дальностях, которые возникают в локальном классификаторе F_1 (рисунок 4), и существенно уменьшает область, где принимаются неправильные решения.

Заключение

В работе предлагается методика построения автоматических классификаторов динамических объектов на основе каскада многослойных нейронных сетей прямого распространения. Демонстрируется применение этой технологии при разработке классификатора летательных аппаратов, и приводятся числовые показатели распознавания трех типов ЛА.

Литература

1. Bishop, Chris. M. Neural Networks for Pattern Recognition. –Oxford: University Press, 2005.
2. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. – М.: Мир, 1978.
3. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов. –М.: Наука, 1979.
4. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие. –Изд. Политехника, 2007.
5. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс.: Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2006.
6. Осовский С.. Нейронные сети для обработки информации. –М.: Финансы и статистика, 2004.
7. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2004.

Теплофизические зависимости при гранулировании в жидком азоте дисперсных частиц диаметром от 1 до 5 мм

к.т.н. проф. Белуков С.В., Кименс П.Ю.
Университет машиностроения
8(499)267-07-14

Аннотация. В работе рассмотрены разные математические модели для решения задачи криолгранулирования жидких капель вещества в криоагенте. Получены расчетные данные и построены характерные зависимости процесса.

Ключевые слова: *криогранулирование, криоагент, замораживание, теплопроводность, теплообмен.*

Криогенный процесс – термодинамический процесс, частично или полностью протекающий при криогенных температурах.

Источником криогенной температуры служит жидкий азот (77 К). В процессе замораживания рабочее тело находится при криогенных температурах в газообразном и конденсированном состоянии.

Попадая в среду жидкого азота вещество, имеющее первоначально температуру окружающей среды, охлаждается, а затем замерзает, претерпевая фазовый переход из жидкого состояния в твердое. При высокой скорости протекания процесса криогранулирования происходит образование гранул мелкой кристаллической структуры, а, следовательно, в итоге получаем материалы с меньшим числом повреждений [1, 2].

При конструировании криогранулятора для приведения системы к лучшим параметрам и повышения эффективности работы устройства необходимо знать продолжительность основных процессов. Один из главных процессов в криогранулировании процесс замораживания жидкой капли вещества в среде криоагента играет решающую роль.

Задача определения времени, за которое гранула промерзает, попадая в жидкий азот, представляет собой задачу Стефана, так как присутствует фазовое превращение.

В рассматриваемом примере имеем нестационарную теплопроводность, которая меняется по координате и по времени в процессе распространения теплоты в веществе. Данный режим имеет место только для тепловых процессов, которые не успевают выйти на стационарный режим и занимают очень короткий промежуток времени [5].

Для решения поставленной задачи, рассмотрим следующие варианты:

Одномерная задача.

Расчетная область – сферическая капля воды. Однородный процесс теплообмена осуществляется одновременным действием теплопроводности и конвекции. Исходная функция температуры задана на границе.

Уравнение теплопроводности имеет следующий вид:

$$\left(C_p(T)\rho_m(T)\right)_i \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda_i(T) r^2 \frac{\partial T_i}{\partial r}\right),$$

где $i = 1, 2$ – соответственно для твердой и жидкой фазы; λ – коэффициент теплопроводности; r – радиус капли; ρ_m – массовая плотность; C_p – теплоемкость; T – температура; τ – время протекания процесса.

Начальные условия принимаем: при $\tau = 0$, $T = T_0$.

Граничные условия: при $r = 0$, $\partial T/\partial r = 0$;

при $r = r_p$, $-\lambda\, \partial T/\partial r = \alpha(T_g - T)$.

Одномерная модель не полностью описывает тепломассообмен процесса. Капля жидкости с температурой окружающей среды попадает в криоагент, который мгновенно вскипает, образовывая паровую прослойку, не дающую капле утонуть некоторое время за счет избыточного давления. В процессе выравнивания температуры между гранулой и азотом, пленка буде утоньшаться, в конечном итоге давая капле утонуть. Следовательно, необходимо рассмотреть двумерную задачу [4].

Двумерная задача.

Расчетная область – сферическая капля воды, не полностью погружена в азот под действием избыточного давления паров криоагента. Между гранулой и жидким азотом существует паровая пленка [3]. Неоднородный теплообмен: конвективный теплообмен при пленочном кипении и теплообмен излучением с окружающим пространством.

Уравнение теплопроводности для двумерной задачи имеет следующий вид:

$$C_p \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 \sin\vartheta}\frac{\partial}{\partial \vartheta}\left(\sin\vartheta \frac{\partial T}{\partial \vartheta}\right)\right],$$

Начальные условия принимаем: при $\tau = 0$, $T = T_0$.

Граничные условия: при $r = 0$, $\partial T/\partial r = 0$;

при $0 < r < r_p$, $\vartheta = 0$; $\vartheta = \pi$, $\partial T/\partial r = 0$;

при $r = r_p$, $0 < \vartheta < \vartheta_1$, $-\lambda\, \partial T/\partial r = \alpha_1(T - T_f) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_0^4)$,

$\vartheta_1 < \vartheta < \pi$, $-\lambda\, \partial T/\partial r = \alpha_2(T - T_f)$,

где r – текущий радиус в капле; r_p – радиус капли, м. ϑ – текущий угол; T_f, T_0 – соответственно, температуры криогенной жидкости и начальная температура капли, К; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи, соответственно, на сухой и смоченной поверхностях капли; ε – степень черноты для сферической капли; σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Решая задачи с помощью численного метода конечных разностей, получены данные о поведении замораживаемых капель на поверхности жидкого азота и определена продолжительность процесса замораживания для одиночной капли.

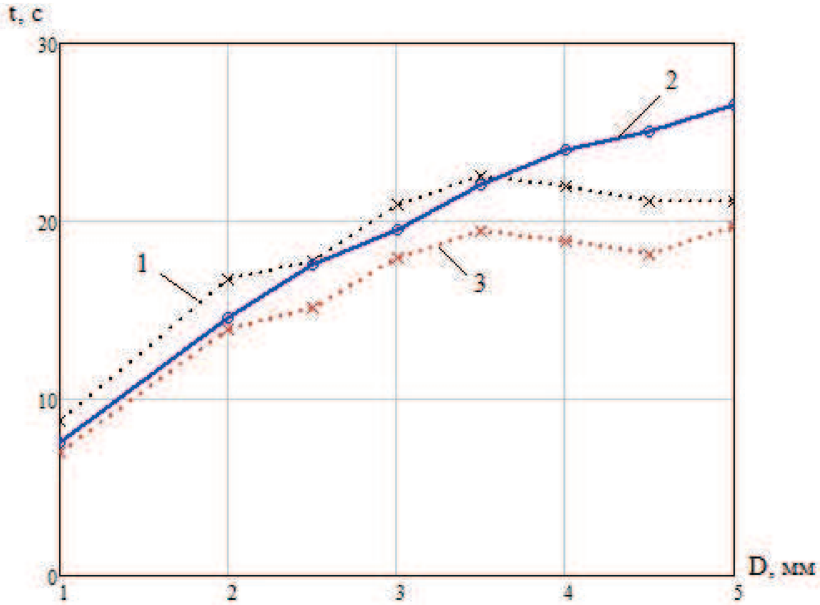

Рисунок 1. Время замораживания капель разного диаметра:
1 – двумерная задача; 2 – эксперимент; 3 – одномерная задача

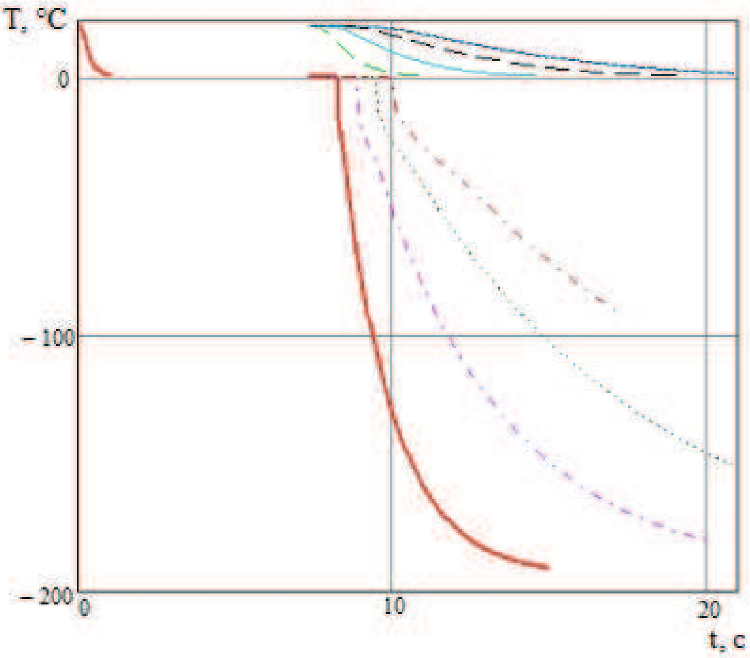

Рисунок 2. График зависимости времени от радиуса для капель диаметром 1 – 5 мм до момента достижения предельного перепада температур

Сравнение результатов, полученных с помощью математических моделей, с экспериментальными данными, показывают, что двумерная задача в большей степени соответствует эксперименту, чем одномерная (рисунок 1), что приближает теплофизические расчеты к действительным.

Для гранул диаметром от 1 до 5 мм по данным, полученным для двумерной задачи, были составлены графики изменения времени (рисунок 2) и теплоты, отведенной при охлаждении (рисунок 3) в зависимости от радиуса гранул для условия достижения необходимого перепада температур между поверхностью сферы и поверхностью криогенной жидкости.

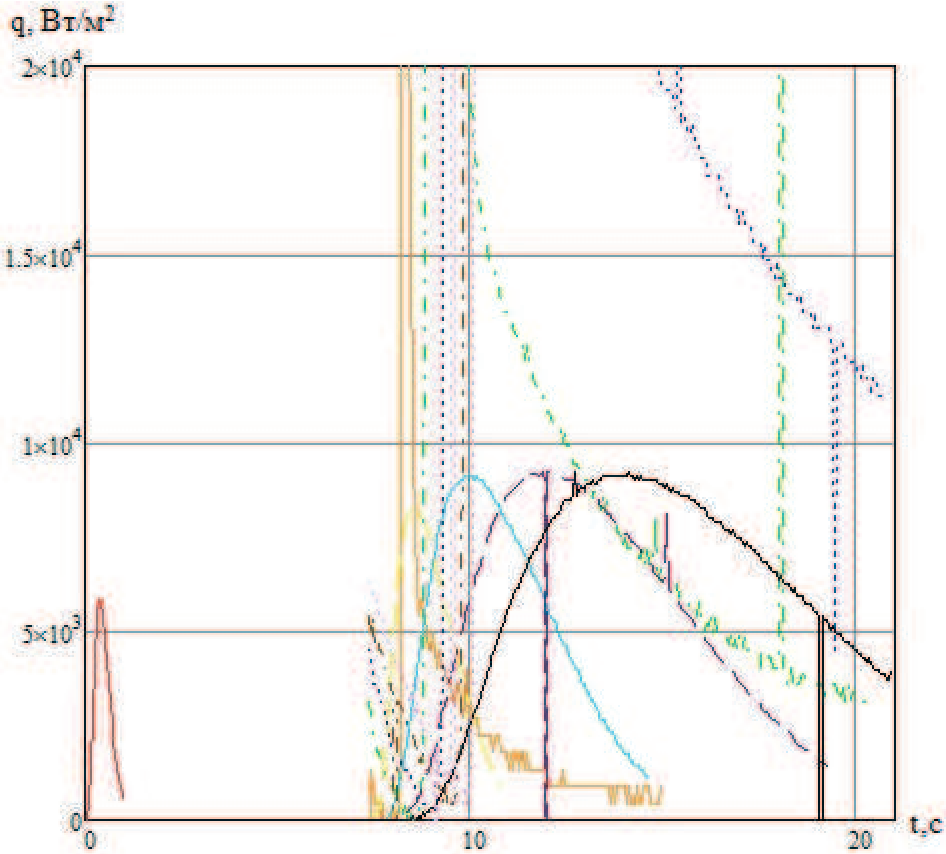

Рисунок 3. Изменение количества теплоты, отведенного при охлаждении в зависимости от радиуса для капель диаметром 1 – 5 мм до момента достижения предельного перепада температур

Для оценки всего процесса получения гранул с заданными параметрами необходимо знать следующее: так как за небольшой отрезок времени капля жидкости претерпевает фазовый переход и время ее замораживания дает определенную погрешность, по сравнению со временем замораживания, полученным экспериментальным путем, то зная теплофизические параметры вещества и сделав предварительный расчет для двумерной модели с помощью программы, можно, учитывая поправочный коэффициент, определить истинное время замораживания гранул в криогенной жидкости.

Литература

1. Белуков С.В., Соколов А.В. Программное замораживание при условиях плавания гранул жидкофазных суспензий в процессе криогранулирования. Вестник международной академии холода. 2012. Выпуск 1. С. 15 – 18.
2. Белуков С.В., Соколов А.В. Криогранулирование в жидком азоте как способ получения заданных параметров материалов: инженерный подход. Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. №8. С. 30 – 33.
3. Генералов М.Б. Криохимическая нанотехнология. Учебное пособие для вузов. М.: ИКЦ Академкнига. 2006. 325с.
4. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Численные методы решения задач конвекции-диффузии. М.: Едиториал УРСС, 2004. 248 с.
5. Юдаев Б.Н. Теплопередача. Учебник для втузов. М.: Высшая школа. 1973. 360 с.