

## СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В СУШИЛЬНОЙ БАШНЕ

© 2011 М.Ю. Сарилов<sup>1</sup> А.А. Ковбасюк<sup>1</sup>, Г. В. Оглоблин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

<sup>2</sup> Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет

Поступила в редакцию 02.03.2011

В статье рассмотрен способ проведения процесса сушки с использованием явления резонанса. Раскрыто влияние резонанса на процесс сушки. Показана зависимость резонансной частоты от конструктивных параметров сушилки. Описаны преимущества глобализации резонанса от форсунок до рабочей камеры в целом.

Ключевые слова: *сушка, распылительная сушилка, сушильный агент, резонанс, возбуждающий столб, рабочая камера*

В современной химической и нефтеперерабатывающей промышленности важную роль играет процесс сушки. Сушка – процесс удаления влаги из твердого материала путем её испарения и отвода образовавшихся паров. Сушка распылением обуславливается тремя основными процессами: распылением раствора, смешением газа и частиц раствора, тепло- и массообменом между ними. Кроме того, сушка распылением непосредственно связана с выделением сухих частиц из потока газов. Совокупность этих процессов определяет эффективность и технико-экономические показатели распылительных сушильных установок.

В настоящее время существует множество различных типов сушилок, выбор типа которых существенно зависит от характеристик высушиваемого материала (агрегатного состояния, допустимой температуры нагрева, склонности к адгезии и др.), а также от особенностей проведения самого процесса. Распылительные сушилки предназначены для сушки растворов и суспензий с получением готового продукта в виде гранул или порошков. Аппараты обеспечивают интенсивное удаление влаги из материала при кратковременном процессе, поэтому их можно применять для сушки термочувствительных продуктов биологического или органического синтеза

с большой начальной влажностью. В этих аппаратах осуществляется тонкое распыление материала, благодаря чему достигается значительная площадь поверхности испарения, процесс высушивания завершается чрезвычайно быстро. Вследствие этого даже при высокой температуре сушильного агента температура поверхности материала сравнительно невысока. Из-за кратковременности процесса и мягких условий сушки свойства материала не изменяются.

В настоящее время в процесс сушки внедряется явление резонанса благодаря использованию акустических форсунок, что увеличивает производительность аппарата. Однако это решение по применению резонанса является локальным. Для того, чтобы повысить производительность сушильной башни и произвести интенсификацию процесса сушки, необходимо произвести настойку системы сушки на резонанс, который охватит всю рабочую камеру сушилки.

На рис. 1 представлена сушильная башня, состоящая из корпуса 2, в котором расположено распылительное устройство для подачи высушиваемого раствора или суспензии, распыляющегося под действием давления нагнетательного насоса, нагретый теплоноситель подается в рабочую камеру по патрубку 1 через решетку 5 по всему сечению аппарата. При прямоточном движении раствора и теплоносителя происходит испарение влаги, гранулы материала оседают в нижней части конической камеры и удаляются через нижний патрубок 3. Отработанный теплоноситель удаляется через отверстия 7 в перфорированной части

*Сарилов Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и аппараты химических производств». E-mail: sarilov@knastu.ru*

*Ковбасюк Арнольд Артурович, студент. E-mail: arni555@bk.ru*

*Оглоблин Гарри Васильевич, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Теория и методика технологического образования»*

цилиндрического корпуса, и выводится из аппарата по патрубку 4. Рабочей камерой распылительной сушилки является башня, в которой раствор определенной вязкости диспергирует на мелкие капли. Последние взаимодействуют с сушильным агентом, в качестве которого зачастую используются дымовые газы высокой температуры, и в короткое время высыхают.

Настройка системы для глобализации резонанса должна проводиться таким образом, чтобы индуктивное акустическое сопротивление системы  $X_{L_{AK}}$  было равно емкостному акустическому сопротивлению системы сушки  $X_{C_{AK}}$ , то есть  $X_{L_{AK}} = X_{C_{AK}}$ .

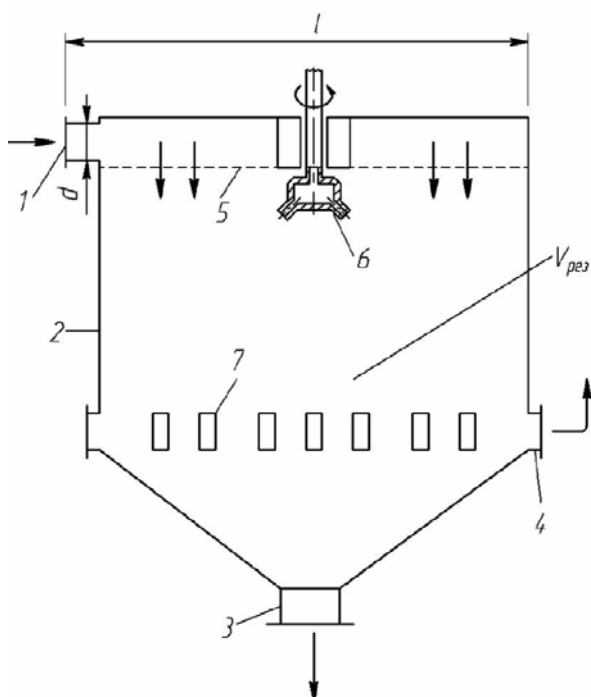


Рис. 1. Сушильная башня

Таким образом, должно выполняться условие:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

где  $\omega$  – циклическая частота колебаний системы,  $L$  – акустическая индуктивность системы,  $C$  – акустическая емкость системы. Акустическая индуктивность системы  $L$  находится по формуле:

$$L = \frac{\rho l}{\pi d^2} \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность среды в рабочей камере сушильной башни,  $l$  – длина возбуждающего столба,  $d$  – диаметр возбуждающего столба.

Акустическая емкость системы  $C$  находится по формуле:

$$C = \frac{V_{рез}}{\rho U^2} \quad (3)$$

где  $V_{рез}$  – объем рабочей резонаторной камеры,  $U$  – скорость звука в данной среде. Необходимо заметить, что данная величина зависит от свойств высушиваемого материала и сушильного агента, а также от температуры в рабочей камере.

Преобразуя выражение (1), получим  $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$ . Воспользуясь выражениями (2) и (3), имеем:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{\frac{\rho l}{\pi d^2} \cdot \frac{V_{рез}}{\rho U^2}}} = U \sqrt{\frac{\pi d^2}{l V_{рез}}}$$

Получим выражение для резонансной частоты  $f$ , помня, что  $\omega = 2\pi f$ :

$$f = \frac{U}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi d^2}{l V_{рез}}} \quad (4)$$

Скорость звука в рабочей камере  $U$  достаточно просто найти, пользуясь известными выражениями физики, а объем рабочей резонаторной камеры сушилки  $V_{рез}$  – пользуясь выражениями геометрии. Здесь нужно учесть тот факт, что резонанс охватывает часть рабочей камеры до перфорированных отверстий. Благодаря исследованиям Френделенбурга стало возможным получить выражения (2) и (3). Задача вывода выражения (4) состояла в том, чтобы показать, что представляется возможным настраивать систему сушки на резонанс. Из выражения (4) видно, что резонансная частота зависит от конструктивных параметров сушильной башни, поэтому при проектировании и расчете сушилки можно подобрать её параметры таким образом, чтобы настроить аппарат на определенную резонансную частоту. Из выражения (4) также видна зависимость резонансной частоты от того, какой материал подвергается процессу осушки и какой сушильный агент используется в процессе.

При возникновении резонанса амплитуда скорости частиц в рабочей камере резко возрастает. Этот факт можно использовать следующим образом. Во-первых, снизить давление питательных насосов и компрессоров так, чтобы скорость движения частиц в рабочей

камере осталась прежней. Во-вторых, проводить процесс сушки с прежними параметрами. Но в данном случае необходимо учесть, что время пребывания частиц в рабочей камере сократится, и оно может стать меньше, чем время кристаллизации. Тогда продукты сушки будут выводиться из рабочей камеры с удаленной влагой, но в жидком состоянии, так как они не будут успевать кристаллизоваться, что в большинстве случаев нежелательно.

Процесс сушки происходит за счет передачи тепла от сушильного агента к высушиваемому материалу. При сушке неизбежно происходят тепловые потери, приводящие к снижению эффективности процесса, которые приходится компенсировать за счет увеличения количества сжигаемого топлива, потребляемой электроэнергии. Благодаря возрастанию амплитуды скорости частиц, если позволяют свойства материала, при снижении времени их пребывания в рабочей камере уменьшится время целевого процесса, а следовательно и снизятся тепловые потери при работе сушилки. В зависимости от конструктивных особенностей аппарата представляется возможным не использовать распылительный агент, что приведет к экономии энергозатрат при работе аппарата.

Следует отметить, что в резонаторных форсунках из-за повышения амплитуды скорости движения материалов могут возникать явления, приводящие к разрушению форсунки, например кавитация. Хотя резонаторные

форсунки стоят дороже, чем те, которые зачастую используются в сушильных аппаратах – механические или пневматические. При глобализации резонанса до рабочей камеры подобные явления разрушения отсутствуют, по этому проводить процесс таким образом безопасно как для форсунок, так и для самой сушильной башни. Распылительные скрубберы – аппараты, по принципу действия похожие на распылительные сушилки, поэтому их также можно настраивать на резонанс по изложенному выше методу.

**Выводы:** проведено исследование процесса сушки с использованием явления резонанса. Показано, что возможно провести глобализацию резонанса от форсунки до сушильной башни, и что этот способ проведения сушки более выгоден экономически и технологически. Получена формула для вычисления резонансной частоты, которая зависит от основных конструктивных параметров сушилки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Поникаров, И.И.* Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: Учебник. – Изд. 2-е, перераб. и доп. / И.И. Поникаров, М.Г. Гайнуллин. – М.: Альфа-М, 2006. 608 с.
2. *Рашиковская, Н.Б.* Сушка в химической промышленности. – Л.: Химия, 1977. 79 с.
3. *Тренделенбург, Ф.* Новейшие работы по акустике и электроакустике / Успехи физических наук. Т. X, вып. 5-6, 1930. С. 593-614.

## WAY OF CARRYING OUT THE DRYING PROCESS WITH THE USE OF RESONANCE PHENOMENON IN THE DRYING TOWER

© 2011 M.Yu. Sarilov<sup>1</sup>, A.A. Kovbasyuk<sup>1</sup>, G.V. Ogloblin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Komsomolsk-on-Amur State Technical University

<sup>2</sup> Amur Humanitarian-Pedagogical State University

In article the way of carrying out the drying process with the use of resonance phenomenon is considered. Resonance influence on drying process is opened. Dependence of resonant frequency on dryer construction data is shown. Advantages of resonance globalization from injector to the working chamber as a whole are described.

Key words: *drying, spray dryer, drying agent, resonance, exciting column, working chamber*

*Mikhail Sarilov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the "Machines and Devices for Chemical Industry" Department. E-mail: sarilov@knastu.ru*

*Arnold Kovbasyuk, Student. E-mail: arni555@bk.ru*

*Garry Ogloblin, Candidate of Pedagogy, Associate Professor at the "Theory and Methods of Technological Education" Department*