конечная масса клубники составила 30 % от исходного, смородины и жимолости соответственно 28 и 27 %.

На рисунках 6 и 7 приведены графики зависимости температуры в камере и в испарителе. Окончательная масса клубники после полной сушки составила 28%, смородины - 27,4% и жимолости - 30,2%.



**Рисунок 6** - Зависимость температуры в камере от времени сушки



**Рисунок 7** - Зависимость температуры десублиматора от времени сушки

Как видно из графика, на первом этапе температура не изменяется, а на полном цикле сушки температура не опускается ниже  $10^{\circ}\text{C}$ . Объясняется это снижением теплопроводности и конвекции в условиях вакуума. Температура десублиматора при этом понижается  $-36^{\circ}\text{C}$ , тогда полученный водяной пар оседает, превращаясь в лед на внешней стороне десублиматора, тем самым в камере снизится давление. На втором этапе сушки, зависимость температуры десублиматора от времени приобретает стационарный характер и температура в десублиматоре изменяется на уровне  $-40...-42^{\circ}\text{C}$ . В камере температура снижается до  $11^{\circ}\text{C}$  за счет перехода фазы воды, содержащейся в продукте, из состояния льда в состояние пара.

Кривая на первом графике показывает, что после включения систему обогрева под вакуумом резко уходит вверх. На втором графике температура десублиматоре резко возрастает, тогда за счет автоматического поддержания системой управления десублиматор начинает поступать большего объема хладагента и температура выравнивается. Результатом выполненной работы явилось определение рациональных параметров процесса сушки ягод данным методом. Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что При давлении  $20 \pm 5$  Па температура десублиматора должна быть ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ , на практике стараются придерживаться разницы температур в  $10^{\circ}\text{C}$ , общее время сушки составило около 8 часов. Температура на поверхности продукта на этапе сублимации должна быть в пределах  $-25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Сушку завершают при достижении температуры в камере не более  $40^{\circ}\text{C}$ , а температуры поверхности продукта около  $30^{\circ}\text{C}$ . Оптимальный режим сублимационный сушки должен обеспечивать более полное вымораживание влаги в процессе предварительного замораживания ягод, равномерный выход паров из материала за счет более мягкого температурного режима в полках на стадии сублимации, равномерное досушивание материала на всех полках. Время, необходимое для сублимационной сушки зависит от температуры и заданной толщины слоя замороженного материала, разрежения в камере и свойств высушиваемого материала.

### **Выводы**

В ходе исследования была разработана и экспериментально подтверждена оптимальная схема управления параметрами сублимационной сушки ягод, обеспечивающая сокращение времени процесса без ухудшения качества конечного продукта. Новизна работы заключается в выявлении оптимальных значений давления ( $20 \pm 5$  Па) и температуры десублиматора ( $-20^{\circ}\text{C}$ ), которые позволяют интенсифицировать процесс испарения влаги и снизить общее время сушки до 7-8 часов. Регулирование температурного режима на различных этапах сублимации позволило минимизировать тепловую деградацию продукта, сохраняя его цвет, вкус и биологически активные вещества. Экспериментально подтверждено, что температура

поверхности ягод в процессе сублимации должна поддерживаться в диапазоне  $-25\pm 5^{\circ}\text{C}$ , а на завершающем этапе досушивания – около  $30^{\circ}\text{C}$ . Впервые показано, что равномерное распределение температуры в сушильной камере и контроль параметров вакуума позволяют избежать перегрева отдельных слоев продукта, что особенно важно для капиллярно-пористых материалов, таких как ягоды. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования технологий сублимационной сушки, разработки энергоэффективных сушильных установок и повышения качества конечной продукции в агропромышленном секторе.

### Список литературы

1. Сапаков А., Сапакова С., Талдыбаева А., Молдыбаева Н., Жусупалиева М., Демесова С., Ержигитов Е. Влияние технологических параметров на режимы вакуумной сублимационной сушки продукта. Исследования, результаты. № 4 (104) (2024)
2. Atak A. [и др.]. Comparison of Important Quality Characteristics of Some Fungal Disease Resistance/Tolerance Grapes Dried with Energy-Saving Heat Pump Dryer // *Agronomy*. 2022. № 4 (12). С. 1–20.
3. Bulgaru V. [и др.]. Phytochemical, Antimicrobial, and Antioxidant Activity of Different Extracts from Frozen, Freeze-Dried, and Oven-Dried Jostaberries Grown in Moldova // *Antioxidants*. 2024. № 8 (13).
4. Chua L. S., Abd Wahab N. S. Drying Kinetic of Jaboticaba Berries and Natural Fermentation for Anthocyanin-Rich Fruit Vinegar // *Foods*. 2023. № 1 (12). С. 1–16.
5. Cong Y. [и др.]. Optimization and Testing of the Technological Parameters for the Microwave Vacuum Drying of Mulberry Harvests // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024. № 10 (14).
6. Čulina P. [и др.]. Optimization of the Spray-Drying Encapsulation of Sea Buckthorn Berry Oil // *Foods*. 2023. № 13 (12). С. 1–20.
7. Dalmau E., Araya-Farias M., Ratti C. Cryogenic Pretreatment Enhances Drying Rates in Whole Berries // *Foods*. 2024. № 10 (13).
8. Emteborg H., Charoud-got J., Seghers J. Infrared Thermography for Monitoring of Freeze Drying Processes—Part 2: Monitoring of Temperature on the Surface and Vertically in Cuvettes during Freeze Drying of a Pharmaceutical Formulation // *Pharmaceutics*. 2022. № 5 (14).
9. Hoskin R. T. [и др.]. Development of Spray Dried Spirulina Protein-Berry Pomace Polyphenol Particles to Attenuate Pollution-Induced Skin Damage: A Convergent Food-Beauty Approach // *Antioxidants*. 2023. № 7 (12).
10. Ispiryan A., Kraujutiene I., Viskelis J. Retaining Resveratrol Content in Berries and Berry Products with Agricultural and Processing Techniques: Review // *Processes*. 2024. № 6 (12). С. 1–17.
11. Kamanova S. [и др.]. Effects of Freeze-Drying on Sensory Characteristics and Nutrient Composition in Black Currant and Sea Buckthorn Berries // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023. № 23 (13).
12. Tan S. [и др.]. Hot Air Drying of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Berries: Effects of Different Pretreatment Methods on Drying Characteristics and Quality Attributes // *Foods*. 2022. № 22 (11).
13. Turan B. [и др.]. Effect of Different Drying Techniques on Total Bioactive Compounds and Individual Phenolic Composition in Goji Berries // *Processes*. 2023. № 3 (11).
14. Xu Y. [и др.]. Characteristics and Quality Analysis of Radio Frequency-Hot Air Combined Segmented Drying of Wolfberry (*Lycium barbarum*) // *Foods*. 2022. № 11 (11).
15. Yu M. [и др.]. Evaluation of Blue Honeysuckle Berries (*Lonicera caerulea* L.) Dried at Different Temperatures: Basic Quality, Sensory Attributes, Bioactive Compounds, and In Vitro Antioxidant Activity // *Foods*. 2024. № 8 (13).

## References

1. Sapakov A., Sapakova S., Taldybaeva A., Moldybaeva N., Zhusupalieva M., Demesova S., Erzhigitov E. Vliyanie tekhnologicheskikh parametrov na rezhimy vakuumnoj sublimatsionnoj sushki produkta. Issledovaniya, rezul'taty. № 4 (104) (2024)
2. Atak A. [и др.]. Comparison of Important Quality Characteristics of Some Fungal Disease Resistance/Tolerance Grapes Dried with Energy-Saving Heat Pump Dryer // *Agronomy*. 2022. № 4 (12). С. 1–20.
3. Bulgaru V. [и др.]. Phytochemical, Antimicrobial, and Antioxidant Activity of Different Extracts from Frozen, Freeze-Dried, and Oven-Dried Jostaberries Grown in Moldova // *Antioxidants*. 2024. № 8 (13).
4. Chua L. S., Abd Wahab N. S. Drying Kinetic of Jaboticaba Berries and Natural Fermentation for Anthocyanin-Rich Fruit Vinegar // *Foods*. 2023. № 1 (12). С. 1–16.
5. Cong Y. [и др.]. Optimization and Testing of the Technological Parameters for the Microwave Vacuum Drying of Mulberry Harvests // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2024. № 10 (14).
6. Čulina P. [и др.]. Optimization of the Spray-Drying Encapsulation of Sea Buckthorn Berry Oil // *Foods*. 2023. № 13 (12). С. 1–20.
7. Dalmau E., Araya-Farias M., Ratti C. Cryogenic Pretreatment Enhances Drying Rates in Whole Berries // *Foods*. 2024. № 10 (13).
8. Emteborg H., Charoud-got J., Seghers J. Infrared Thermography for Monitoring of Freeze Drying Processes—Part 2: Monitoring of Temperature on the Surface and Vertically in Cuvettes during Freeze Drying of a Pharmaceutical Formulation // *Pharmaceutics*. 2022. № 5 (14).
9. Hoskin R. T. [и др.]. Development of Spray Dried Spirulina Protein-Berry Pomace Polyphenol Particles to Attenuate Pollution-Induced Skin Damage: A Convergent Food-Beauty Approach // *Antioxidants*. 2023. № 7 (12).
10. Ispiryan A., Kraujutiene I., Viskelis J. Retaining Resveratrol Content in Berries and Berry Products with Agricultural and Processing Techniques: Review // *Processes*. 2024. № 6 (12). С. 1–17.
11. Kamanova S. [и др.]. Effects of Freeze-Drying on Sensory Characteristics and Nutrient Composition in Black Currant and Sea Buckthorn Berries // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023. № 23 (13).
12. Tan S. [и др.]. Hot Air Drying of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) Berries: Effects of Different Pretreatment Methods on Drying Characteristics and Quality Attributes // *Foods*. 2022. № 22 (11).
13. Turan B. [и др.]. Effect of Different Drying Techniques on Total Bioactive Compounds and Individual Phenolic Composition in Goji Berries // *Processes*. 2023. № 3 (11).
14. Xu Y. [и др.]. Characteristics and Quality Analysis of Radio Frequency-Hot Air Combined Segmented Drying of Wolfberry (*Lycium barbarum*) // *Foods*. 2022. № 11 (11).
15. Yu M. [и др.]. Evaluation of Blue Honeysuckle Berries (*Lonicera caerulea* L.) Dried at Different Temperatures: Basic Quality, Sensory Attributes, Bioactive Compounds, and In Vitro Antioxidant Activity // *Foods*. 2024. № 8 (13).

***А.З.Сапаков<sup>1</sup>, С.З.Сапакова<sup>2</sup>, С.Т.Демесова\*<sup>1</sup>,  
Е.С.Ержигитов<sup>1</sup>, Н.И.Молдыбаева<sup>1</sup>, М.А.Жусупалиева<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, Sapakov\_A@mail.ru, saule.demesova@mail.ru\*, taldybaeva\_aigul@mail.ru, ergigitov.erken@mail.ru, moldybayeva78@mail.ru, mkurmanaeva@inbox.ru*

*<sup>2</sup>Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, sapakovasz@gmail.com*

## ЖИДЕКТЕРДІ СУБЛИМАЦИЯЛЫҚ КЕПТІРУ ҮДЕРІСІН ЗЕРТТЕУ

### *Аңдатпа*

Бұл мақалада Қазақстан жағдайында ауыл шаруашылық өнімдерін өңдеу тиімділігін арттыру үшін әзірленген мобильді вакуумдық сублимациялық кептіру қондырғыларын пайдалана отырып, жидектерді сублимациялық кептіру процестерінің нәтижелері көрсетілген. Зерттеудің жаңалығы инфрақұрылымы шектеулі аймақтар үшін өте маңызды болып табылатын, ауыл шаруашылық өнімдерін сапасын жоғалтпай сақтауға мүмкіндік беретін ыңғайлы және энергия үнемдейтін қондырғыларды ұсыну болып табылады. Жұмыста өнімнің бетіндегі және ортасындағы температураны, сондай-ақ камерадағы қысымды бақылау арқылы кептіру режимдерін оңтайландыруға бағытталған тәжірибелік зерттеулер жүргізілді.  $20 \pm 5$  Па қысымда десублиматордың температурасы  $-20^\circ\text{C}$ -тан төмен болуы керек, ал сублимация кезеңінде өнімнің беткі температурасы  $-25 \pm 5^\circ\text{C}$  шегінде болуы керек екені анықталды. Нәтижелер көрсеткендей, ұсынылған технология қорытынды өнімнің сапасын, оның қоректік қасиеттерін, түсін және дәмін сақтай отырып, кептіру уақытын 7-8 сағатқа дейін қысқартуға мүмкіндік береді. Жұмыстың жаңалығы сонымен қатар кептіру процесін автоматты басқару жүйесін әзірлеу болып табылады, бұл параметрлерді бақылау дәлдігін арттырады және энергия шығындарын азайтады. Бұл зерттеулер ауыл шаруашылық кешені үшін, әсіресе өндірістің тиімділігін арттыруға және өнім сапасын сақтауға ұмтылатын шағын фермерлік шаруашылықтар үшін айтарлықтай қызығушылық тудырады.

**Кілт сөздер:** Сублимация, вакуумдық кептіру, оңтайландыру, қысым, температура, десублиматор, энергия тиімділігі.

*A.Z.Sapakov<sup>1</sup>, S.Z.Sapakova<sup>2</sup>, S.T. Demessova<sup>\*1</sup>,  
Ergigitov E.S.<sup>1</sup>, N.I.Moldybayeva<sup>1</sup>, M.A.Zhussupaliyeva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan, Sapakov\_A@mail.ru,  
saule.demesova@mail.ru\*, taldybaeva\_aigul@mail.ru, ergigitov.erken@mail.ru,  
moldybayeva78@mail.ru, mkurmanaeva@inbox.ru*

<sup>2</sup> *International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan,  
sapakovas@gmail.com*

## RESEARCH OF THE PROCESSES OF FREEZE DRYING BERRIES

### *Abstract*

This article presents the results of research on the freeze-drying processes of berries using mobile vacuum freeze-drying units developed to enhance the efficiency of agricultural product processing in Kazakhstan. The novelty of the study lies in the proposal of compact and energy-efficient units that are easily transportable and can be utilized in remote agricultural regions. This allows farmers to preserve their produce without loss of quality, which is particularly relevant for areas with limited infrastructure. The work includes experimental studies aimed at optimizing drying parameters, such as controlling the temperature on the surface and at the center of the product, as well as the pressure in the chamber. It has been established that at a pressure of  $20 \pm 5$  Pa, the temperature of the desublimator should be below  $-20^\circ\text{C}$ , while the surface temperature of the product during the sublimation stage should be within  $-25 \pm 5^\circ\text{C}$ . The results demonstrate that the proposed technology reduces drying time to 7-8 hours while maintaining the high quality of the final product, including its nutritional properties, color, and taste. The novelty of the work also lies in the development of an automatic control system for the drying process, which increases the accuracy of parameter control and reduces energy consumption. These findings are of significant interest to the agro-industrial sector, particularly for small farms aiming to improve production efficiency and preserve product quality.

**Key words:** Sublimation, vacuum drying, optimization, pressure, temperature, desublimator, energy efficiency.