

РАЗБИЕНИЕ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В ВАКУУМЕ НА РЯД ЭТАПОВ

SPLITTING THE PROCESS OF LOW-TEMPERATURE DEHYDRATION IN A VACUUM INTO A NUMBER OF STAGES

А.А. Галузин / galuzin1994@mail.ru

A.A. Galuzin

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

В данной работе рассматривается технология и оборудование для низкотемпературного обезвоживания в вакууме (НОВ). Приведено описание автоматизированной установки НОВ. С целью повышения эффективности работы установки НОВ и уменьшения энергозатрат было предложено разбить процесс низкотемпературного обезвоживания в вакууме на 3 этапа.

This work discusses the technology and equipment for low-temperature dehydration in vacuum (LDV). The description of the automated equipment LDV is given. In order to increase the efficiency of the equipment LDV and reduce energy consumption, it is proposed to divide the process of low-temperature dehydration in vacuum into 3 stages.

Ключевые слова: обезвоживание, низкотемпературное обезвоживание, вакуумная сушка, технология НОВ, сушка, ИК нагрев, установка НОВ, выпарная установка, автоматизация, управление.

Keywords: dehydration, low-temperature dehydration, vacuum drying, LDV technology, evaporation, infrared heating, LDV equipment, evaporation equipment, automation, controlling.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема добычи продовольствия сопровождала человечество на протяжении всей многовековой истории. Тем не менее, со временем, человек понял, что важно не только добывать продукты питания, но и иметь возможность сохранять их на протяжении максимально возможного срока с минимальными потерями качества сырья. В процессе научной эволюции появились различные технологии, обеспечивающие хранение веществ растительного и животного происхождения в течение определенного времени. Одним из самых эффективных способов, позволяющих сохранять нативные свойства исходного продукта, является процесс обезвоживания органических веществ. Кроме того, сушка позволяет значительно снизить затраты на транспортирование и хранение сухих порошков, так как они занимают намного меньше места, чем исходные продукты [1].

Стоит отметить, что на сегодняшний день немаловажную роль играет и осложнившаяся экологическая ситуация во всем мире, которая требует особого внимания к процессам переработки и утилизации пищевых отходов. Следует обратить внимание, что такие экологические проблемы, как утилизация отходов, места их захоронения, были актуальны во все времена, но именно сегодня эти вопросы встали особенно остро, так как отходы подвергаются гниению, накапливаются в большом объеме, негативно влияя на окружающую среду. Важно отметить, что каждое промышленное предприятие в процессе своей работы загрязняет окружающий воздух. Если раньше предприятия могли ограничиться контролем границы санитарно-защитной зоны, то сегодня предприятия обязаны обеспечить экологическую и санитарно-эпидемиологическую безопасность своего производства. Для минимизации загрязнений применяются различные технологические решения: катализаторы, фильтры, изменение технологического процесса

и т.п. [2]. Существующие на сегодняшний день технологии не могут в полной мере обеспечить такую защиту. Помимо этого, в настоящее время актуальна проблема утилизации отходов при создании автономных систем жизнеобеспечения человека (в космическом пространстве, подводных лодках и пр.) [3].

Вакуумная сушка, а именно низкотемпературное обезвоживание в вакууме, является наиболее высокотехнологичным, эффективным, экономически выгодным и экологически чистым методом сушки, способным решить все описанные выше проблемы. Низкотемпературное обезвоживание, применимо к сушке продуктов питания (овощей, ягод, фруктов), медицинских препаратов, переработке куриного и свиного пометов, отходов спиртопроизводства, сахарного производства, шламов сточных вод. Кроме того, следует отметить, что метод НОВ позволяет осуществить обезвоживание пищевых продуктов и переработку отходов сельскохозяйственных производств в ценные продукты с сохранением витаминов, аминокислот и других полезных составляющих исходного материала [4-8].

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В ВАКУУМЕ

Процесс вакуумной сушки заключается в удалении определенного количества воды из общей массы продукта за счет испарения в условиях низкого вакуума.

Отметим, что первоначальная влажность отходов сельского хозяйства или шламов сточных вод, как правило, составляет до 99 % от общей массы. Проблема заключается в экологически чистой и эффективной утилизации таких отходов. Если же речь идет о получении различного рода питательных порошков (из растительной пасты, полученной из натуральных фруктов, овощей, первоначальной влажностью от 65 % до 95 %), то основная задача заключается именно в сохранении полезных свойств исходного сырья. При этом, важными факторами являются экономически выгодная эффективность установки, экологическая чистота производства и высокая производительность установки.

Все эти проблемы решает автоматизированная установка низкотемпературного обезвоживания в вакууме (НОВ). В основе конструкции и принципа действия установки НОВ лежит технология низкотемпературного обезвоживания в вакууме.

Низкотемпературное обезвоживание в вакууме – безотходная, энергосберегающая и экологически чистая технология, в процессе которой происходит испарении воды из исходного сырья при давлении ниже атмосферного в технологическом объеме (без контакта с окружающей средой) и при температурах в диапазоне 30...80 °С, что обеспечивает сохранение полезных свойств исходного вещества и уничтожение возможных живых клеток организмов, присутствующих в обрабатываемом продукте. Выходной продукт включает: сухой остаток (влажностью до 10 %), чистую воду (конденсат) и незначительный экологически безопасный выхлоп (рис.1) [3, 5-8].

Основные требования к установке и обезвоживаемым продуктам:

- производительность: 10 т/сутки;
- характер рабочего процесса – непрерывный;
- рабочая температура процесса – не более 100 °С;
- безотходность технологического процесса;
- потери питательных веществ в сухом продукте – не более 10 %.
- максимальная допустимая влажность исходного сырья – 99 %;
- время работы установки: не более 14-16 ч/сутки;
- влажность готового продукта – 12-14 %.

В установке предусмотрен нагрев обрабатываемого продукта с помощью горячей воды, получаемой от внешнего источника.

Система транспортировки продукта по теплообменнику внутри технологической камеры предусматривает различные способы его перемещения и перемешивания. Продукт может ворошиться на месте и перемещаться на шаг транспортирования. Режим транспортирования с ворошением управляется автоматически, при этом такт локальных

перемещений и число тактов ворошения в цикле перемещения задается с помощью интерфейса оператора.

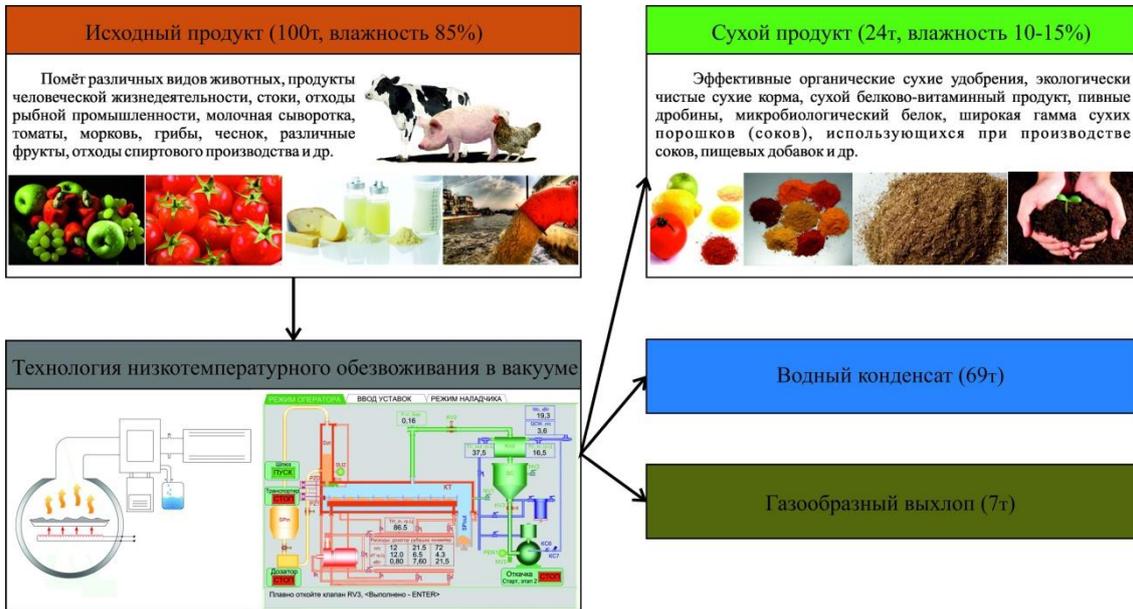


Рис. 1. Функциональная схема технологии низкотемпературного обезвоживания в вакууме.

Комплексная принципиальная схема установки НОВ представлена на рис. 2.

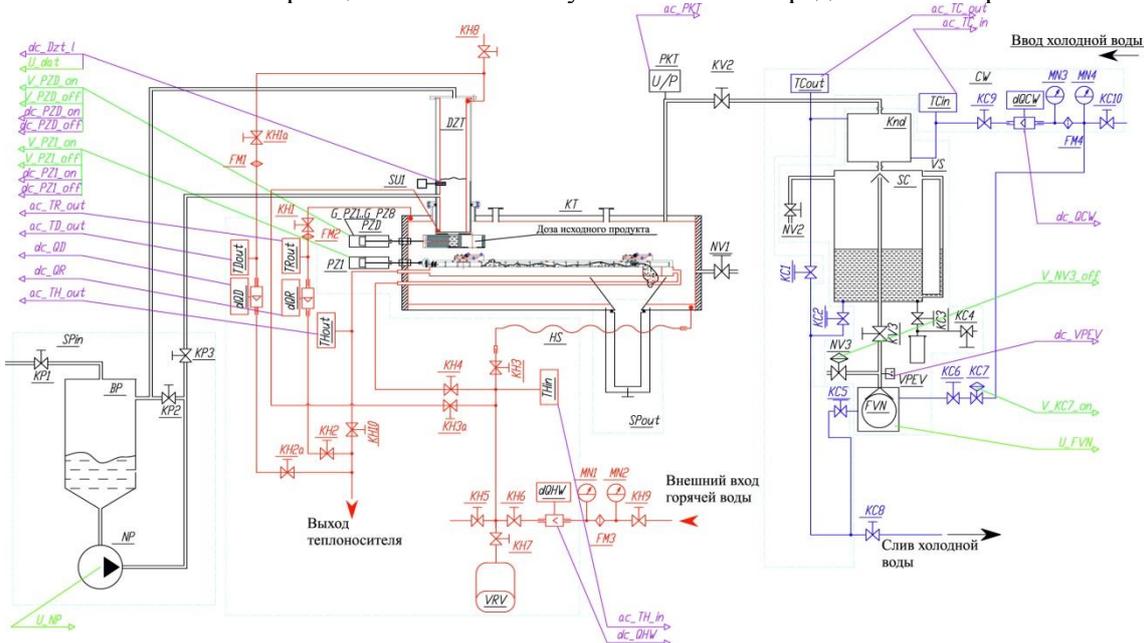


Рис. 2. Комплексная принципиальная схема установки НОВ.

Продукт из приемного бункера *Bp* насосом *NZ* подается в дозатор *Dzt*, из которого с помощью загрузочного шлюза, приводимого в действие пневмоцилиндром дозатора *PZD*, попадает в камеру технологическую *KT*.

В камере *KT* размещен теплообменник из полого алюминиевого профиля. Над ним расположен скребковый транспортер, приводимый в действие пневмоцилиндром *PZI*. Скребковый транспортер способен передвигать продукт на шаг транспортирования, либо ворошить его на месте перемещениями, меньшими, чем шаг транспортирования. При этом

продукт нагревается от алюминиевого профиля, во внутренней полости которого циркулирует горячая вода, либо отработанный пар из турбогенератора.

Нагрев продукта от теплообменника и откачка камеры технологической вакуумным насосом *FVN* приводят к интенсивному испарению содержащейся в продукте влаги. Дойдя до конца теплообменника, продукт выгружается в приемную емкость, которая при ее заполнении снимается и заменяется пустой, либо оперативно выгружается [3].

В установке НОВ предусмотрена система электропитания и автоматического управления. Система автоматического управления предназначена для управления исполнительными механизмами установки с рабочего места оператора, автоматического управления процессами, отображения их состояния на мнемосхеме, сбора данных, сохранения истории процесса. Система электропитания воспринимает управляющие сигналы системы автоматического управления и по ним коммутирует соответствующие электропоток. Обе системы смонтированы внутри шкафа управления.

Программное обеспечение установкой НОВ работает в составе управляющей сети, состоящей из компьютера рабочего места оператора (КРМО) и контроллера PLC, объединенных сетью на основе канала RS-485 (допускается замена на RS-232) или Ethernet.

Управление установкой при выходе на стационарный режим осуществляется с помощью интерфейса оператора. На мониторе отображается состояние ее подсистем и элементов. Оператор запускает процессы откачки, нагрева, подачи и транспортирования продукта, вручную по подсказке с монитора коммутируя клапана и включая насосы. Он имеет возможность задавать уставки на основные параметры реализуемых процессов, активизировать их и далее они выполняются автоматически. Ручной режим управления позволяет реализовывать нетиповые режимы и устранять нештатные ситуации.

МНОГОЭТАПНОСТЬ ПРОЦЕССА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В ВАКУУМЕ

Для отработки технологии низкотемпературного обезвоживания в вакууме на автоматизированной установке НОВ неоднократно проводили ряд экспериментов, где в качестве исходного продукта были использованы растительные пасты на основе томатов, яблок, винограда. В экспериментах использовались разные температурные режимы. Обезвоживание происходило при температурах в диапазоне 55...70 °С и вакууме с давлением 0,88 атм. Именно в этом температурном диапазоне следует проводить обезвоживание органических веществ при высоких требованиях к качеству и пищевой ценности готового продукта [3, 8-10].

Известно, что уменьшение содержащейся в исходном продукте влаги от 99 % до 12-14 % – это очень энергозатратное выпаривание. Много времени и энергии уходит на то, чтобы нагреть продукт до температуры кипения и выпарить первые 10 % влаги. Кроме того, интенсивность испарения, при движении продукта в конце транспортера, уменьшается. Это приводит к тому, что не всегда удается высушить продукт до 12-14 % влажности.

Для повышения эффективности работы установки НОВ и для уменьшения энергозатрат необходимо разбить процесс низкотемпературного обезвоживания в вакууме на ряд этапов.

1 этап – Предварительный нагрев обезвоживаемого продукта

На первом этапе, для предварительного нагрева исходного продукта, необходимо использовать выпарную вакуумную установку с внутренним или вынесенным нагревом (рис.3). Использование такой установки позволит не только нагреть исходный продукт, но и выпарить около 10-15 % влаги обрабатываемого вещества.

Исходный продукт влажностью до 99 % загружается в вакуумный бак, где нагрев от теплообменника и откачка камеры вакуумным насосом приводят к испарению влаги, содержащейся в продукте. Однако, несмотря на то, что исходный продукт должен обладать высокой влажностью, в нем все равно могут образовываться какие-то комочки, которые будут забивать трубы и значительно замедлять процесс обезвоживания. Решение данной проблемы

– применение диспергирования. Диспергирование – это тонкое измельчение, дробление твёрдых тел или жидкостей до образования веществ однородной массы (без комочков). При диспергировании твёрдых тел происходит их механическое разрушение.

Выпаренный продукт оседает внизу бака, скапливается и выбрасывается через шлюз на вход диспергатора. Благодаря такому решению продукт на выходе из выпарной вакуумной установки будет диспергированным (однородным) и частично обезвоженным, что значительно повысит эффективность дальнейшего его использования на следующем этапе сушки.

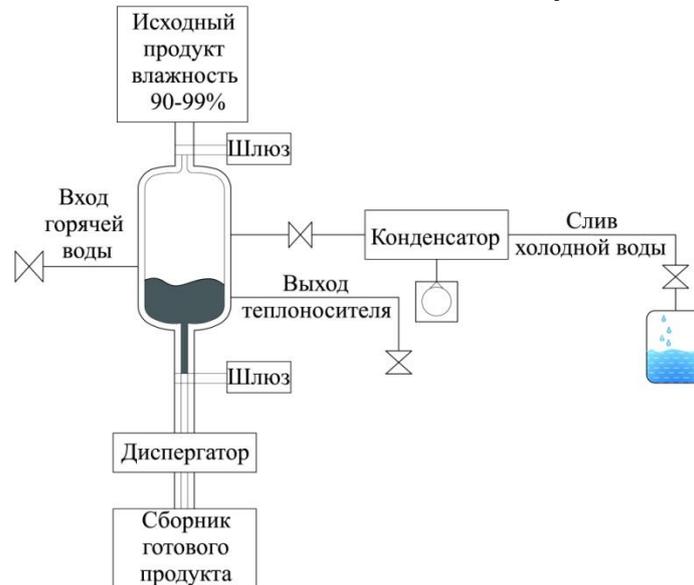


Рис. 3. Функциональная схема выпарной вакуумной установки.

Преимущества использования выпарной вакуумной установки:

- значительная экономия энергозатрат всего процесса обезвоживания;
- относительная простота конструкции;
- после прохода продукта через выпарную вакуумную установку остается только сушка, а не выпаривание.

2 этап – Интенсивное испарение.

На втором этапе, предварительно нагретый и выпаренный продукт влажностью 85-90 % попадает в автоматизированную установку низкотемпературного обезвоживания в вакууме (рис.4), где происходит интенсивное испарение влаги, содержащейся в обрабатываемом веществе.

Продукт, пройдя примерно 3/4 пути по транспортеру, высушивается до 25-30 % влажности, а далее начинается уже 3 этап – досушка. Важно отметить, что 2 и 3 этап осуществляются в автоматизированной установке НОВ.



Рис. 4. Внешний вид автоматизированной установки НОВ.

3 этап – Досушка продукта с помощью ИК нагревателей.

Теплопроводность обезвоживаемого продукта, в конце его движения по транспортеру, очень низкая, поэтому процесс испарения происходит уже не столь интенсивно, как на 2 этапе сушки. С целью увеличения интенсивности процесса испарения, **на 3 этапе обезвоживания** необходимо использовать инфракрасный нагрев в вакууме для досушки продукта до требуемых 12-14 % влажности.

Инфракрасное излучение твердых тел обусловлено возбуждением молекул и атомов тела вследствие их теплового движения. Инфракрасные нагреватели устанавливаются в верхней части вакуумной камеры ближе к концу предполагаемого движения продукта (рис.5). Короткие волны проникают глубоко в пищевые продукты не на несколько миллиметров, а до нескольких сантиметров, позволяя высушивать остатки влаги, содержащейся в обрабатываемом продукте, и сохранить все нативные свойства исходного вещества [1]. Максимальное воздействие на молекулярную структуру обеспечивает большая глубина проникновения.

Управление работой инфракрасных нагревателей осуществляется с помощью интерфейса оператора. На мониторе оператора можно настроить работу ИК нагревателей как в автоматическом, так и в ручном режиме, а световая индикация покажет какой именно режим управления включен. После того, как осуществлен перевод в ручной режим, в окне интерфейса оператора появятся кнопки для перехода на окно управления инфракрасными нагревателями, а также появится возможность включения/выключения каждого нагревателя вручную.



Рис. 5. Инфракрасные нагреватели в установке НОВ.

Таким образом, процесс низкотемпературного обезвоживания в вакууме необходимо разбить на следующие 3 этапа (рис.6):

1. Предварительный нагрев обезвоживаемого продукта.
2. Интенсивное испарение в установке НОВ.
3. Досушка продукта с помощью ИК нагревателей.

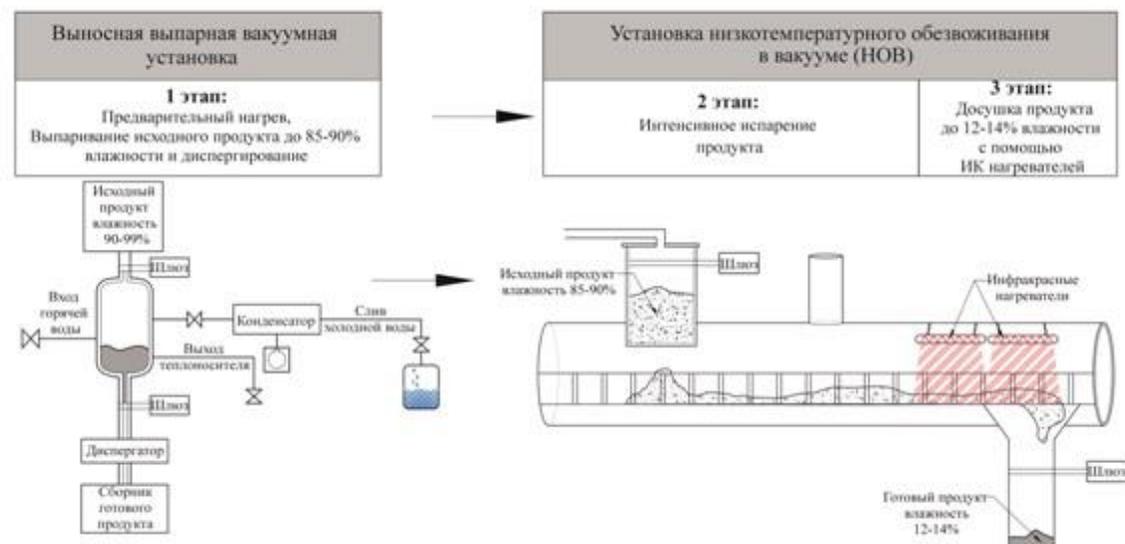


Рис. 6. Многоэтапность низкотемпературного обезвоживания в вакууме.

ВЫВОДЫ

В заключении следует подчеркнуть, что технология низкотемпературного обезвоживания в вакууме – это экологически чистый и высокотехнологический способ переработки пищевых отходов, но для внедрения данной технологии в современное производство, необходимо значительно увеличить эффективность процесса обезвоживания с целью обеспечения энергоемкости.

Следует отметить, что в данной работе, с целью повышения эффективности работы установки НОВ и уменьшения энергозатрат, было предложено разбить процесс низкотемпературного обезвоживания в вакууме на 3 этапа. Предложенная идея была внедрена в работу автоматизированной установки НОВ и первые эксперименты показали,

что время обезвоживания значительно сократилось, а значит, повысилась и производительность установки. Кроме того, включение в работу инфракрасных нагревателей позволило увеличить интенсивность испарения в конце теплообменника и, следовательно, досушить обрабатываемые продукты до требуемых 12-14 % влажности. Система автоматического управления, используемая в работе установки НОВ, обеспечивает запуск и остановку всех необходимых процессов, автоматически управляет запущенными процессами в реальном времени и передает на интерфейс оператора информацию о состоянии установки, тем самым существенно повышая эффективность технологии НОВ.

В данный момент продолжают эксперименты, результаты которых помогут наиболее точно оценить эффективность применения рассмотренной технологии НОВ. Подробное описание проведенных экспериментов по сушке пищевых отходов, с применением разбиения процесса низкотемпературного обезвоживания в вакууме на 3 этапа, будет предложено в следующих научных статьях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ратникова Л.Б., Влощинский П.Е., Широченко Г.И. и др. Вакуумная инфракрасная сушка – технология щадящей переработки растительного и животного сырья // Вестн. Сибир. университета потребительской кооперации. – 2012. – № 1(2). – С. 96–101.
2. Галузин А.А. Программно-технический комплекс для телемеханизации, управления и диагностики неэлектрифицированных технологических объектов/ А.А. Галузин // Нефть. Газ. Инновации.. – 2019. – №12. – С. 68-72.
3. Галузин А.А. Исследование процесса низкотемпературного обезвоживания в вакууме / А.А. Галузин // Политехнический молодежный журнал МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2019. – №9 (38).
4. Sagar V.R., Kumar P.S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. J. Food Sci. Technol., 2010, vol. 47, no. 1, pp. 15–26. DOI: 10.1007/s13197-010-0010-8 URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13197-010-0010-8>
5. Веселова, Е.Л. Определение закономерностей обезвоживания в вакууме и разработку структуры автоматизированного оборудования [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Веселова Екатерина Львовна. – М. – 1998. – 128 с. – Библиогр.: с. 121-127.
6. Ковалев Л. К. Низкотемпературное обезвоживание органических веществ большой влажности в вакууме. // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение. № 1. – 1997. – с. 61-62.
7. Веселова Е. Л. Обезвоживание в вакууме. Физика технологии. Применение. // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение. № 1. 1998. – с. 18-20.
8. Ковалева, Н.Л. Разработка и исследование процесса и оборудования низкотемпературного испарения влажосодержащих веществ в вакууме [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.27.06 / Ковалева Наталья Львовна. – М., 2004. – 164 с.
9. Галузин А.А. Исследование процессов испарения и конденсации в автоматизированной установке низкотемпературного обезвоживания в вакууме / А.А. Галузин // Наноиндустрия.. – 2020. – С. 312-321.
10. Nadi F., Tzempelikos D. Vacuum drying of apples (cv. Golden Delicious): drying characteristics, thermodynamic properties, and mass transfer parameters. Heat Mass Transfer, 2018, vol. 54, no. 7, pp. 1853–1866. DOI: 10.1007/s00231-018-2279-5