

УДК 66.047.134

Л.С. Атрощенко

Атрощенко Леонид Степанович родился в 1937 г., окончил в 1961 г. Днепропетровский государственный университет, кандидат технических наук. Область научных интересов – стекольное производство, глубокий и низкий холод, влияние силовых полей на технологические процессы, аэро- и гидромеханика, магнитная гидромеханика, теория и практика тепло- и массообмена, химическая кинетика и технология и др.



СУШКА ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ КОНВЕКТИВНЫХ КАМЕР

Предложенный метод электронной сушки паровоздушной смеси конвективных камер позволяет оптимально решить задачу снижения энергоемкости процесса; упрощается как конструкция, так и регулирование процесса сушки, что обеспечивает его независимость от сезонности и погодных условий.

Ключевые слова: конвективная сушка, энергоемкость, электрический заряд, ионы, пересыщение, поверхностное натяжение, теплота фазового перехода.

Многие технологические процессы испытывают потребность в сухих газах и воздухе. В качестве примера можно привести необходимость сушки воздуха перед его разделением на составляющие компоненты: кислород, азот, аргон, криптон и др. [10, 16].

Настоящая работа посвящена вопросу сушки паровоздушной смеси конвективных камер в целях повышения скорости сушки древесины. При повторном использовании осушенной паровоздушной смеси не происходит ее охлаждения, что приводит к снижению энергетических затрат при конвективной сушке древесины, получившей в последнее время широкое распространение.

Рассмотрим основные недостатки конвективной сушки.

1. Значительная разница температур по объему сушильной камеры вызывает возникновение деформаций и трещинообразование всех видов высушиваемой древесины.

2. Необходимость периодического выброса в атмосферу избытков паровоздушной смеси, что приводит к потере теплоты и увеличению энергоемкости процесса.

3. Сложность регулирования процесса сушки, высокая насыщенность вспомогательным оборудованием.

4. Неполное использование при конструировании сушильных аппаратов достижений в области аэродинамики конвективных потоков, тепло- и массопереноса как в них, так и в древесине.

5. Неправильное пакетирование материала (с учетом толщины, длины и породы древесины), предназначенного для сушки, что нарушает аэродинамику обтекания поверхности древесины, а следовательно, и теплото- и массопереноса в пакете.

Снижению энергоемкости процесса сушки способствует исключение периодических выбросов в атмосферу паровоздушной смеси. Это связано с тем, что с увеличением влажности воздуха в сушильной камере скорость сушки снижается вследствие уменьшения разности между равновесной влажностью пара над поверхностью древесины и влажностью паровоздушной смеси в камере. Периодические выбросы паровоздушной смеси из сушильной камеры в атмосферу можно исключить, если подвергнуть смесь сушке (снижается парциальное давление пара) с последующим возвратом ее в сушильную камеру. В этом случае в камеру поступал бы воздух с фиксированной влажностью или абсолютно сухой. При этом регулирование процесса сушки упрощается, а также достигается максимальная его скорость и независимость от сезонности и погодных условий.

Проанализировав существующие методы сушки паровоздушных и парогазовых смесей известными способами (снижение их температуры, разбавление смесями с пониженной влажностью или температурой, использование адсорбентов), автор пришел к выводу, что последние не приемлемы вследствие их энергоемкости, сложности оборудования и высокой стоимости. Кроме перечисленных методов сушки паровоздушных смесей, можно использовать процессы, происходящие в атмосфере [1, 13]. Воздушная атмосфера содержит центры конденсации: механические частицы; заряженные частицы космического (α , β) и жесткого (γ) излучения, которое ионизирует молекулы содержащихся в воздухе веществ и комплексы, состоящие из молекул воды, и др.

Физика процесса заключается в присоединении молекул воды, обладающих дипольными моментами, к заряженным центрам конденсации, в результате чего образуются капли воды. Возникновению центров конденсации способствует электризация потоков воздуха, движущихся с различными скоростями. Комплексы молекул воды получают вследствие смещения в них зарядов, что приводит к электростатическому притягиванию и удержанию разноименно заряженных частиц [3]. При начальном заполнении сушильной камеры содержит центры конденсации природного происхождения, но, с одной стороны, их явно недостаточно для достижения необходимой степени сушки, с другой – их количество будет уменьшаться вследствие взаимной нейтрализации при столкновениях капель и образовании растворов из-за попадания ионов противоположных знаков в образующуюся жидкость [1, 13]. Также частично происходит утечка зарядов через конструктивные элементы сушильной камеры и емкость сборника воды, т.е. необходимо постоянно пополнять центрами конденсации поступающую в сушильную камеру паровоздушную смесь. В этом случае единственным вариантом является искусственное образование центров конденсации.

Автором предложен способ электронной сушки паровоздушных (газовых) смесей, который заключается в продуцировании электронов с использованием явления холодной эмиссии на остриях [5, 7, 9, 12, 15, 17].

Основой этого способа служат известные физические явления. Остановимся на некоторых из них. Известно, что капли паровоздушной смеси

образуются на центрах конденсации, а их рост происходит вследствие дополнительного присоединения молекул воды или столкновения образовавшихся капель. Последними являются включения, содержащиеся в атмосфере, а также заряженные частицы космического и земного происхождения, образующие ионы и электроны. В процессе сушки (после одной или двух замкнутых циркуляций паровоздушной смеси) остаются только ионы кислорода и электроны (при продуцировании последних в сушильной камере). Для сушки паровоздушных смесей предпочтительно использовать отрицательные ионы вследствие того, что образование капель на них происходит при более низкой концентрации паров в паровоздушной смеси. Так, образование капель для отрицательных ионов наблюдается при степени пересыщения $S = 4,2$, а для положительных – при $S = 6,0$ [1, 4, 8, 13]. Молекула воды обладает дипольным моментом из-за смещения центров зарядов, поэтому за счет электростатических сил присоединяется к отрицательному иону кислорода O_2^- . Периферия первого слоя молекул воды будет заряжена отрицательно, вследствие этого вокруг него будет формироваться следующий слой молекул, образуя комплексы и, в конечном итоге, капли воды [6].

Физика получения отрицательных ионов следующая. При приложении отрицательного потенциала к остриям они начинают продуцировать электроны, которые на расстоянии не более 3 мм присоединяются к атомам кислорода, являющимся центрами конденсации, как и свободные электроны [1, 10, 16]. Образующиеся капли под действием электростатических сил и силы тяжести движутся к накопителю воды. В процессе движения происходит частичное укрупнение комплексов вследствие разного знака заряда внешнего слоя молекул воды. В дальнейшем образуются капли воды, которые укрупняются в результате их взаимного столкновения. Попадая в накопитель, капли превращаются в единую массу. Следует отметить, что образовавшаяся вода будет иметь более высокую температуру, чем осушенный воздух. Последнее обстоятельство обусловлено тем, что энергия поверхностного натяжения капель при их объединении уменьшается, а выделившаяся энергия идет на нагревание массы жидкости.

Пересыщение пара над образующейся каплей определяется следующим соотношением [1, 11]:

$$\ln S = \ln(p_r/P_\infty(T)) = M(2\sigma/r - e^2/8\pi r^4)/RTp, \quad (1)$$

где S – степень пересыщения пара, соответствующая равновесному давлению насыщенного пара над каплей;

p_r – давление пара над каплей, Н/м²;

P_∞ – давление пара над плоской поверхностью;

T – температура, К;

M – масса одного моля жидкости, кг·моль;

σ – поверхностное натяжение капли, $\sigma = 0,77$ Дж/м²;

r – радиус капли, м;

e – электрический заряд электрона, $e = 1,602 \cdot 10^{11}$ К [1, 13];

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \cdot 10^3$ Дж/(кг·моль·град);

ρ – плотность жидкости капли, кг/м^3 .

Если $2\sigma/r = e^2/8\pi r^4$, то $S = 1$, что соответствует давлению пересыщенного пара над плоской поверхностью $P_\infty(T)$. Подставляя численные значения величин, входящих в формулу (1), имеем $r^3 = 3,18 \cdot 10^{-28}$ м.

При $2\sigma/r > e^2/8\pi r^4$ насыщенность пара над каплей будет больше, чем над плоской поверхностью воды, а при $2\sigma/r < e^2/8\pi r^4$ – наоборот. Это обстоятельство обусловлено значительным влиянием электростатических или магнитных сил на силы поверхностного натяжения системы «жидкость–пар», а следовательно, на равновесное давление пара над жидкостью независимо от формы поверхности [5, 9, 15].

Подставляя в формулу (1) численные значения входящих величин для температуры 293 °С, получаем

$$\ln S = 5,94 \cdot 10^{-8}/r - 1,89 \cdot 10^{-35}r^4. \quad (2)$$

При анализе (2) установлено, что значение второго члена лежит в интервале 1,000 ... 0,411.

Для туманов радиус капель $1,0 \cdot 10^{-6}$ м $> r > 5,2 \cdot 10^{-8}$ м [10, 16].

Так, для $r = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м степень пересыщения $S = 1,001$, а давление насыщенного пара $P = 2,33 \cdot 10^3$ Н/м²; для $r = 5,2 \cdot 10^{-10}$ м – соответственно $p_r = 1,9 \cdot 10^4$ Н/м² [2, 5, 13, 16].

Предложено получать отрицательные ионы с использованием переменного тока без его выпрямления. Это позволяет повысить коэффициент полезного действия сушильной камеры. Управление такой системой (регулирование производительностью ионов – центров конденсации) несложно.

Из вышеизложенного вытекает идеология конструкции аппаратов ионной сушки влажного воздуха.

Из сушильной камеры паровоздушная смесь должна поступить в камеру сушки, имеющую источник отрицательных ионов. В ней пар превращается в капли воды, которые поступают в накопитель влаги. Превращение пара в капельки воды происходит в промежутке между электродами. Число зародышей (центров конденсации) N , образующих капли воды при эмиссии электронов, определяют как отношение тока I к заряду электрона e :

$$N = I / e.$$

Температура воды повышается за счет уменьшения поверхностной энергии образовавшейся массы воды. При температуре 100 °С выделяется теплота Q , равная теплоте фазового перехода 2263,0 кДж/кг, а при 60 °С – $Q = 2609,5$ кДж/кг [2, 5, 13]. Дополнительное повышение температуры воды будет происходить вследствие уменьшения поверхностной энергии капель. Горячую воду используют по усмотрению производителя, сухой воздух возвращают в камеру сушки древесины. Циркуляцию паровоздушной смеси в системе «сушильная камера древесины – камера сушки смеси» осуществляют непрерывно при помощи вентилятора. Камера сушки воздуха может быть адаптирована к любой из существующих сушильных камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Амелин, А.Г.* Теоретические основы образования тумана при конденсации пара [Текст] / А.Г. Амелин. – М.: Химия. – 1966.
2. А. с. № 1112195. [Текст] / А.С. Атрощенко // Б.И. – 1984. – № 33.
3. *Атрощенко, А.С.* Экспериментальные исследования ионного возбуждения воздуха [Текст] / А.С. Атрощенко // Промышленная энергетика. – 1985. – № 3.
4. *Атрощенко, Л.С.* Условия зарождения и работа образования газового пузыря в однородном магнитном поле [Текст] / А.С. Атрощенко // Магнитная гидромеханика. – 1971. – № 2.
5. *Атрощенко, Л.С.* Поверхностное натяжение плоского слоя, находящегося в однородном магнитном поле [Текст] / А.С. Атрощенко // Магнитная гидромеханика. – 1971. – № 2.
6. *Варгафтик, Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик. – М.: Изд-во физико-математ. лит-ры, 1972.
7. *Грановский, В.Л.* Электрический ток в газе. Т. 1 [Текст] / В.Л. Грановский. – М.; Л.: Гостехиздат, 1952. – 625 с.
8. *Дерпгольц, В.Ф.* Мир воды [Текст] / В.Ф. Дерпгольц. – Л.: Недра, 1979. – 255 с.
9. *Добрецов, Л.Н.* Эмиссионная электроника [Текст] / Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. – М.: Наука, 1966. – 564 с.
10. *Касаткин, А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1971. – 784 с.
11. *Кутателадзе, С.С.* Справочник по теплопередаче [Текст] / С.С. Кутателадзе. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959.
12. *Леб, Л.Б.* Статистическая электризация [Текст] / Л.Б. Леб. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 408 с.
13. *Мейсон, Б. Дж.* Физика облаков [Текст] / Б.Дж. Мейсон. – Л.: Гидрометеоздат, 1961.
14. *Оно, С.* Молекулярная теория поверхностного натяжения в жидкостях [Текст] / С. Оно, С. Кондо. – М.: Иностран. лит-ра, 1963.
15. *Скорчеллетти.* Теоретическая электрохимия [Текст] / Скорчеллетти. – Л.: Госнаучтехиздат, 1963. – 608 с.
16. Справочник по теплоснабжению и вентиляции [Текст]. – К.: Будівельник, 1968. – 287 с.
17. *Чижевский, А.Г.* Аэрификация в народном хозяйстве [Текст] / А.Г. Чижевский. – М.: Госпланиздат, 1960. – 735 с.

6*

Поступила 17.01.07

*L.S. Atroshchenko***Drying of Steam-air Mixture of Convective Chambers**

The proposed method of electronic drying of steam-and-air mixture in convective chambers allows optimally solving the task of reducing the process energy capacity. Both the design and drying process regulation are simplified thus ensuring independence on seasonal and weather conditions.

