

УДК 664.8.9

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СУШКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПОМОЩИ ВАКУУМНЫХ ИМПУЛЬСОВ

**Григорий Вячеславович Рыбин<sup>1</sup>**

аспирант

enot1237@gmail.com

**Ольга Александровна Зорина<sup>1</sup>**

соискатель

Zorin619@bk.ru

**Родионов Юрий Викторович<sup>1,2</sup>**

доктор технических наук, профессор

rodionow.u.w@rambler.ru

<sup>1</sup>Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

<sup>2</sup>Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушилки (ДКВИС). Представлены различные модификации, отличающиеся типом первой ступени, и методика выбора оптимальной конфигурации в зависимости от типа перерабатываемого материала. Также представлена методика интенсификации процесса сушки при помощи вакуум-импульсного воздействия на перерабатываемое сырьё, которая в том числе определяется правильно подобранным оборудованием.

**Ключевые слова:** сушка, вакуумная сушка, вакуум-импульсное воздействие, растительный материал, функциональное питание.

Сушка является одним из наиболее распространённых процессов переработки растительного сырья. Она позволяет удалить из сырья большую часть содержащейся в нём влаги, что значительно повышает его сроки хранения и способность к транспортировке. Причём сушку можно организовать непосредственно на месте сбора растительного материала [1-4].

Однако этот процесс имеет ряд весомых недостатков главными из которых являются высокие затраты энергии, а также потеря биологически активных веществ в процессе переработки, что ограничивает её применение при производстве продуктов функционального питания.

Одним из наиболее перспективных решений озвученных проблем является двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушка (ДКВИС) [5]. Наличие разрежения позволяет добиться эффекта низкотемпературного кипения жидкости в порах материала, что значительно ускоряет протекание процесса, при этом низкая температура – 30-60°C (в зависимости от установленной степени разрежения) позволяет добиться сохранения максимального количества функциональных компонентов, что делает продукты, высушенные вакуумным способом, прекрасным полуфабрикатом для производства функциональных продуктов питания. Также высушенное сырьё может использоваться как самостоятельный продукт в рационе.

В большинстве случаев вакуумная сушка состоит из двух ступеней, первая из которых сушка происходит при атмосферном давлении, а вторая – в разреженной среде. Эффективность двухступенчатой системы объясняется тем, что на первом этапе происходит активное удаление поверхностной влаги из материала, которое происходит с одинаковой эффективностью как в вакууме, так и при атмосферном давлении, поэтому на начальном этапе вакуумная сушка нецелесообразна, поскольку она требует значительных энергетических затрат. По окончании первого этапа процесс удаления влаги значительно замедляется, и здесь уже наличие вакуума играет решающую роль и позволяет ускорить процесс в 1,5-2 раза. При этом при сравнительно низкой начальной влажности

материала (менее 30%) целесообразнее использовать только вакуумную ступень.

Конструкционно в большинстве своём вакуумная часть сушилки выполняется в виде вакуумных шкафов с размещаемыми в них лотками с материалом, в которых организуется периодический продув нагретым воздухом, сменяющийся разрежением. При этом режимы работы и конструкционное исполнение первой ступени могут быть различны, и очень важным является грамотный подбор технологии и конструкции конвективной сушилки первой ступени для достижения максимальной эффективности процесса.

Так наиболее распространённый вариант первой ступени является конвективная лотковая с неподвижным слоем. Этот вариант является не самым эффективным, поскольку в данном случае скорость воздуха и удельная поверхность нагрева материала довольно низкие, однако такой способ является наиболее подходящим при сушке материалов, содержащих множество мелких частей, например, заквасок, поскольку в данном случае есть опасность уноса мелких частиц потоком воздуха и потери значительного количества высушиваемого сырья [6].

Для материалов с частицами приблизительно одинакового размера и правильной формы, преимущественно шарообразных (например, гороха) наиболее целесообразно применять сушку в закрученном слое. Такая технология является одной из самых эффективных, поскольку материал всей поверхностью соприкасается с горячим воздухом, однако она весьма требовательна к форме высушиваемого сырья, поскольку неподходящие характеристики препятствуют возникновению вращения [7].

Для частиц различной формы, но приблизительно одинаковой массы наиболее эффективной будет лотковая сушилка во взвешенном (псевдооживленном слое). Она обеспечивает соприкосновение значительной части поверхности частиц сырья с горячим воздухом, при этом не требовательна к форме частиц. Однако необходимо, чтобы частицы были

приблизительно одинаковой массы, поскольку фрагменты значительно меньшей массы будут ограничивать увеличение скорости потока воздуха из-за опасности уноса частиц, что в свою очередь будет снижать скорость сушки [8].

Одним из наиболее эффективных методов интенсификации вакуумной сушки является использование вакуум-импульсного воздействия на материал. Оно характеризуется тем, что в вакуумной камере с сырьём организуется разрежение с высокой скоростью за минимальное время. В результате резкого перепада давления раскрываются поры материала, что облегчает выход паров жидкости и ускоряет процесс сушки.

При этом важно, чтобы рабочее давление разрежения в камере достигалось не более чем за 0,5 с. Соответственно, для создания вакуумных импульсов в камере требуется вакуум-насос значительно большей производительности чем для того, чтобы просто поддерживать разрежение на заданном уровне, что в промышленных масштабах требует недопустимой переплаты.

Одним из возможных решений этой проблемы является организация дополнительной ёмкости, равной объёму одного лотка, подключённой к тому же вакуум-насосу, что и основная камера. После конвективной ступени лотки с материалом устанавливаются в ёмкость, обрабатываются вакуумными импульсами, после чего перемещаются в основную камеру. При этом получается достигнуть и интенсификации процесса за счёт импульсного воздействия, и экономии за счёт использования вакуум-насоса меньшей производительности, чем в случае с организацией импульсов в основной камере.

Также перспективным решением является разработка многокорпусной сушильной вакуумной камеры, каждая часть которой изолирована от соседних. Во время работы к вакуум-насосу подключены все камеры, а во время импульсного воздействия система автоматических клапанов подключает каждую камеру по отдельности. Это позволяет повысить эффективность

процесса сушки, причём вакуумные импульсы могут организовываться как предварительно перед сушкой, так и во время процесса.

Таким образом, при организации вакуумной сушки важной задачей является подбор наиболее эффективной технологии и оборудования для конвективной ступени, а также обработка сырья вакуумными импульсами, что позволяет значительно повысить эффективность сушки и добиться максимального сохранения биологически активных веществ при минимальных затратах энергии.

### **Список литературы:**

1. Процесс сушки измельченного растительного материала в барабанной сушилке / В. А. Юнин, А. М. Захаров, Н. Н. Кузнецов, А. В. Зыков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1(57). С. 335-349. DOI 10.32786/2071-9485-2020-01-33. EDN POIDTD.

2. Повышение экологичности и эффективности сушки растительного сырья электронагревателем / Л. А. Лягина, А. В. Волгин, В. В. Белов и др. // Известия Международной академии аграрного образования. 2018. № 38. С. 14-19. EDN YPJTDV.

3. Рудобашта С. П. Математическое моделирование и экспериментальное изучение процесса электромагнитно-конвективной сушки растительных материалов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70. № 1(50). С. 3-9. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-3-9. EDN CBRWNB.

4. Рудобашта С. П., Бабичева Е. Л., Зуева Г. А. Фазовое концентрационное равновесие при сушке коллоидного капиллярно-пористого материала - гороха // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2024. Т. 67. № 2. С. 104-110. DOI 10.6060/ivkkt.20246702.6811. EDN FPF SXN.

5. Вакуумные Технологии производства порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод для функциональных продуктов питания / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, О. А. Зорина и др. // Наука в центральной России. 2023. № 1(61). С. 55-65. DOI 10.35887/2305-2538-2023-1-55-65. EDN YTYALY.

6. Иванова Е. П. Разработка технологии приготовления сухой закваски на основе растительного сырья для производства хлебобулочных изделий функционального назначения: специальность 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Мичуринск. 2016. 22 с. EDN ZQACFL.

7. Попова И. В. Совершенствование технологии и средств сушки овощного сырья: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мичуринск. 2009. 18 с. EDN NLETST.

8. Рудобашта С. П., Зуева Г. А., Хандогин Г. В. Кинетический расчет сушилки непрерывного действия лоткового типа с псевдооживленным слоем // Инженерно-физический журнал. 2024. Т. 97. № 5. С.1211-1222. EDN BGKTSN.

**UDC 664.8.9**

**INVESTIGATION OF INTENSIFICATION OF DRYING OF PLANT MATERIALS BY MEANS OF VACUUM PULSES**

**Grigory V. Rybin<sup>1</sup>**

graduate student

enot1237@gmail.com

**Olga Al. Zorina<sup>1</sup>**

applicant

zorin619@bk.ru

**Yuri V. Rodionov<sup>1,2</sup>**

doctor of technical sciences, professor

rodionow.u.w@rambler.ru

<sup>1</sup>Tambov State Technical University

Tambov, Russia

<sup>2</sup>Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the study of a two-stage convective vacuum pulse dryer (DCVIS). Various modifications are presented, differing in the type of the first stage, and a method for determining the choice of the optimal configuration depending on the type of processed material. A technique for intensifying the drying process using vacuum pulse action on processed raw materials is also presented, which is determined, among other things, by properly selected equipment.

**Key words:** drying, vacuum drying, vacuum pulse effect, plant material, functional nutrition.

Статья поступила в редакцию 20.03.2025; одобрена после рецензирования 20.06.2025; принята к публикации 30.06.2025.

The article was submitted 20.03.2025; approved after reviewing 20.06.2025; accepted for publication 30.06.2025.