

конформацию, переменное увлажнение и высушивание не сопровождается накоплением внутренних напряжений, и именно поэтому эластичные материалы более долговечны, чем жесткие. Следует заметить, что в том случае, когда жесткие материалы не способны поглощать влагу, их работоспособность достаточно велика.

Таким образом, эти два параметра – способность полимерной пленки поглощать влагу и способность полимерных молекул быстро перегруппировываться, возвращаясь к равновесной конформации, являются наиболее важными для оценки долговечности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянов, Д.Н., Волкова Н.В. Критерии и методы применения синтетических полимеров для реставрации и консервации произведений искусства. // Горьк. Гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского.- Горький, 1981.- 20 с.- Деп. № 665 X П 281.
2. Заиков Г.Е. Энциклопедия полимеров.// М.: «Советская энциклопедия», 1974.- Т.1.- С. 753-757.
3. Федосеева, Т.С. О долговечности реставрационных материалов/ Т.С. Федосеева// Вестник.- М., 2002-2003.- № 8.- С. 28-31.
4. Молодова А.А., Волкова Н.В., Емельянов Д.Н., Сахарова О.И. Закономерности получения и термостарение акриловых сополимеров, армированных целлюлозной тка-

ню. // Журнал «Вестник ННГУ». №3, 2009, С.87-94.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СРЕД В ТРУБЧАТОМ РЕАКТОРЕ

Лебедев Р.В., Лившиц С.А.

Казанский государственный энергетический университет  
Казань, Россия

Современные работы, изучающие явление прогрессивного нарастания температуры, только поверхностно затрагивают проблему возникновения критических и неустойчивых режимов работы химико-технологического и теплоэнергетического оборудования. На данный момент нет достаточно полного анализа влияния управляющих параметров на температуру, скорость и вязкость жидкостей в трубах и каналах различной формы.

В связи с этим возникает задача аналитического исследования тепловых, гидродинамических и химических процессов в условиях прогрессивного нарастания температуры.

Для рассмотрения течения обобщенно-вязкой жидкости в проточном реакторе круглого сечения исследуется система уравнений (1), состоящая из уравнения движения, уравнения неразрывности, уравнения энергии и уравнений массопереноса для полимера и мономера.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial V_r}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \mu \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_r}{r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \\ V_r \frac{\partial T}{\partial r} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} = a \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{2 \cdot \mu \cdot I_2}{c \cdot c_p} + \frac{Q_0 k_0}{c_m} e^{-E/RT} M^m J^n \\ V_r \frac{\partial M}{\partial r} + V_z \frac{\partial M}{\partial z} = D_m \left( \frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial M}{\partial r} \right) - k_0 e^{-E/RT} M^m J^n \\ V_r \frac{\partial J}{\partial r} + V_z \frac{\partial J}{\partial z} = D_J \left( \frac{\partial^2 J}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial J}{\partial r} \right) - k_{j0} e^{-E/RT} J^s \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $r, z$  – текущие координаты;  $T$  – температура;  $P$  – давление;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости;  $I_2$  – второй инвариант тензора скоростей деформации;  $M$  и  $J$  – концентрации мономера и инициатора;  $Q_0, k_0, E$  – тепловой эффект, константа скорости и энергия активации химической реакции;  $R$  – газовая постоянная.

Решение системы уравнений проводится методом разложения искомых функций в ряды Тейлора в окрестности точки с координатами  $(0; z_0)$ .

В результате аналитического исследования проведенного для гомофазного полимеризационного реактора, были выбраны основные управляющие параметры и определены об-

ласти возможного возникновения бифуркационных явлений по температуре.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лившиц С.А., Назмеев Ю.Г., Малов К.М. Критические режимы неизотермического течения вязкой жидкости в круглой трубе // *Фундаментальные исследования*. Москва 2005, №6, с.56-57.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ НЕЛИНЕЙНО ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В БЕСКОНЕЧНОЙ ПЛОСКОЙ ЩЕЛИ

Лебедев Р.В., Лившиц С.А.

*Казанский государственный энергетический университет  
Казань, Россия*

Исследования процессов теплопередачи движущихся, химически активных, вязких жидкостей показали что, возможны такие режимы течения, при которых теплота не успевает отводиться через стенку канала и в потоке жидкости возникает высокая плотность энергии, которая приводит к резкому нарастанию температуры. Такие режимы течения могут возникать как благодаря диссипации энергии внешних воздействий, так и за счет выделения энергии, запасенной в веществе.

Одной из первых работ в этом направлении была работа, описывающая критические

режимы течения вязкой ньютоновской жидкости в круглой трубе [1]. Несмотря на то, что в работе [2] была предложена методика, при помощи которой стало возможно аналитическое исследование уравнения теплопроводности, в большинстве работ, приведены лишь результаты численных исследований.

Анализ работ посвященных описанию процесса теплообмена в движущихся средах, с учетом действия диссипативного и химического источников тепловыделения выявил отсутствие работ аналитического характера, рассматривающих критические режимы течения реологически сложных сред в плоскопараллельном щелевом канале.

В работе рассмотрено ламинарное течение реологически сложной жидкости с граничными условиями первого и третьего рода. Были приняты следующие допущения: теплофизические характеристики жидкости меняются незначительно; массовые силы пренебрежимо малы; перенос тепла вдоль направления движения за счет теплопроводности много меньше вынужденного; присутствует химический источник теплоты в виде реакции нулевого порядка; в качестве гидродинамических граничных условий приняты условия прилипания жидкости на стенке канала.

С учетом принятых допущений в случае плоскопараллельного течения рассматривалась система уравнений движения и сохранения энергии следующего вида:

$$\begin{cases} \frac{d}{dx} \left( \mu \frac{dV}{dx} \right) = \frac{dP}{dz} = const, & x \in (0, 2h) \\ \lambda \frac{d^2 T}{dx^2} + \mu I_2 + Q_0 \cdot k_0 \cdot \text{Exp} \left( -E/RT \right) = 0, & x \in (0, 2h) \end{cases};$$

здесь  $x, z$  – текущие координаты;  $2h$  – ширина щели;  $V, T$  – скорость и температура жидкости;  $\lambda, \mu$  – коэффициенты теплопроводности и динамической вязкости;  $I_2$  – второй инвариант тензора скоростей деформации;  $Q_0, k_0$  – тепловой эффект и константа скорости химиче-

ской реакции;  $E$  – энергия активации химической реакции;  $R$  – газовая постоянная.

В качестве реологической модели использовалась модель Кутателадзе-Хабахпашевой. Вязкость была представлена соотношением:

$$\mu = \text{Exp} \left( B/RT \right) \cdot \frac{1}{A_\infty - (A_\infty - A_0) \cdot \text{Exp} \left( -\tilde{\theta}_0 \cdot \frac{\mu \frac{dV}{dx}}{A_\infty - A_0} \right)},$$