

УДК 663.434

Профессор А.М. Гавриленков,
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра инженерной экологии и техногенной безопасности, тел. (473) 249-60-24

ассистент А.Б. Емельянов,
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра начертательной геометрии и инженерной графики, тел. (473) 253-10-76

студент А.В. Шаров
(Воронеж. гос. ун-т инж. технол.) кафедра машин и аппаратов пищевых производств, тел. (473) 255-38-96

Экологические аспекты интенсификации конвективной сушки

Выявлена и проанализирована взаимосвязь интенсивности конвективной сушки и загрязнения атмосферы выбросами теплоты. Рассмотрены пути снижения теплового загрязнения атмосферы при конвективной сушке.

Identified and analyzed the relationship of the intensity convective drying and air pollution emissions of heat. The ways to reduce the thermal pollution of the atmosphere at convective drying.

Ключевые слова: сушка, интенсивность, выбросы, теплота, загрязнение, атмосфера, утилизация.

Общеизвестны негативные последствия глобального изменения климата, основной причиной которого считается парниковый эффект.

Производство и потребление энергии характеризуются не только тепловыми выбросами в атмосферу, но и ее загрязнением продуктами сгорания топлива, так как в настоящее время основным способом получения энергии является сжигание ископаемого топлива. При этом возникает вторичный негативный экологический эффект – загрязнение окружающей среды в процессе его добычи. Учитывая важность этой проблемы, ее решению в настоящее время уделяется большое внимание [1].

Расходование энергоресурсов имеет существенное экономическое значение в промышленном и сельскохозяйственном производстве, так как стабильно происходит рост цен на энергоносители.

Повышение эффективности производства во многих случаях требует интенсификации технологических процессов. Одним из них является конвективная сушка. Она широко используется в различных отраслях промышленности и АПК.

Интенсивность конвективной сушки определяем по соотношению [2]:

$$\alpha(t_c - t_n) = rj_n + c\rho_0 R_v dt/d\tau,$$

где α – коэффициент теплообмена; t_c , t_n – температура сушильного агента и поверхности материала соответственно; r – удельная теплота парообразования; j_n – интенсивность сушки, c – удельная теплоемкость материала; ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала; R_v – отношение объема абсолютно сухого материала к поверхности влажного тела, $dt/d\tau$ – скорость изменения средней температуры тела.

Чтобы увеличить интенсивность сушки необходимо повысить теплообмен тела с окружающей средой. При этом возможны два пути: первый за счет увеличения α , второй за счет увеличения t_c . Известно, что α возрастает с ростом скорости движения газа, при этом увеличивается аэродинамическое сопротивление слоя материала. Его рост при прочих равных условиях ведет к увеличению расхода электроэнергии на движение теплоносителя

$$N = \frac{\Delta p \cdot V \cdot K_3}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot 10^{-3},$$

где Δp – гидравлическое сопротивление слоя материала, Па; V – расход отработанного воздуха, м³/с; K_3 – коэффициент запаса; η_1 , η_2 – КПД нагнетателя и его привода (в долях единицы).

Увеличение скорости воздуха при прочих равных условиях ведет к росту количества подводимой теплоты Q :

$$Q = VFc_v t_c$$

где V – скорость движения воздуха; F – сечение потока продуваемого воздуха, c_v – удельная объемная теплоемкость воздуха.

Сопоставление количества подводимой и передаваемой к материалу теплоты показывает, что увеличение j_n неизбежно ведет к росту разницы между ними, t_c – к росту количества неиспользованной теплоты. Это вызывает рост общих энергозатрат на сушку и, следовательно, рост теплового загрязнения атмосферы.

Действительно, как показывает известная формула П. Д. Лебедева, α растет медленнее, чем скорость воздуха. Кроме того, в соответствии со II законом термодинамики для передачи теплоты от воздуха к материалу необходимо $t_c - t_n > 0$. При этом рост t_c , определяющей конечную температуру нагрева материала, ограничен как его свойствами, так и возможностями получения нагретого сушильного агента (например, температурой теплоносителя в калорифере).

Поэтому интенсификация конвективной сушки должна сопровождаться разработкой мероприятий по повышению эффективности использования теплоты, как, например, О.Л. Данилов [3] отмечает, что значение α может быть существенно увеличено при пульсации воздушного потока.

Очевидно, что разработка мероприятий должна проводиться на системной основе и включать весь комплекс факторов, характеризующих проведение сушки [4-9]. Этот подход показан на рисунке на примере сушки пивоваренного солода [9].

Проанализируем энергозатраты на конвективную сушку.

В теоретической сушилке, рабочий процесс которой происходит по изохорам, вся теплота, затрачиваемая на нагрев агента сушки, уносится из установки отработавшим воздухом. В реальных сушилках эта величина меньше. Для солодосушилок она составляет около 88 %. Энтальпия отработавшего агента сушки при этом составляет по различным данным от 70-80 до 86 кДж/кг [5-8].

Таким образом, очевидна практическая целесообразность использования теплоты отработавшего воздуха.

Однако решение этой задачи осложняется рядом обстоятельств. Прежде всего, это сравнительно низкая температура вторичного энергоносителя.



Рисунок. Средства повышения интенсивности конвективной сушки

Вторым осложняющим обстоятельством является то, что основная часть теплоты отработанного воздуха приходится на водяные пары и, в частности, на теплоту фазового перехода. Поэтому для ее эффективной утилизации необходимо охлаждение ниже точки росы. Это выдвигает дополнительные требования к условиям проведения процесса и к конструкциям используемых теплообменников [1, 8, 9].

Кроме того, нестабильность температуры потока отработанного воздуха создает дополнительные трудности при его охлаждении и управлении процессом.

Необходимо также учитывать, что охлаждаемый поток загрязнен пылью органического происхождения.

Рассмотрим и проанализируем возможные способы утилизации теплоты отработанного воздуха сушилок с высоким слоем солода с целью выбора наиболее рациональных вариантов проведения процесса и аппаратуры для его реализации (учитывая присущие им специфические особенности).

Теплота отработанного воздуха конвективных сушилок может быть использована:

- вне основного производства;
- в основном производстве – на сушку;

для подогрева свежего воздуха с помощью теплообменных устройств (смешения, регенеративных, рекуперативных), тепловых насосов;

- непосредственно в сушильных установках (с рециркуляцией отработанного воздуха; агрегатированных по зонам сушки).

В настоящее время наибольшее распространение получило использование утилизаторов теплоты отработанного воздуха. Ими могут быть трубчатые и пластинчатые теплообменники. Однако они обладают рядом недостатков: относительно большими габаритами и стоимостью, обмерзанием зимой, так как на входных участках теплообменников влажный отработанный воздух охлаждается до температуры более низкой, чем температура росы, а конденсирующаяся влага переходит в лед.

В связи с этим в качестве теплообменных устройств целесообразно использовать теплообменники с распыленным жидким промежуточным теплоносителем, например, водой. При этом достигается дополнительный экономический эффект – отработанный воздух очищается от пыли.

При использовании теплоутилизаторов разработка режимов сушки и утилизации теплоты должна проводиться совместно для системы сушилка-теплоутилизатор.

В качестве эффективности ее работы может использоваться предложенный нами энергокинетический критерий, представляющий собой отношение энергозатрат к скорости сушки

$$\dot{A} = q / \frac{dw}{d\tau},$$

где q – удельные текущие энергозатраты на сушку единицы количества высушиваемого материала, $dw/d\tau$ – скорость сушки.

При этом учитывается как интенсивность процесса (через скорость сушки), так и удельные энергозатраты на ее достижение. Учитывая сложность происходящих при сушке процессов, представляется целесообразным определение величины A на основе экспериментальных данных.

Чем меньше величина A , тем эффективнее использование теплоты и меньше ущерба окружающей среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия России до 2020 г. Федеральная целевая программа. -М. 2001.
2. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. - 472 с.
3. Данилов, О.Л. Экономия энергии при тепловой сушке [Текст] / О.Л. Данилов, Б.И. Леончик. -М: Энегроатомиздат, 1986. - 136 с.
4. Данилов, О. Л. Нетрадиционный метод энергосбережения в сушильных установках [Текст] / О. Л. Данилов // Современные энергосберегающие тепловые технологии: 1-я Международная конференция (СЭТТ-2002). - 2002. - Т.4 –С. 116-123.
5. Шевцов, А.А. Развитие научных основ энергосбережения в процессах сушки пищевого растительного сырья: теория, техника, способы производства и управления. Дис., д.т.н. - Воронеж, 1999. - 496 с.
6. Мениутина, Н.В. Разработка и интенсификация технологий сушки синтетического каучука на основе математического моделирования. Дис. д.т.н. -Москва, 1998. -438 с.
7. Остриков, А.Н. Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья [Текст] / А.Н. Остриков, И.Т. Кретов, А.А. Шевцов, В.Е. Добромиров. - Воронеж, 1998. - 344 с.
8. Коновальцев, С. И. Энерго- и ресурсосберегающая оптимизация неравномерного теплообмена в сушильных установках [Текст] / С. И. Коновальцев // Проблемы энергетики. - 1999. -№ 9-10. – С. 51-58.
9. Гавриленков, А.М. Развитие научных основ, создание и реализация методов и средств повышения эффективности конвективной сушки солода (в высоком слое). Дис. д. т. н.- Воронеж, 1997. – 387 с.
10. Бодров, В.И. Оптимальное проектирование энерго- и ресурсосберегающих процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / В.И. Бодров, С. И. Дворецкий, Д.С. Дворецкий // Теоретические основы химической технологии. - 1997. - № 5. -С. 546.
11. Гавриленков, А.М. Анализ современных тенденций создания и совершенствования теплоутилизаторов для солодосушилок [Текст] / А.М. Гавриленков, В.И. Кулаков, К.В. Харченко, В.А. Кулинченко // BRAUWELT. – 2003. - № 5. – С. 42-45.