

5. Висновки

1. Матерію в електроенергетиці можна розуміти як сукупність елементарних неозорих, неподільних частинок — фітонів, що володіють одночасно елементарним позитивним і негативним зарядам.

2. Електротехнічні властивості провідників і діелектриків ЕЕС визначаються міцністю електричного зв'язку між протонами і електронами їх атомів і молекул.

3. Електромагнітне поле — не окремий вид матерії, а такий стан фізичного простору, за якого у ньому починають діяти електричні сили (сили Кулона) і магнітні сили (сили Кариоліса).

4. Активна потужність — поздовжня (вздовж напрямку електропередачі) складова потужності електромагнітного поля ЕЕС, а реактивна — її поперечна складова.

5. Ідейно-теоретична модель ЕЕС повинна відповідати на питання: Як і чому так?

6. Реально-математична модель ЕЕС повинна спиратись на її ідейно-теоретичну модель і відповідати на питання: Скільки і чому стільки?

Література

1. Веников, В. А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики [Текст] / В. А. Веников. — М.: Высшая школа, 1966. — 487 с.
2. Никонец, Л. А. Физические явления внутреннего резонанса в электрооборудовании с обмотками высокого напряжения [Текст] / И. Р. Бучковский, М. М. Молнар, А. Л. Никонец, Л. А. Никонец, М. Б. Сабат; под ред. Л. А. Никонца. — Львов: НВФ «Українські технології», 2012. — 167 с.
3. Кириленко, О. В. Математичне моделювання в електроенергетиці [Текст]: підручник / О. В. Кириленко, М. С. Сегида, О. Ф. Буткевич, Т. А. Мазур. — Львів: НУ «Львівська політехніка», 2010. — 608 с.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники [Текст]: учебник для студ. энергетич. и электротехнич. вузов / Л. А. Бессонов. — Изд. 6-е. — М.: Высш. школа, 1973. — 752 с.
5. ДСТУ 2843-94. Державний стандарт України. Електротехніка. Основні поняття. Терміни та визначення [Текст]. — Київ: Держстандарт України, 1995. — 66 с.
6. Репченко, О. Н. Полевая физика или как устроен мир? [Текст] / О. Н. Репченко. — М.: Галерея, 2005. — 320 с.
7. Копылов, И. П. Великие законы природы [Текст] / И. П. Копылов // Электричество. — 2011. — № 4. — С. 63–66.
8. Акимов, А. Е. Модели поляризованных состояний физического вакуума и торсионных полей [Текст] / А. Е. Акимов, В. Я. Тарасенко // Известия высших учебных заведений. Физика. — 1992. — № 3. — С. 13–23.
9. Богородицкий, Н. П. Электротехнические материалы [Текст]: учебник для вузов / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, В. М. Тареев. — 7-е изд. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ие, 1985. — 304 с.
10. Ландау, Л. Д. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1969. — 399 с.
11. Дорошенко, О. І. Щодо питання матеріальності в фізиці електроенергетики [Текст] / О. І. Дорошенко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — 2011. — Вип. 11(186). — С. 120–124.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предлагается производить моделирование электроэнергетических систем в два шага. На первом шаге создается идейно-теоретическая модель, которая, опираясь на понятие материальности, рассматривает его физику и отвечает на вопросы: как и почему так? На втором шаге — реально-математическая модель, которая, опираясь на первый шаг, отвечает на вопросы: Сколько и почему столько? Такой подход к моделированию в электроэнергетических системах исключает математический формализм.

Ключевые слова: электроэнергетика, моделирование, материальность в электроэнергетике, идейно-теоретическая модель, реально-математическая модель.

Дорошенко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра електропостачання та енергоменеджменту, Одеський національний політехнічний університет, Україна, e-mail: dai1938@yandex.ua.

Дорошенко Александр Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра электроснабжения и энергоменеджмента, Одесский национальный политехнический университет, Украина.

Doroshenko Oleksandr, Odessa National Polytechnic University, Ukraine, e-mail: dai1938@yandex.ua

УДК 532.517

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.27927

Ивицкий И. И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИСТЕННОГО СКОЛЬЖЕНИЯ ПОЛИМЕРА

В статье рассмотрено влияние эффекта пристенного скольжения при плавлении полимера на процесс экструзионного формования. Проведено моделирование течения полимера в канале с учетом пристенного скольжения, результаты которого были сопоставлены с экспериментально полученными зависимостями, что позволило получить возможность сравнить параметры процесса с учетом пристенного скольжения и без него.

Ключевые слова: течение полимера, плавление полимера, пристенное скольжение.

1. Введение

Изготовление качественных полимерных изделий невозможно без использования уточненных методов моделирования конструктивных и технологических па-

раметров оборудования и процессов в нем, а также без учета влияния пристенных эффектов, которые оказывают существенное влияние на ход процессов формирования изделий. Пристенные эффекты могут в значительной степени влиять на распределение основных параметров

расплава по всему сечению каналов и, как следствие, на эксплуатационные свойства изделий.

2. Постановка задачи

Обычно процессы течения расплавов полимеров рассматриваются при условии прилипания к ограничивающим их поверхностям оборудования. Однако, как показывает ряд экспериментальных исследований, например [1], при определенных условиях различные виды полимеров демонстрируют проскальзывание по стенкам каналов, периодический отрыв от них, образование низковязкого пристенного слоя и другие эффекты, которые влияют на ход технологических процессов и свойства полимерных изделий.

3. Анализ литературных данных

Теория пристенного скольжения жидкостей по твердым поверхностям была разработана Д. М. Толстым [2].

Впервые аналитическое решение простейшей задачи о распределении скорости в ламинарном пограничном слое на пластине было получено Блазиусом [3] в 1908 г.

В последние годы вычислительные возможности расширяются с развитием компьютерной техники и численных методов, например в работе [4] рассмотрена математическая модель границы между двумя жидкостями и ее дискретизация.

Однако при решении подобных задач применительно к расплавам полимеров возникают проблемы, связанные со сложностью определения их напряженно-деформированного состояния в пристенной области, толщины этой области, влиянием наполнителей, состояния поверхностей стенок и т. д.

По проблеме решения задач с наличием пристенного слоя при течениях расплавов полимеров в перерабатывающем оборудовании показательна работа [5], в которой предложен итерационный подход к определению скорости полимера вблизи стенки и касательного напряжения в нем.

В работе [6] сравнивается несколько подходов к моделированию протекания расплава в канале экструзионного оборудования с учетом различных механизмов образования пристенного трения в процессе течения полимерных материалов. Первый подход — использование единого монослоя с игомогенными свойствами, второй подход — использование дополнительного пристенного слоя, который моделирует не только изменение скоростей, но и изменение свойств самого материала. Определение вязкости пристенного слоя рассмотрено в работе [7].

Примечательна также работа [8], в которой получена математическая модель движения пленкообразующего полимера, в щели формирующего инструмента, с учетом реологических свойств полимера и его пристенного проскальзывания у твердой стенки в нестационарном режиме.

4. Результаты исследования пристенного скольжения полимера

За основу взята зависимость скорости потока на стенке от напряжения сдвига для полиэтилена высокой плотности (HDPE) при температуре 200 °С, опубликованная в работе [9] (рис. 1).

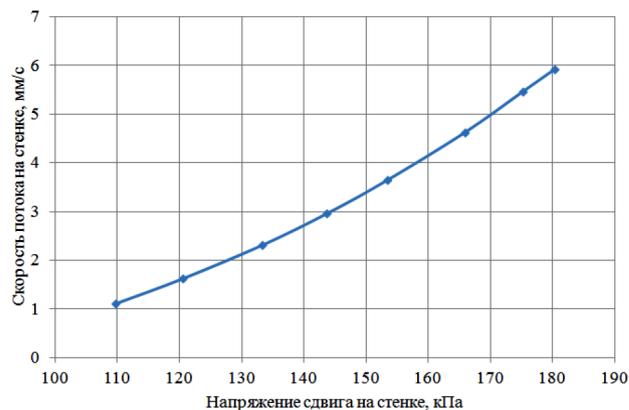


Рис. 1. Зависимость скорости потока на стенке от напряжения сдвига для полиэтилена высокой плотности (HDPE) при температуре 200 °С

Для определения точек соответствия экспериментальных данных расчетным была построена математическая модель цилиндрического канала со следующими характеристиками:

- Диаметр — 15 мм;
- Длина — 100 мм.

Канал был представлен в виде 2D осесимметричной модели с количеством узлов сетки — 3379.

При математическом моделировании использовались следующие основные предположения:

1. Поток обобщенный ньютоновский, описывающийся следующими зависимостями:
 - Уравнение импульса имеет вид:

$$-\nabla p + \nabla \cdot T + f = \rho a,$$

где p — давление; T — тензор напряжений; f — объемная сила; ρ — плотность; a — ускорение.

- Уравнение несжимаемости:

$$\nabla \cdot v = 0,$$

где v — скорость.

- Уравнение для обобщенного ньютоновского течения:

$$T = 2\eta D,$$

где D — тензор скорости деформации.

- Локальная скорость сдвига:

$$\dot{\gamma} = \sqrt{2(D^2)}.$$

2. Процесс течения — изотермический.

3. Зависимость вязкости от скорости сдвига — закон Карро-Ясуды:

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^a \right]^{\frac{n-1}{a}},$$

где η_0 — вязкость при нулевой скорости сдвига; η_{∞} — вязкость при бесконечной скорости сдвига; λ — естественное время (величина, обратная скорости сдвига, при которой жидкость переходит от ньютоновского поведения к степенному); a — коэффициент, который

управляет переходом от ньютоновского плато к степенному региону; n — коэффициент степенного закона.

Для выбранной марки полиэтилена высокой плотности путем аппроксимации кривой вязкости (рис. 2) при температуре 200 °С [10] значения параметров материала, использованных для закона Карро-Ясуды равны: $\eta_0 = 113088 \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\eta_\infty = 0 \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\lambda = 3,10857$; $a = 0,262035$; $n = 0,362416$.

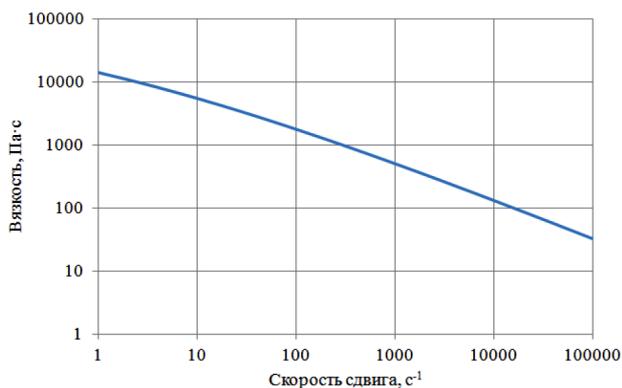


Рис. 2. Зависимость вязкости от скорости сдвига для полиэтилена высокой плотности при температуре 200 °С

Математическое моделирование проводилось для разных значений среднеинтегральной скорости на входе в канал (от 0,05 м/с до 0,25 м/с).

Для каждого значения скорости на входе вычислялась кривая зависимости напряжения сдвига на стенке от скорости проскальзывания на стенке (рис. 3).

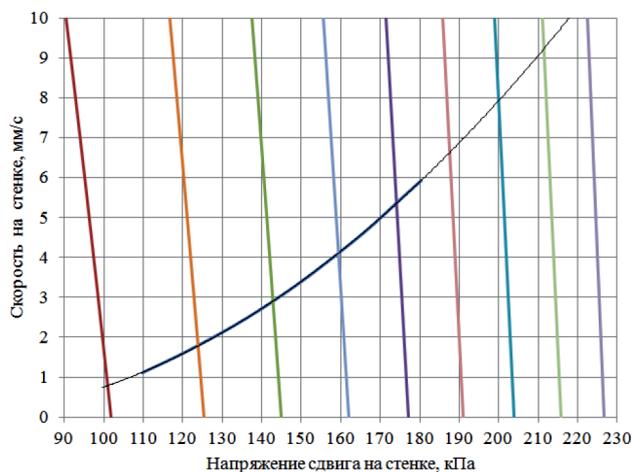


Рис. 3. Зависимость скорости проскальзывания на стенке от напряжения сдвига для полиэтилена высокой плотности, рассчитанная экспериментально и с помощью математического моделирования при разных скоростях входа: — эксперимент; — 0,05 м/с; — 0,075 м/с; — 0,1 м/с; — 0,125 м/с; — 0,15 м/с; — 0,175 м/с; — 0,2 м/с; — 0,225 м/с; — 0,25 м/с

Полученные кривые продемонстрировали увеличение напряжений сдвига при равных скоростях на стенке с увеличением значения скорости на входе в канал, причем это увеличение было нелинейным.

Сопоставив кривую, полученную экспериментально (рис. 1), с кривыми, полученными в результате математического моделирования (рис. 3), появилась возмож-

ность выявить точки соответствия экспериментальных данных расчетным.

Исходя из полученных точек соответствия, была построена зависимость скорости проскальзывания на стенке канала от скорости на входе в канал, рис. 4.

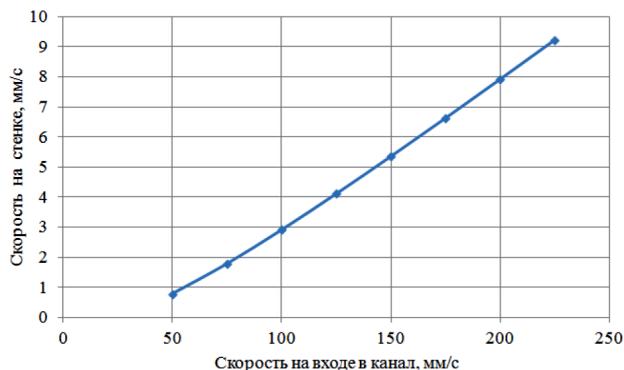


Рис. 4. Зависимость скорости проскальзывания на стенке от скорости на входе в канал

Полученная зависимость была аппроксимирована полиномом 3-й степени:

$$y = -0,21x_3 + 0,12x_2 + 0,03x,$$

где x — среднеинтегральная скорость на входе в канал; y — скорость на стенке канала.

Данный полином может быть использован для внедрения функциональной зависимости скорости на стенке канала, исходя из скорости на входе в канал.

Используя полученный полином, была исследована зависимость влияния наличия скольжения на стенке канала на перепад давления в нем (рис. 5).

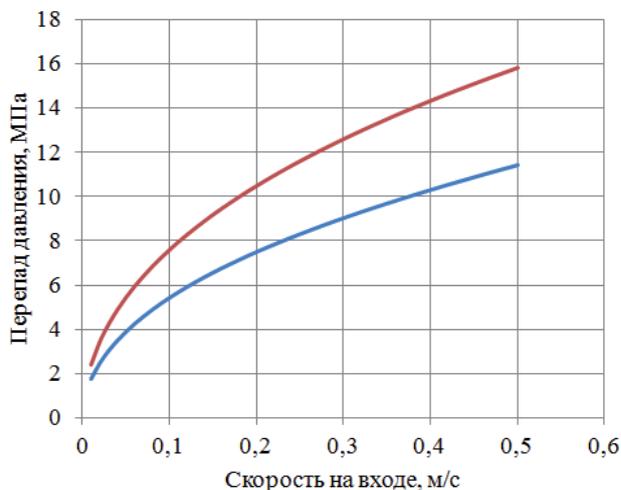


Рис. 5. Зависимость перепада давления от скорости на входе в канал при учете скольжения на стенке и без него: — со скольжением; — без скольжения

Как видно из рис. 5, эффект пристенного скольжения оказывает ощутимое влияние на перепад давления.

5. Выводы

Как показало исследование, учет влияния пристенного скольжения уменьшает значение перепада давления

до 40 %, что является существенным фактором в пользу необходимости учета данного параметра при расчетах процессов экструзионного формования и проектировании перерабатывающего оборудования.

Результаты исследования не могут быть прямо интерпретированы для исследования полимерных материалов, характер течения которых предусматривает образование низкомолекулярного пристенного слоя со свойствами, отличающимися от свойств основной массы полимера.

Дальнейшее направление исследований заключается в моделировании течения полимера с учетом вышеупомянутого низкомолекулярного пристенного слоя.

Литература

- Hatzikiriakos, S. G. Wall slip of molten polymers [Text] / S. G. Hatzikiriakos // Progress in Polymer Science. — 2012. — Vol. 37, № 4. — P. 624–643. doi:10.1016/j.progpolymsci.2011.09.004.
- Толстой, Д. М. Теория пристенного скольжения [Текст] / Д. М. Толстой // Доклады Академии наук СССР. — 1952. — № 5. — 192 с.
- Кирпиков, В. А. Введение в теорию пограничного слоя [Текст]: науч. пос. / В. А. Кирпиков, Г. Н. Шорин; под ред. А. А. Гухмана. — М.: МИХМ, 1974. — 287 с.
- Gerbeau, J.-F. Generalized Navier boundary condition and geometric conservation law for surface tension [Text] / J.-F. Gerbeau, T. Lelièvre // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. — 2009. — Vol. 198, № 5–8. — P. 644–656. doi:10.1016/j.cma.2008.09.011.
- Ferrás, L. L. Profile extrusion die design: the effect of wall slip [Electronic resource] / L. L. Ferrás, J. M. Nóbrega, F. T. Pinho, O. S. Carneiro // MATERIAIS 2007 Porto, 1–4 April 2007. The Polymer Processing Society 23rd Annual Meeting. — Available at: \www/URL: http://paginas.fe.up.pt/~fpinho/pdfs/PPS23_P04-013.pdf.
- Івіцький, І. І. Числове моделювання впливу пристінного шару на процес течії полімеру в переробному обладнанні [Текст] / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, І. О. Мікульонюк // Хімічна промисловість України. — 2013. — № 6. — С. 34–37.
- Івіцький, І. І. Визначення в'язкості пристінного шару при моделюванні течії полімерів у формуючих каналах [Текст]: тези доп. / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонюк // Всеукраїнська наук. конф. молодих вчених та студентів «Сучасні технології одержання композиційних матеріалів, хімічних волокон і наноккомпозитів». — К., 2013. — С. 18–19.
- Багута, В. А. Математическое моделирование течения полимера в канале фильеры с учетом его пристенного скольжения [Текст] / В. А. Багута, Г. В. Кулинченко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. — 2012. — № 4(56). — С. 140–144.
- A Rheological Viewpoint of Thermoplastic Melts [Electronic resource] / Rheology application note. — Available at: \www/URL: http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/Malvern/Productos-MAL/REO-A%20rheological%20view%20point%20of%20thermoplastic%20melts.pdf.
- Saeed, U. Characterization of glass fiber-reinforced high-density polyethylene [Electronic resource] / U. Saeed, K. Hussain, G. Rizvi // Society of Plastics Engineers. — 2 May 2014. — Available at: \www/URL: http://www.4spepro.org/view.php?article=005393-2014-04-29. doi:10.2417/spepro.005393.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИСТІННОГО КОВЗАННЯ ПОЛІМЕРУ

У статті розглянуто вплив ефекту пристінного ковзання при плавленні полімеру на процес екструзійного формування. Проведено моделювання течії полімеру в каналі з урахуванням пристінного ковзання, результати якого були співставлені з експериментально отриманими залежностями, що дозволило отримати можливість порівняти параметри процесу з урахуванням пристінного ковзання і без нього.

Ключові слова: течія полімеру, плавлення полімеру, пристінне ковзання.

Івіцький Ігор Ігорович, аспірант, кафедра хімічного, полімерного і силікатного машиностроєння, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: ivitskiy@gmail.com.

Івіцький Ігор Ігорович, аспірант, кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна.

Ivitskiy Igor, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: ivitskiy@gmail.com

УДК 539.3

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.27939

**Погорелова О. С.,
Постникова Т. Г.,
Отрашевская В. В.**

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЖЕНИЯ ПО ПАРАМЕТРУ ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ВИБРОУДАРНЫХ СИСТЕМ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Рассматривается возможность применения численного метода продолжения решения по параметру к механической системе с повторяющимися ударами. Излагаются теоретические основы метода в сочетании с методами стрельбы и Ньютона-Рафсона. Методика адаптирована для виброударной системы с двумя степенями свободы. Параметризация выполняется по длине дуги кривой решений. Удар моделируется нелинейной силой контактного взаимодействия Герца.

Ключевые слова: виброударная система, метод продолжения по параметру, сила Герца, длина дуги.

1. Введение

Системы с ударами играют важную роль в теории колебаний механических систем, и изучение их дина-

мического поведения в различных условиях функционирования вызывает большой интерес.

Для анализа динамики виброударных систем (ВУС) в данной работе используется метод продолжения решения