

С. Ю. Игнатъева, В. Я. Базотов, В. Ф. Мадякин

## ТЕРМО-ВАКУУМ-ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ

*Ключевые слова:* конвективная сушка, термо-вакуум-импульсная сушка, термо-вакуум-импульсная сушка горячим теплоносителем.

*Установлено, что термо-вакуум-импульсная сушка аммиачной селитры более эффективна в отличие от конвективной. А термо-вакуум-импульсная сушка прососом горячим воздухом нитрата аммония удаляет больше влаги за меньший промежуток времени, чем при термо-вакуум-импульсной сушке*

*Keywords:* convective drying, thermo- vacuum -pulse drying, thermo-vacuum -pulse drying in a hot heat carrier.

*It was established that thermo- vacuum- pulse drying of ammonium nitrate is more effective in contrast to convection. And thermo-vacuum -pulse drying with hot air removes more water in less time than the thermal vacuum impulse drying.*

В качестве окислителей в промышленных взрывчатых веществах, в основном применяют аммиачную селитру. Однако она обладает недостаточной физико-химической стабильностью, гигроскопичностью и полиморфизмом. При атмосферном давлении аммиачная селитра имеет пять полиморфных модификаций. При переходе изменяется форма кристаллов, их размер и плотность вещества. Модификация IV устойчива до температуры 32,3<sup>0</sup>C и характерна для неслеживающегося продукта. При последующем ее росте ромбические кристаллы за счет увеличения в объеме разрушаются. В присутствии влаги они быстро увлажняются, а затем твердеют, превращаясь в труднорастворимый монолит. Модификации V, IV, II, I сходны по своей структуре и превращение при попеременном нагреве и охлаждении между ними, вероятно, протекают по механизму порядок - беспорядок. Наоборот, при переходе с IV ↔ III структура изменяется, по-видимому, по механизму растворения и рекристаллизации. Известно, что в сухом нитрате аммония превращения происходят между модификациями V, IV, II, I и сухая аммиачная селитра не слеживается. Превращения с IV ↔ III наблюдаются только в присутствии влаги или во влажной атмосфере. При влажности 0,05 – 0,10% превращение IV → II, и II → IV происходит при температуре 51<sup>0</sup>C [1].

Как показала практика, добавки, вводимые для снижения слеживаемости, являются эффективными только при соблюдении определенных требований хранения и в течение не более 6 месяцев. Например, добавка, связывающая воду и применяемая почти во всех основных марках аммиачной селитры, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> оказывает положительное действие только при малом содержании влаги до 0,3%, иначе нитрат аммония с такой добавкой имеет повышенную увлажняемость за счет снижения гигроскопической точки и, как следствие, полиморфный переход произойдет при более низкой температуре [2]. Поэтому необходим новый подход, который бы позволил увеличить стабильность нитрата аммония при хранении. Одним из решений данной задачи может быть снижение влажности нитрата аммония менее 0,1%.

Наиболее эффективным способом достижения такого содержания влаги является термо-вакуум-импульсная сушка (ТВИС) [3, 4], которая в отличие от остальных видов сушки изменяет все четыре термодинамических параметра (давления, температуры, объема и времени) за счет перевода технологического процесса в нестационарный и неравновесный режим из поверхностного в объемный, при сохранении большой интенсивности [5].

Экспериментальный стенд (рисунок 1) состоит из экспериментального реактора, теплогенератора, вакуумного насоса, ресивера, запорно-регулирующих и отсечных клапанов, теплообменников-конденсаторов, дефлегматоров, сетчатых контейнеров для изучаемого материала различного объема.



**Рис. 1 – Схема лабораторной термо-вакуум-импульсной установки**

Система управления построена на базе двух программируемых восьмиканальных микропроцессоров ОВЕН ТРМ 138. Установка оснащена датчиками температур (хромель-копелевые термопары ДТПЛ011-0.5/1.5), манометрами. В процессе эксперимента измеряются следующие показания: температуры исследуемого объекта в трех места, среды в камере, теплоносителя на входе и на выходе из камеры, охлаждающей воды на входе и на выходе из теплообменника-конденсатора, измерение избыточного давления в камере во время конвективного нагрева, глубина вакуума в ресивере и в камере во время вакуумирования.

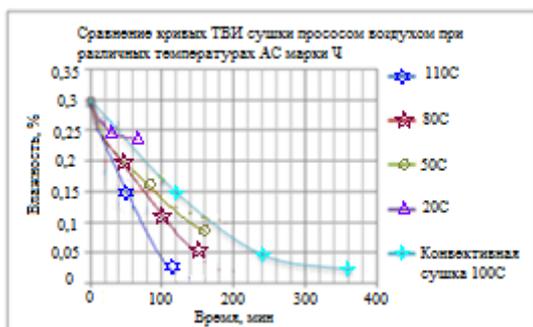
Экспериментальный стенд позволяет имитировать широкий круг реальных процессов сушки и пропитки кристаллических и капилляропористых материалов, исследовать кинетику сушки и пропитки при различных технологических условиях (температурах, соотношениях объемов камеры и ресивера, глубины вакуума, длительности воздействия нагрева и вакуумирования и т.д.). Модульная конструкция экспериментального стенда позволяет осуществлять быструю смену камер, запорного оборудования и контрольно-измерительных приборов. Изучение технологических ТВИ - процессов на экспериментальном стенде дает возможность получить закономерности позволяющие корректировать производственно-технологические режимы сушки материалов в реальных установках промышленного производства.

Цель данной работы заключается в исследовании ТВИС аммиачной селитры марок Ч и Б в сравнении с конвекционной сушкой.

ТВИ сушка прососом горячим теплоносителем аммиачной селитры марки Ч и Б изучалась при температурах 110<sup>0</sup>С, 80<sup>0</sup>С, 50<sup>0</sup>С, 20<sup>0</sup>С.

Предварительно просеянная аммиачная селитра помещалась в контейнере в ТВИС установку. Нагревалась до требуемой температуры и сушилась импульсным прососом горячим теплоносителем через толщу нитрата аммония с помощью вакуумного насоса в течение трёх минут. После этого вакуумная линия отключалась и цикл повторялся. Для каждой температуры проводилось пять циклов сушки.

На рисунке 2 показаны результаты ТВИ сушки прососом горячим теплоносителем при различных температурах и конвективной сушки аммиачной селитры марки Ч.

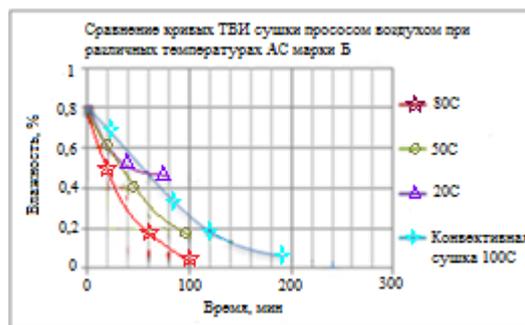


**Рис. 2 – ТВИ сушка аммиачной селитры марки Ч прососом горячего теплоносителя при различных температурах**

Из графика 2 следует, что при увеличении температуры сушки прососом горячим теплоносителем происходит большее удаление влаги и средняя скорость удаления влаги больше 0,0051%/мин при 110<sup>0</sup>С, 0,0047%/мин при 80<sup>0</sup>С, 0,0032%/мин при 50<sup>0</sup>С, 0,0027%/мин при 20<sup>0</sup>С. Средняя скорость влагоудаления при конвективной сушки аммиачной селитры марки Ч составляет 0,003%/мин.

С уменьшением температуры ТВИС происходит уменьшение скорости влагоудаления и после удаления свободносвязанной влаги скорость влагоудаления ТВИС при 20<sup>0</sup>С становятся меньше скорости при конвективной сушки, а при 50<sup>0</sup>С почти сравнивается с ней.

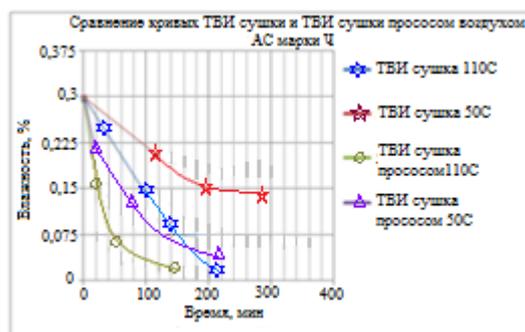
Сходный характер имеет влияние температуры на ТВИС АС марки Б прососом горячим воздухом (рис. 3).



**Рис. 3 - Сравнение кривых различных видов сушки нитрата аммония марки Б**

Сушка АС марок Ч и Б методом ТВИС при температуре теплоносителя 100<sup>0</sup>С эффективнее конвекционной сушки при этой же температуре почти в четыре раза, а при 50<sup>0</sup>С в два раза.

На рисунке 4 приведены данные сравнения ТВИ сушки и ТВИ сушки прососом горячим теплоносителем АС марки Ч. Процесс ТВИ сушки отличался от ТВИ сушки прососом горячего теплоносителя тем, что после нагрева до заданной температуры подача теплоносителя перекрывалась и производился импульсный набор вакуума.



**Рис. 4 - Сравнение кривых ТВИ сушки и ТВИ прососа АС марки Ч**

Из рисунка 4 можно сделать выводы, что сушка АС марки Ч, проходит быстрее и эффективнее при ТВИ сушке прососом горячим воздухом 50<sup>0</sup>С и 100<sup>0</sup>С, чем при ТВИ сушке с аналогичными температурами.

### Литература

1. Ф.П. Мадякин. Компоненты и продукты сгорания пиротехнических составов. Т.1. Основные понятия о пиротехнических составах и компонентах. Низкомолекулярные вещества: учеб. Пособие. Казань, 2006. 500 с.

2. Технология аммиачной селитры/под редакцией В.М. Олевского. Химия. Москва. 1978. 305 с.
3. Я.К.Абрамов. Конверсия в машиностроении. 5, 28-30, (2002).
4. Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, А.Р. Шайхутдинова. Вестник Казанского технологического университета, 6, 93-100, (2011).
5. В.Я. Базотов, Т.И. Калинин, А.Е. Никифоров, Я.К. Абрамов, В.Ф. Мадякин. Вестник Казанского технологического университета, 7, 339-346, (2010).

---

© **С. Ю. Игнатьева** – асп. каф. ТТХВ КНИТУ; **В. Я. Базотов** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ТТХВ КНИТУ; **В. Ф. Мадякин** – доцент той же кафедры, [madyakin\\_vf@mail.ru](mailto:madyakin_vf@mail.ru).