

4. Hertel D., Munstedt H. Dependence of the secondary flow of a low-density polyethylene on processing parameters as investigated by laser-Doppler velocimetry // *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 2008.V. 153. P. 73–81.

5. Кузнецов А.Е., Пышнограй Г.В., Черпакова Н.А. Влияние числа Вайсенберга на структуру течений полимерных расплавов в каналах с внезапным сужением // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения.* 2017. – Т.14, №3. – С. 332–336.

УДК 532.135

Моделирование нелинейных эффектов в мезоскопической теории полимерных жидкостей при их больших периодических деформациях

Г.В. Пышнограй¹, Н.А. Черпакова², О.А. Кондратьева²
¹АлтГУ, ²АлтГПУ, г. Барнаул

В настоящее время нет необходимости говорить о важности полимеров. Они находят применение во многих областях жизнедеятельности человека. Их широкое использование приводит к росту числа научных исследований, посвященных полимерам и можно отметить, что рост числа экспериментальных и прикладных работ опережает рост работ, посвященными математическому моделированию полимерных систем и в частности, при моделировании течений растворов и расплавов полимеров [1–10]. Это обусловлено тем, что математическая теория таких течений еще далека от завершения. И связано как со сложностью строения полимерных молекул, так и с высокой сложностью получающихся реологических моделей, расчеты по которым требуют применения новых подходов. Известно, что система уравнений динамики сплошных сред, которая записана на основе законов сохранения, не полна. Следовательно, проблема замыкания этой системы в случае растворов и расплавов полимеров различного строения является одной из современных фундаментальных проблем, стоящих перед естественными науками. В случае моделирования течений полимерных жидкостей такое замыкание осуществляется на основе формулировки реологического определяющего соотношения. Это соотношение устанавливает связь между напряжениями в полимерной системе и кинематическими характеристиками течения. Как и всякая математическая модель нуждается во всестороннем обосновании. Для этого используют как методы статистической механики, при выводе реологического определяющего соотношения [2, 4, 5], так и сравнение с экс-

периментальными данными для различных типов течений [1, 3, 6–10]. Последний случай требует применения численных методов решения систем дифференциальных уравнений в частных производных и использования современного высокопроизводительного вычислительного оборудования для их анализа.

В данной работе с помощью микроструктурного подхода при рассмотрении динамики невзаимодействующих гантелей, движущихся в анизотропной среде получена новая реологическая модель [4, 5]. Предложена зависимость эффективного коэффициента трения бусинок гантели от первого инварианта тензора анизотропии. Это позволило рассчитать вискозиметрические функции при простом сдвиге и одноосном растяжении [5, 6]. Отмечено качественное соответствие рассчитанных функций течению реальных полимерных жидкостей и сделан вывод о необходимости учета множественности релаксационных процессов в рамках исследуемого подхода. Далее было рассмотрено обобщение реологической модели на многомодовый случай [5]. Были рассчитаны зависимости модуля упругости и модуля потерь и проведено сравнение с экспериментальными данными, полученными для сильно разветвленных полиэтиленов низкой плотности. Полученные при сравнении с экспериментальными данными параметры модели используются далее для моделирования нелинейных эффектов при простом сдвиге и одноосном растяжении. Сделан вывод о пригодности рассматриваемой реологической модели для описания стационарных и нестационарных характеристик расплавов разветвленных полимеров. Работы этого направления проводились в сотрудничестве с Институтом гидродинамики Чешской Академии Наук. Сотрудниками этого института были предоставлены экспериментальные материалы по замерам вискозиметрических функций при простом сдвиге и одноосном растяжении [5], а также ими были проведены замеры нелинейного отклика на периодическое воздействие с большой амплитудой [9].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-31-00030.

Библиографический список

1. Гусев А.С., Пышнограй Г.В. Частотные зависимости динамических характеристик линейных полимеров при простом сдвиге // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2001. – Т. 7, № 2. – С. 236–245.
2. Гусев А.С., Макарова М.А., Пышнограй Г.В. Мезоскопическое уравнение состояния полимерных сред и описание динамических ха-

рактистик на его основе // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78, № 5. – С. 55–61.

3. Кошелев К.Б., Пышнограй Г.В., Толстых М.Ю. Моделирование трехмерного течения полимерного расплава в сходящемся канале с прямоугольным сечением // Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. – 2015. – № 3. – С. 3–11.

4. Мерзликина Д.А., Филип П., Пивоконский Р., Пышнограй Г.В. Многомодовая реологическая модель и следствия для простого сдвига и растяжения // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 254–261.

5. Мерзликина Д.А., Пышнограй Г.В., Пивоконский Р., Филип П. Реологическая модель для описания вискозиметрических течений расплавов разветвленных полимеров // Инженерно-физический журнал. – 2016. Т. 89, №3. – С. 643–651.

6. Koshelev K., Kuznetsov A., Merzlikina D., Pyshnograi G., Pyshnograi I., Tolstykh M.Y. Mesoscopic rheological model for polymeric media flows // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – V. 790, № 1. – С. 12014.

7. Пышнограй Г.В., Кузнецов А.Е., Мерзликина Д.А., Трегубова Ю.Б. Влияние первого инварианта тензора дополнительных напряжений на характеристики процесса формирования полимерных пленок // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14, № 2. – С. 153–158.

8. Кузнецов А.Е., Пышнограй Г.В., Черпакова Н.А. Влияние числа Вайсенберга на структуру течений полимерных расплавов в каналах с внезапным сужением // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 332–336.

9. Черпакова Н.А., Кузнецов А.Е., Пышнограй Г.В. Моделирование нелинейной вязкоупругости полимерных материалов при их больших периодических деформациях // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 376–380.

10. Al Joda H.N.A., Pyshnograi G.V., Shipovskaya A.B., Tregubova Y.B., Zinovich S.A. Employment of the rheological characteristics of polymer solutions in modeling film production // Mechanics of Composite Materials. – 2016. – Т. 52, № 5. – С. 637–650.