

УДК 66.047.3.049.6

## Отечественное экспериментальное оборудование для исследования процессов вакуумного обезвоживания

*Д-р техн. наук Семенов Г.В.* sgv47@yandex.ru  
*канд. техн. наук Булкин М.С.* mabul25@mail.ru  
*Московский государственный университет пищевых производств*  
*125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11*  
**Черский В.В.** vth@mail.ru  
*ООО "Проинтех"*  
*142290, Московская область, г.Пушино, ул.Строителей, 5*

*Удаление влаги в вакууме при давлениях ниже давления тройной точки воды фазовым переходом «лед – пар», сублимацией, из предварительно замороженных при низких температурах материалов обеспечивает высокий уровень сохранности исходных свойств продукта, позволяет сохранить питательные вещества, витамины, микроэлементы, первоначальную форму, естественный запах, вкус и цвет. Для изучения процессов вакуумного обезвоживания, разработки режимов сушки различных продуктов, проведения научных экспериментов используются лабораторные установки небольшой производительности. В статье представлен краткий обзор экспериментального оборудования отечественного производства для разноплановых исследований в области сублимационной сушки термолабильных материалов. Рассмотрены их технические особенности, возможности и основные преимущества. Рассмотренное выше экспериментальное оборудование отечественного производства позволяет проводить разноплановые исследования в области вакуумного обезвоживания. Данные установки по комплексу свойств, своим возможностям и техническим характеристикам не уступают зарубежным аналогам, а по своей стоимости более предпочтительны. Конструкция рассмотренных отечественных сушильных установок является гибкой, что позволяет в соответствии с задачами экспериментальных исследований оснастить их дополнительными элементами и заложить в них новые функции.*  
**Ключевые слова:** сублимационная сушка, лабораторная установка, оборудование для вакуумного обезвоживания.

---

## The domestic experimental equipment to explore of the processes of vacuum dehydration

*D. Sc. Semenov G.V., Ph. D. Bulkin M.S.*  
*Moscow National University of Food Production*  
*125080, Moscow, Volokolamskoye, 11*  
*sgv47@yandex.ru, mabul25@mail.ru*  
**Cherskiy V.V.** vth@mail.ru  
*LLC "Prointeh", 142290, Moscow region, Pushchino, ul.Stroiteley, 5*

*Removal of moisture under vacuum at pressures below the triple point pressure of water phase transition "ice - pairs" sublimation of frozen pre-materials at low temperatures provides a high level of security the original properties of the product allows you to keep the nutrients, vitamins, trace elements,*

*original shape, natural scent, taste and color. To study the vacuum dewatering, drying modes of development of various products, conduct scientific experiments used a small laboratory setting performance. The article presents a brief overview of the experimental equipment of domestic production for diverse research in the freeze-drying heat-sensitive materials. Considered their technical features, capabilities and key advantages. Discussed above experimental equipment domestic production allows diverse research in the field of vacuum dehydration. These settings on the complex properties, its capabilities and specifications are not inferior to foreign analogues, and its value are preferred. Design considered domestic dryers is flexible, allowing consistent with the experimental studies to equip them with additional elements and lay them with new functions.*

**Keywords:** freeze drying, laboratory facility, equipment for vacuum dehydration.

Технологии вакуумной сушки термолабильных материалов получают все более широкое практическое применение в отраслях пищевой промышленности, фарминдустрии, прикладной биотехнологии.

Удаление влаги в вакууме при давлениях ниже давления тройной точки воды (4,58 мм.рт.ст. или 611,73 Па) фазовым переходом «лед – пар» (сублимацией) из предварительно замороженных при низких температурах материалов называется сублимационной сушкой. Такая сушка обеспечивает высокий уровень сохранности исходных свойств продукта (до 90 % позволяет сохранить питательные вещества, витамины, микроэлементы, первоначальную форму, естественный запах, вкус и цвет). Замораживание обеспечивает фиксацию важнейших свойств продукта (форма, размер, вкус, цвет, витаминный и белковый состав и т.д.), а последующая сублимация льда создает пористую структуру. При этом сублимационное обезвоживание предполагает мягкие режимы термообработки в вакууме и позволяют получить конечную влажность на уровне нескольких процентов. В итоге качество сублимированных продуктов очень высокое. Они имеют длительные сроки хранения при нерегулярных температурах, легко регидратируются перед дальнейшим применением, имеют гораздо меньший удельный вес (порядка 1/5 – 1/10 веса свежих продуктов). В ряде случаев, например, при производстве сухих легкорастворимых антибиотиков, бактериальных и вирусных препаратов, заквасок и ферментов, кисломолочных продуктов, БАДов и т.п., сублимационная сушка пока не имеет альтернативы [1].

Для изучения процессов вакуумного обезвоживания, разработки режимов сушки различных продуктов, проведения научных экспериментов кроме эффективных математических моделей [2-4] используются лабораторные установки небольшой производительности (как правило 1-10 кг сырья за цикл сушки). Как правило, это установки, в которых объект сушки располагается на теплоподводящих полках, расположенных в вакуумной камере. Такое оборудование характеризуется сложной системой регулирования и регистрации параметров процесса – давления, температуры, убыли массы и т.д. Современные модели снабжены компьютерами. Загрузка 1 – 5 кг, площадь рабочих полок – 0,3 – 1 м<sup>2</sup>. Температура полок может регулироваться в

широком диапазоне, обычно, от минус 50 до плюс 100 ° С. Для охлаждения десублиматора применяют сложные холодильные машины, обеспечивающие достижение температуры до минус 70 ° С. Иногда для охлаждения десублиматора и полок применяют криогенные жидкости. Мировой рынок сегодня предлагает большое количество всевозможных вариантов лабораторных установок с большим количеством различного рода функций. В этой группе сегодня предлагаются сотни вариантов сушильного оборудования. Рассмотрим отечественные изделия этой направленности.

**Экспериментальный стенд СВП-0,36 для изучения процессов вакуумного обезвоживания в широком диапазоне давлений** (рис. 1) создан в Московском государственном университете прикладной биотехнологии в 2009 году (сегодня в составе Московского государственного университета пищевых производств). Патент РФ № 2357166 от 27.05.2009.

Он позволяет проводить как классическую сублимационную сушку, так и сушку вакуумную при давлениях выше давления тройной точки воды. Кроме этого, эти два режима могут быть совмещены в рамках единого цикла сушки, в любых сочетаниях длительности каждого из них. Стенд компактен, удобен в обслуживании, максимально безопасен.



Рис. 1. Общий вид лабораторного комплекса СВП-0,36 для изучения процессов вакуумного обезвоживания.

Основные технические параметры стенда приведены в таблице 1.

*Таблица 1*

№	Наименование показателей	Технические данные
1	Производительность по испаренной влаге, кг/цикл.	до 3,5
2	Общая площадь рабочих полок (4 шт.), м <sup>2</sup>	0,48
3	Температура нагрева электронагревателей, °С	до 200
4	Температура охлаждения плит десублиматора, °С	до -40
5	Максимальная мощность, потребляемая установкой, кВт	7
6	Длительность технологического цикла, ч	Любая, в зависимости от целей эксперимента и объекта сушки.

Подвод тепла кондуктивный, радиационный, а также в совмещённом режиме. Противни с высушиваемым материалом располагаются на общей несущей раме, которая через тензометрические датчики связана с весами, позволяющими контролировать важнейший параметр любого процесса обезвоживания, т.е. убыль массы во времени.

Десублиматор размещён горизонтально, что обеспечивает возможность использования его для предварительного замораживания продукта перед сушкой. Установка оснащена тремя вакуумными насосами различной производительности для создания рабочего давления в камере (порядка 10- 70 Па при сублимационной сушке и порядка 2000-4000 Па при сушке вакуумной), а также для откачки неконденсирующихся газов (два механических 5 л/с и 1л/с, один мембранный). Стенд имеет две холодильные станции, оснащённые приборами КИПа (для обеспечения работы десублиматора – при сублимационной сушке, и конденсатора «плачущего типа» - для вакуумной сушки). Контуры низкотемпературного (до -40 °С) и среднетемпературного (на уровне  $0 \pm 2$  °С) холодоснабжения являются полностью независимыми. Это повышает их надёжность, ремонтпригодность и упрощает регулирование каждого из них.

Экспериментальный стенд оснащён автоматизированным пультом управления, соединённым с компьютером, с помощью которого можно задавать необходимые режимы сушки, а также регистрировать и накапливать показания приборов за все предыдущие циклы высушивания.

**Лиофильные (сублимационные) сушилки ЛС-1000 и ЛС-500** (рис 2 и 3), изготавливаются ООО "Проинтех" г. Пушкино, (работает с 1995 г.), специализирующейся на мелкосерийном производстве современных приборов для научных исследований, а также для препаративных целей.



Рис. 2. Сушилка лиофильная ЛС-1000. (Патент РФ № 2213916 от 18.06.01 г.)

Замороженный продукт помещается в сушилку в лотках из нержавеющей стали, либо в отдельных контейнерах с плоским дном высотой до 105 мм (пробирки, ампулы, флакончики, флаконы, колбочки, чашки Петри, стеклянные лабораторные стаканы и др.). Для замораживания продукта должна быть отдельно предусмотрена низкотемпературная морозильная камера. Скорость сушки не менее 100 г/ч. Может содержать дополнительные устройства: коллектор (manifold) с вакуумными кранами для сушки из колб; центрифугу для сушки в ампулах; коллектор с отводами для запайки ампул в вакууме; низкотемпературную ловушку.

Технические характеристики: температура конденсатора  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), мощность 6 кг льда. Рабочее давление в вакуумной камере сушилки 6,67 Па ( $5\cdot 10^{-2}$  мм рт. ст.), вакуумный насос с газовым балластным устройством. Регулируемая температура полки от  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В процессе обезвоживания осуществляется контроль параметров вакуума и температуры конденсатора и продукта. Время непрерывной работы не менее 30 ч. Питание сушилки осуществляется от трехфазной сети переменного тока 380 В. Потребляемая мощность составляет 1,5 кВт. Внешние габариты: 720x1040x820 мм, вес 180 кг.



Рис. 3. Сушилка лиофильная ЛС-500 (Патент РФ № 2213916 от 18.06.01 г.).

Технические характеристики схожи с характеристиками ЛС-1000. Потребляемая мощность составляет 1,3 кВт. Внешние габариты: 590x660x820 мм, вес 120 кг.

Рассмотренное выше экспериментальное оборудование отечественного производства дает возможность проводить разноплановые исследования в области вакуумного обезвоживания. Данные установки по комплексу свойств, своим возможностям и техническим характеристикам не уступают зарубежным аналогам, а по своей стоимости более предпочтительны. Также конструкция рассмотренных отечественных сушильных установок является гибкой, что позволяет в соответствии с задачами экспериментальных исследований оснастить их дополнительными элементами и заложить в них новые функции и возможности.

### Список литературы:

1. Семенов Г.В. Вакуумная сублимационная сушка. - М.: ДеЛи плюс, 2013.
2. Семенов Г.В., Максимов А.А., Меламед Л.Э., Тропкина А.И. Определение эффективных тепло-гидродинамических свойств неоднородных пористых и биоматериалов на основе фрагментационного анализа // Вестник МАХ. 2012. №4.
3. Семенов Г.В., Меламед Л.Э., Буданцев Е.В., Тропкина А.И. Математическое моделирование и экспериментальное исследование совмещенных циклов вакуумной сушки термолабильных материалов // Вестник Международной академии холода. 2011. № 4.
4. Меламед Л.Э., Филиппов Г.А., Тропкина А.И. Фрагментационный метод гидродинамического и теплового анализа структурированных систем // Известия ВУЗов «Проблемы энергетики». 2011. № 3-4.
5. G.V.Semenov. Resource-efficient processes of vacuum dehydration of multicomponent thermolabile materials in applied biotechnology/ G.V.Semenov, M.S.Bulkin, E.V.Budantsev//Workshop of scientists of Russia and members of ASEAN «Application of modern biotechnologies in food industry». –Hanoi, Vietnam, 2010. –P.145-155.
6. Булкин М.С. Перспективные направления развития технологий и оборудования для вакуумного обезвоживания термолабильных биообъектов // Материалы VI Международной научно-практической конференции "Техника и технология: новые перспективы развития". – М: Издательство "Спутник+", 2012. – С.34-36.
7. Булкин М.С. Применение современных информационных технологий в моделировании процессов вакуумного обезвоживания термолабильных материалов // Материалы IX Международной научно-практической конференции "Техника и технология: новые перспективы развития". – М: Издательство "Спутник+", 2013. – С.70-75.
8. Булкин М.С. Энергосберегающие технологии вакуумного обезвоживания / Булкин М.С., Краснова И.С., Максимов А.А. // Материалы Международного научного форума «Пищевые инновации и биотехнологии» – Кемерово: КТИПП, 2013. - С. 690-695.
9. Краснова И.С. Preservation of Heat-Sensitive Components in Foodstuffs for People in Emergency Situations / Краснова И.С., Семенов Г.В., Булкин М.С., Евдокунина Е.А. // Перспективы науки. – 2011. - №10(25). – С.219-221.
6. Семенов Г.В. Вакуумная сублимационная сушка. - М.: ДеЛи плюс, 2013.
10. Семенов Г.В. Вакуумное обезвоживание жидких и пастообразных материалов / Семенов Г.В., Буданцев Е.В., Булкин М.С., Зленко А.Л. // Труды международного научно-технического семинара «Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов». – Воронеж: ВГЛТА, 2010. - С. 186-191.
11. Семенов Г.В. Интенсификация процессов обезвоживания термолабильных материалов в вакууме / Семенов Г.В., Булкин М.С. // Материалы X Международной научной конференции студентов и молодых учёных «Живые системы и безопасность населения». – М.: МГУПП, 2012. - С. 237-240.

12. Семенов Г.В. Качество и энергозатраты в процессах вакуумного обезвоживания термолабильных материалов / Семенов Г.В., Буданцев Е.В., Булкин М.С. // Пищевая технология. – Краснодар. -2011. – Вып. 1. – С. 65-67.

13. Семенов Г.В. Математическое моделирование и экспериментальное исследование совмещенных циклов вакуумной сушки термолабильных материалов / Семенов Г.В., Буданцев Е.В., Меламед Л.Э., Тропкина А.И. // Вестник Международной академии холода. – СПб.-М. – 2011. – Вып. 4. – С. 5-

14. Семенов Г.В. Определение эффективных тепло-гидродинамических свойств неоднородных пористых и биоматериалов на основе фрагментационного анализа / Семенов Г.В., Меламед Л.Э., Тропкина А.И. Максимов А. А. // Вестник международной академии холода. – СПб.-М. – 2012. - Вып.4. С. 61-66.

15. Семенов Г.В. Совершенствование технологии вакуумного обезвоживания термолабильных биообъектов / Семенов Г.В., Булкин М.С., Буданцев Е.В., Булкина П.А. // Материалы Международной научно-практической конференции "Фармацевтические и медицинские биотехнологии". - М.: ЗАО Экспо-биохим-технологии, 2012. – С.411-412.

16. Семенов Г.В. Современное оборудование для производства сублимированных продуктов / Семенов Г.В., Буданцев Е.В., Булкин М.С.// Пищевая промышленность. –М.: Пищевая промышленность. -№11. -2008. –С. 34-37.

17. Семенов Г.В. Современные технологии вакуумного обезвоживания термолабильных материалов / Семенов Г.В., Булкин М.С., Буданцев Е.В. // Материалы Международной научно-практической конференции "Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья". – Геленджик: ООО Издательский Дом – Юг, 2012. – С.246-250.

18. Семенов Г.В. Тепломассообмен в промышленных процессах вакуумного сублимационного обезвоживания с учетом условий контактирования / Семенов Г.В., Булкин М.С., Меламед Л.Э., Тропкина А.И. // Вестник Международной академии холода. – СПб.-М. – 2010. – Вып. 2. – С. 22-33.

19. Семенов Г.В. Установка для вакуумной сушки термолабильных материалов в условиях регулируемых давлений / Семенов Г.В., Булкин М.С., Максимов А.А. // Материалы I Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности» - Краснодар: КубГТУ, 2013. - С. 437-440.

20. Семенов Г.В. Эффективная теплопроводность замороженных дисперсных материалов в процессах вакуумного обезвоживания / Семенов Г.В., Булкин М.С. // Вестник Международной академии холода. – СПб.-М.–2013. – Вып. 3. – С. 55-57.

21. Титов Е.И. Влияние режимов вакуумного обезвоживания на качественные характеристики белого мяса птицы / Титов Е.И., Семенов Г.В., Иванченкова Т.А., Булкин М.С. // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2012. – №7. - С.27 – 29.