

по площади. При вращении магнитной системы магнитный поток в этих местах формирует центральные области эрозии мишени. Благодаря этому при использовании эллиптического внешнего контура магнита скорость осаждения пленки будет выше.

### **Список использованных источников**

1. Iseki, T. Target utilization of planar magnetron sputtering using a rotating tilted unbalanced yoke magnet / T. Iseki. – Japan: Technology Development Division, JVC, Victor Company of Japan.

УДК 621.7

### **Вакуумная сублимационная сушка фармацевтических продуктов**

**Ракович Р. С., студент**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.,  
ст. преподаватель Камыда Д. Е.*

Аннотация.

В данной статье приведены достоинства и недостатки вакуумной сублимационной сушки, показана возможность использования данной технологии для сушки фармацевтических продуктов. Предложены направления по развитию данного процесса.

Вакуумная сублимационная сушка (ВСС), или лиофилизация – это технология удаления воды из «продуктов» путем замораживания и сублимации льда при низком давлении. Этот метод широко применяется в пищевой и фармацевтической промышленности для производства высококачественных продуктов с длительным сроком хранения и легкостью восстановления [1].

Вакуумная сублимационная сушка (ВСС) состоит из трех основных этапов [4]: замораживания, первичной сушки и вторичной сушки. На этапе замораживания продукт подвергается быстрому

охлаждению до температур ниже точки замерзания воды, при которых образуются кристаллы льда различной формы и размера. Затем продукт помещается в вакуумную камеру, где при низком давлении и температуре происходит сублимация льда, то есть переход из твердого состояния в газообразное без промежуточной жидкой фазы. Это первичная сушка, которая удаляет большую часть воды из продукта. На последнем этапе (вторичная сушка) происходит десорбция оставшейся связанной воды из продукта при повышении температуры и давления.

Технологические параметры процесса ВСС, как показывает практика, в основном определяются такими характеристиками продукта, как состав, структура, теплофизические свойства и др. [5]. Среди наиболее важных технологических параметров процесса можно выделить скорость замораживания, температуру и давление сублимации, время и температуру десорбции.

Как отмечалось ранее, ВСС находит широкое применение во многих областях, но более серьезные требования, как к качеству получаемого продукта, так и к оборудованию, а также технологическим параметрам процесса предъявляются в фармацевтической области. С помощью вакуумной сублимационной сушки получают следующие фармацевтические продукты [3, 5]: антибиотики, бактерии, сыворотки, вакцины, препараты для диагностирования и биотехнологические продукты.

Авторы работ [3, 6] отмечают, что ВСС характерны следующие преимущества:

- высокая сохранность структуры и биологической активности продукта;
- низкая температура процесса, которая предотвращает термическое повреждение или окисление продукта;
- возможность получения однородных частиц мелкого размера со стабильной растворимостью и гигроскопичностью.

В тоже время авторы работ [1, 2, 7] помимо вышеперечисленных достоинств ВСС отмечают следующие:

- длительный срок хранения продукта без потери качества;
- легкость восстановления продукта путем добавления воды.

Этими же авторами [3, 5, 7] указываются и недостатки данного вида сушки:

- высокие затраты на оборудование и энергию для создания вакуума и поддержания температурного режима;
- длительное время процесса по сравнению с другими методами сушки;
- необходимость оптимизации параметров процесса для каждого типа продукта;
- риск загрязнения или повреждения продукта при нарушении герметичности системы.

На основании анализа достоинств и недостатков ВСС можно сделать вывод о возможных направлениях развития технологии:

- использование альтернативных источников энергии (солнечной, ветровой) или рекуперации тепла для снижения энергозатрат;
- комбинирование ВСС с другими методами предварительной или последующей обработки (осмотическая дегидратация, микроволновая обработка) для ускорения процесса или повышения качества продукта;
- модернизация технологического оборудования в целях повышения производительности и повышения эргономичности.

В связи с этим в дальнейшем планируется анализ новых материалов и конструкций для проектирования оборудования ВСС (мембраны, адсорбенты), что позволит повысить эффективность и безопасность процесса.

### **Список использованных источников**

1. Технология вакуумной сублимационной сушки фруктов, ягод и овощей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://givemebid.com/freeze-dried29032016/>. – Дата доступа: 17.03.2023.
2. Сушка фармацевтической продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/265314817\\_Drying\\_of\\_Pharmaceutical\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/265314817_Drying_of_Pharmaceutical_Products). – Дата доступа: 15.03.2023.
3. Голубев, Л. Г. Сушка в химико-фармацевтической промышленности / Л. Г. Голубев [и др.]. – М.: Медицина, 1978
4. Семенов, Г. В. Вакуумная сублимационная сушка / Г. В. Семенов. – Москва: ДеЛи плюс, 2013.
5. Технологическое оборудование для глубокой переработки пищевых продуктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://eft-rus.ru/novosti/60-sublimateionnaya-sushka-ili-liofilizatsiya>. – Дата доступа: 16.03.2023.

6. Сравнение методов сушки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.archives.gov/preservation/disaster-responserdrying-techniques.html>. – Дата доступа: 23.03.2023.

7. Вакуумная система при применении сублимационной сушки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.evpvacuum.com/newsview-255-236-The\\_vacuum\\_system\\_in\\_the\\_application\\_of\\_freeze\\_drying.html](https://www.evpvacuum.com/newsview-255-236-The_vacuum_system_in_the_application_of_freeze_drying.html). – Дата доступа: 23.03.2023.

УДК 621.7

### **Оборудование для вакуумной сублимационной сушки фармацевтических продуктов**

**Ракович Р. С., студент**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: к. т. н., доцент Комаровская В. М.*

Аннотация.

В данной статье рассмотрено оборудование для ВСС фармацевтических продуктов. Также произведен анализ существующего оборудования, с последующим предложением по его модернизации.

В фармацевтической отрасли широкое распространение находит вакуумная сублимационная сушка (ВСС) для обработки различных продуктов: антибиотиков, витаминов, белковых и ферментных препаратов, а также препаратов крови, сывороток и вакцин [1].

В большинстве случаев реализация ВСС происходит в аппаратах периодического действия с различными шкафами. В тоже время при сушке продуктов в ампулах имеется ряд особенностей, связанных с узкой горловиной ампул, что накладывает определённые сложности при реализации сушильных шкафов, в том числе и оснастки. Исходя из этого рассмотрим существующее оборудование различных производителей, его реализацию, и возможность модернизации.

Для сушки в ампулах обычно применяют сушилки коллекторного и камерного типов.