

УДК 664.72

О КОНТРОЛЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБЪЕМНОЙ СРЕДЕ

Ю.А. Осокин, И.Н. Кочетков

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Статья посвящена изучению температурных процессов в объемных скоплениях твердых веществ, сыпучих материалов, теплопередаче энергии, влиянии внутренних и внешних факторов на протекающие температурные процессы

Ключевые слова: температура, нагрев, сыпучие материалы, теплопередача энергии, теплофизические процессы.

Контроль тепловых процессов в объемных скоплениях твердых веществ относится к числу актуальных проблем. Например, проблема сохранения высокого качества природных сырьевых ресурсов является не только одной из актуальнейших и в то же время наиболее сложных проблем нашего времени.

Для контроля температурных процессов, протекающих в массивных сыпучих средах, и принятия своевременных технологических операций по созданию оптимальных условий хранения и переработки требуется производить измерения с учетом многообразных критериев и в целом представляют собой достаточно сложную по форме и виртуальную по содержанию проблему.

Нагрев сыпучих материалов осуществляется теплопередачей энергии. В большинстве случаев это необходимо для удаления влаги из обрабатываемых продуктов, для чего применяются различные способы. При этом требуются определенные условия для эффективного испарения жидкости и отведения паров.

Передача тепловой энергии в сыпучем скоплении зернистых структур, определяется комплексом тепловых процессов: излучением – передачей тепла от одних тел к другим, конвективным движением волн окружающей среды, внутренней теплопроводностью внутри самого материала [1, 3].

Процесс теплопередачи, при котором происходит перенос тепловой энергии между поверхностью тела и подвижным теплоносителем принято называть конвективным теплообменом.

Этот процесс может быть естественным и принудительным. При принудительном процессе применяются, как правило, вентиляционные устройства.

Конвективный процесс, как правило, осуществляется одновременно с излучением энергии.

Если конвективные процессы определяются скоростью подвижных теплоносителей, которая очень мала, то излучение производится со скоростью движения электромагнитного поля.

В основах математического описания процессов теплопередачи применяется уравнение Ньютона:

$$dQ/dt = \alpha S (T_s - T_{cp}),$$

где, dQ – тепловой поток, Вт, α – коэффициент теплоотдачи, Вт/ (М₂К); S площадь поверхности, М²; T_s – температура поверхности, T_{cp} – температура среды.

Коэффициент теплоотдачи α определяется опытным путем. При стационарном режиме, как правило, определяется с применением критерия Нуссельта [2]:

$$Nu = c(Gr Pr)^n.$$

Величина степени n в зависимости от произведения $Gr Pr$ от 10^{-7} до 10^{-3} изменяется от 1/3 до 1/8.

Критерий Прандтля зависит от теплоемкости c , от динамического коэффициента вязкости μ , коэффициента теплопроводности газа λ , Вт/ (М₂К):

$$Pr = c \mu / \lambda.$$

Для воздушной среды:

$$Pr \approx 0,722.$$

Критерий Грасгофа зависит от критерия Галилея: $Ga = Re/Gr$, где Re и Fr критерии Рейнольдса и Фруда, а также пропорционален коэффициенту объемного расширения газов β , (где $\beta = 1/K$) и разности температур ΔT [2]:

$$Gr = Ga \beta \Delta T.$$

Эти взаимосвязанные процессы в определенной мере зависят от пространственного расположения элементов. На рисунке 1 показан простейший вариант компоновки зерна в канале с ограниченными размерами.

Конвективные процессы оказывают существенное влияние на технологические процессы сушки материалов. При этом, сушке сыпучих материалов стратегического назначения: зерно, сахар-песок и мн. др., уделяется наибольшее внимание.

Сушка бывает естественной и искусственной. Искусственная сушка применяется для продовольственного, семенного и фуражного зерна, плодов, овощей, стеблей растений и других материалов.

Однако, поверхностная часть зернового объема ΔV , подверженная конвективному процессу может составлять в производственных условиях хранения малую долю всего объема V , например, всего до $\Delta V = 4 \cdot 10^{-3} V$. Остальная часть подвержена скрытым от конвективного воздействия температурным процессам, в частности, теплопроводности и излучению.

Поэтому на практике применяется много различных способов для создания оптимальных температурных режимов и уровней влажности больших скоплений сыпучих масс [2].

При нагреве материал жидкость из его внутренних слоев, перемещаясь на поверхность продукта, подвергается испарению, после чего удаляется в виде пара наружу.

Для нагрева и сушки сыпучих материалов может осуществляться при помощи конвективного метода, при котором нагрев (например, зерна) происходит путем конвекции от подающегося газообразного агента сушки – разогретого воздуха или смеси его с продуктами сгорания топлива.

При кондуктивном способе тепло передается от нагретой контактируемой поверхности. При радиационном способе тепловые лучи исходят от нагретых поверхностей, не находящихся в контакте с сыпучим продуктом (солнечные лучи).

Электрический метод основывается на применении токов высокой частоты.

Существуют способы сушки в глубоком вакууме, а также, сублимационный способ.

При механических способах сушка осуществляется без применения тепла. При этом, применяется центрифугирование и прессование.

Существует сушка материалов в неподвижном слое – в «виброкипящем слое», в вентилируемых бункерах (с системой отвода тепла), в платформенных, лотковых и др. сушилках.

Сорбционный метод на основе смешивания сыпучего материала с поглотителем влаги.

Распространенным способом является такой, когда агент сушки, несущий тепло, проникает через неподвижный слой сыпучего продукта, приводит к нагреванию, например, зерна и удалению из него влаги.

Сушка сыпучих материалов приводит к удалению излишек влаги, при этом улучшается стойкость зерна для хранения, повышается устойчивость биологических свойств продукта. Ускоряется послеуборочное дозревание семян с повышением посевных качеств.

При внутренней теплопередаче тепловой поток распространяется от контактной поверхности к внутренним структурам материала, характеризующимся иной температурой, и от них теплопередачей к другим частям поверхности.

Известно, что теплопередача в структурах органических веществ происходит сравнительно медленно, так как теплопроводность на несколько порядков ниже, чем у материалов, применяемых в нагревательных устройствах, в частности, металлических и композиционных конструкций.

Интерес представляет процесс теплопроводности, характерной для сыпучих материалов, в частности для зерен пшеницы. В массивной сыпучей массе возникают значительные силовые контактные воздействия, что увеличивает величину контактной площади, и степень и обменных процессов теплом и влагой.

При увеличении температуры в зерновой массе существенно (в логарифмической прогрессии) возрастает уровень диффузии влаги.

Следует учитывать, что тепловое сопротивление определяется:

$$R_{тп} = \delta / \lambda = R_{пв} / \lambda$$

В проведенных экспериментах для измерения теплопередачи принимались композиционные теплоизлучатели черного цвета.

В сыпучей массе, при очень «плотной упаковке» зерна доля конвективного теплообмена в сравнении с радиационным и теплопроводным процессами практически ничтожна, так как в микромалях объемах дви-

жения газа связаны, заторможены межмолекулярными взаимодействиями.

В эксперименте, результаты которого приведены на рисунке 2, применялась группа датчиков D_1, D_3, D_5 , установленных на поверхности нагревателя, и вторая группа датчиков D_2, D_4, D_6 , установленная в контролируемой среде (в слое зерна) на расстоянии 20 мм от первой группы датчиков. В установке подогрева происходит передача тепла от более нагретых тел к менее нагретым.

При соприкосновении с устройствами нагрева возможны значительные отклонения температуры в локальной среде, так как теплофизические характеристики отдельных элементов, зерен существенно отличаются от тех, характеристик, что присущи объединенным в скопления этих элементов.

Процесс обогрева с применением нагревателей, коэффициент облученности достаточно эффективен, достигает величины 0,8 и более.

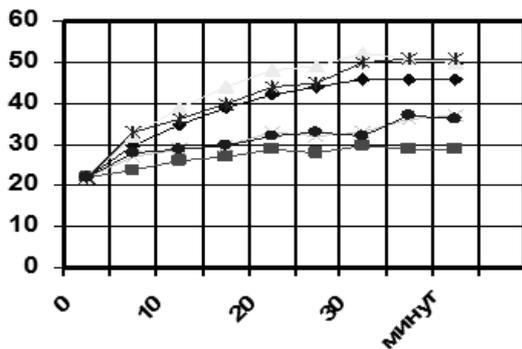


Рисунок 2 – График изменения температуры, °C в слое зерна 20 мм от времени

Выводы

Оценка процессов теплопередачи показывает, что можно существенно оптимизировать технологические и конструктивные решения, увеличить эффективность используемой тепловой энергии для процесса тепловой обработки материалов.

При малой плотности сыпучего материала площадь излучения в сыпучей многократно больше контактной площади. И т.о., следует обратить особое внимание на параметры, влияющие на увеличение коэффициента теплопередачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu.A. Osokin, M.V. Khalin, M.N. Stokov. Heat transfer in grain heating systems, based on multielectrode composite electric heaters. Universiti of the Bas1que Countri, Bilbao, Spain. 3 -5 September 2009. С.XI-1.
2. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна. М.: Агропромиздат, 1985. – 334 с.
3. Осокин Ю.А. Системы температурного контроля. Проблемы развития литейного, сварочного и кузнечно-штамповочного производства: Материалы 4-й научно-практической конференции. – Барнаул: Изд-во АГТУ, 2004. – Ползуновский вестник № 4. – С. – 264 -265.

Осокин Юрий Анатольевич – к.т.н., доцент, тел.: (3852) 619026, e-mail: Кочетков Игорь Николаевич, kochetkovigor94@yandex.ru, 923.776.37.03, Черемисин Анатолий Владимирович, 9236461442 – магистранты АлтГТУ.