

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ В РАССЕЯННОЙ СРЕДЕ

**Ю. А. Осокин**

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»,  
г. Барнаул

В статье приведены теоретические и экспериментальные исследования теплопередачи в сыпучей массе

**Ключевые слова:** тепловая передача, энергия, излучение, сыпучая среда, зерно

Многие процессы формирования тепловой энергии и теплопередачи достаточно трудно поддаются точному описанию, до конца не исследованы, имеют описания с применением вероятностных характеристик и представляют интерес, как виртуальные системы.

Передача тепла от одних тел к другим, в частности, в сыпучем скоплении зерна, определяется комплексом тепловых процессов: радиационного, конвективного и внутренней теплопроводности.

При внутренней теплопроводности тепловой поток распространяется от контактной поверхности к внутренним структурам материала, с иной температурой, и от них, далее, теплопередачей к другим частям до противоположной поверхности элемента.

Теплопередача в органических веществах происходит сравнительно медленней, чем в металлах. Теплопроводность на несколько порядков ниже, чем у материалов, применяемых в нагревательных устройствах, в частности, металлических и композиционных конструкций.

Передача энергии может происходить по одной оси (стержневые структуры), по двум и трем координатным осям.

Для сыпучих материалов наиболее реальным является процесс трехкоординатной теплопередачи через контактные поверхности. Характерная форма расположения элементов зерен пшеницы показана на рисунке 1



Рисунок 1 – Компоновка зерновой массы

Площадь каждого из контактных участков теплопередачи определяется формой и размерами элементов, составляющих сыпучую среду, величиной контактных усилий, жесткостью материалов. Известно [1], что радиус контактной площадки (радиус смятия)  $\rho$  соприкасающихся под давлением  $N$  сферических тел определяется:

$$\rho = 0,88 (N R_{np} / E_{np})^{1/3}, [M] \quad (1)$$

где  $R_{np}$  - приведенное значение радиусов контактных поверхностей, которое определяется:

$$R_{np} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2); \quad (2)$$

$E_{np}$  – приведенное значение модулей упругости первого рода (режим растяжения, сжатия):

$$E_{np} = 2 E_1 E_2 / (E_1 (1 - \mu_2^2) + E_2 (1 - \mu_1^2)); \quad (3)$$

[Па];

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ В РАССЕЯННОЙ СРЕДЕ

$\mu_1$  и  $\mu_2$  - коэффициенты Пуассона при деформациях сжатия. При однородности сыпучих элементов  $E_{пр} = E_1 = E_2$ .

Для зерна приведенное значение  $E_{пр}$  составит  $0,14 \cdot 10^9$  Па.

Свойства контактного обмена определяются межэлементными контактными напряжениями  $\sigma_k$ . Эти силовые напряжения также зависят выше рассмотренных геометрических и физических параметров элементов и усилия  $N$  в контакте.

Контактное напряжение при  $\mu = 0,3$  (твердые тела) определится по формуле Герца -Беляева [1]:

$$\sigma_k = 0,388 (N E_{пр2} / R_{пр2})^{1/3} \quad (4)$$

В случае контакта элемента сферической формы с плоской поверхностью  $R_2 = \infty$  (рисунок 1)  $R_{пр} = R_1$

Размеры и форма контактной поверхности относятся к числу факторов, определяющих величину теплового потока.

Силовые напряжения в зоне контакта снижают величину теплового барьера за счет уменьшения толщины контактной прослойки  $\delta$ .

Для малоразмерных объемах сыпучей массы контактные деформации зерен можно рассматривать в фазах упругих деформаций, с определенными изменениями размеров и формы.

Площадь напряженного контакта (с учетом выражения 1) определится:

$$S = 0,196 \pi (N R_{пр} / E_{пр})^{2/3}, [M^2] \quad (5)$$

Приведенная (к площади  $S = 1 M^2$ ) величина контактного давления для зерновой массы высотой  $H$  определится:

$$N = HGgS/n_k, \quad (6)$$

где  $G$  – вес одного  $M^3$  зерновой массы,  $G = 1530$ ; Кгс,

$G$  – ускорение свободного падения тела,  $9,81 M/c^2$

$n_k$  – количество контактных точек, воспринимающих давление. При  $n_k = 88$  на площади  $16 \text{ см}^2$  (рисунок 1) их количество на площади  $1M^2$  составит

$$n_{км} = 55 \cdot 10^3;$$

Таким образом:

$$N = 0,409 \text{ Н.}$$

При количестве контактных точек на  $n_{кз}$ , воспринимающих трехкоординатную нагрузку

в схеме  $\Phi_{343}$  (рисунок 1)  $n_{кз} = 10$  нагрузка на одну контактную точку составит:

$$N_{кз} = N / n_{кз} = 0,042 \text{ Н} \quad (7)$$

Площадь контактов:  $S_{кз} = 0,233 \text{ мм}^2$ .

Для площадей  $S$  одного зерна от 50 до 55  $\text{мм}^2$  соотношение площадей зерна  $K_{рк}$ , участвующих в тепловой передаче в форме излучения и контактов:

$$K_{рк} = (S - S_{кз}) / S_{кз} \quad (8)$$

составит до 234.

Для менее нагруженных слоев зерна величина контактной площадки уменьшается с уменьшением давления и изменяться в соответствии с выражением (4).

Величина контактно-деформационного напряжения распределяется неравномерно по контактной площади: от максимального значения  $\sigma_k$  до минимального на периферии контактной области.

Величина потока тепловой энергии зависит от ряда физико-технических параметров, в частности, коэффициент теплопередачи излучением определяется:

$$\alpha_{изл} = \epsilon_{пр} \Psi_{1,2} f(\theta_1, \theta_2), \quad (9)$$

где -  $\epsilon_{пр}$  приведенная степени черноты;  $(\theta_1, \theta_2)$  - температура поверхностей.

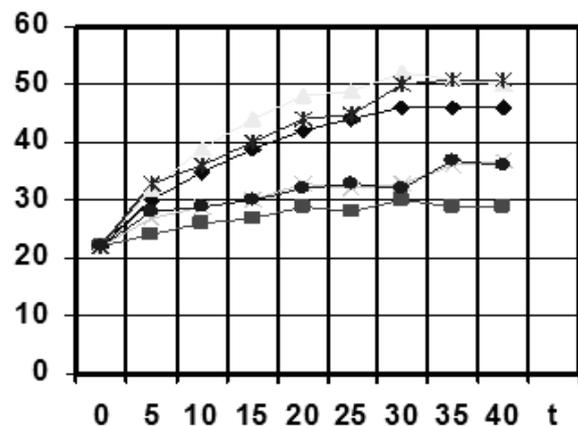


Рисунок 2 – График экспериментальных значений статического подогрева зерна (слой 20 мм) в контактно-излучательном режиме

Существенное влияние на процесс теплопередачи излучением оказывает степень облученности, характеризующая коэффициентом

ентом  $\psi_{1,2}$ . Этот коэффициент показывает, какая часть энергии, излучаемая телом 1, попадет на тело 2. На величину данного параметра влияют пространственная удаленность  $L$  и геометрические особенности. В практических расчетах коэффициент облученности определяют, как правило, таблично, с учетом размеров и форм элементов теплообмена, что трудоемко и не достаточно доступно для использования современных вычислительных устройств.

Для аппаратной обработки информации автором предложено экспериментальное выражение для определения коэффициента облученности:

$$\psi = 1 - e^{-0.33L/\delta}, \quad (10)$$

где  $L$  и  $\delta$  минимальный из размеров теплоприемника и расстояние до излучателя.

Важное значение в радиационной теплопередаче имеет приведенная степень черноты -  $\epsilon_{пр}$ . Идеальным вариантом для теплопередачи излучением являются черные теплоизлучатели. В сыпучей массе, при очень «плотной упаковке» зерна доля конвективного теплообмена в сравнении с радиационным и теплопроводным процессами практически ничтожна, так как в микромалых объемах движения газа связаны, заторможены межмолекулярными взаимодействиями.

В процессе подогрева зерновой массы, происходит комбинированный процесс теплопередачи: излучение - контактная теплопроводность и далее - передача тепла от более нагретых тел к менее нагретым.

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 10 мм от первой группы датчиков.

Предлагаемая методика оценки процессов теплопередачи позволяет оптимизировать конструктивные решения теплогенерирующих устройств и существенно увеличить эффективность используемой тепловой энергии.

Учитывая тот фактор, что площадь излучения в случае подогрева сыпучей массы зерна многократно больше контактной площади следует особое внимание обратить именно на параметры, влияющие на увеличение коэффициентов тепловой передачи излучением.

Коэффициент облученности  $\psi_{1,2}$  при этом может достигать величины 0,8 и более.

Выводы: значительная и наиболее скоростная часть тепловой энергии в сыпучей массе передается излучением поверхность-поверхность. При малом коэффициенте теплопроводности зерновой среды создаются условия перегрева внутреннего материала зерна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красковский Е.Я., Дружинин Ю.А., Филатова Е.М. Расчет и конструирование приборов и вычислительных систем. М.: Высш. шк., 1991. – 480 с.

**Осокин Юрий Анатольевич – к.т.н., тел. (3812)629026, e-mail: y-osokin@mail.ru.**