

проблема оценки качества кластеризации (а также при выборе оптимального количества кластеров). В общем случае описанные выше критерии качества не применимы.

Используем в качестве показателя компактности кластеров среднее расстояние между соседними вершинами минимального остовного дерева (МОД), построенного на всех объектах-точках кластера [5].

Для построения МОД взвешенного связного неориентированного графа можно использовать алгоритм Прима. Построение МОД начинается с произвольной вершины. Рост дерева происходит до тех пор, пока не будут исчерпаны все вершины графа. Данная стратегия является «жадной», то есть на каждом шаге к дереву добавляется ребро, которое вносит минимально возможный вклад в общий вес. Результатом алгоритма является остовное дерево с минимальным суммарным весом [5].

Вернемся к проблеме оценки качества кластеризации. Для кластеров произвольной формы (например, ленточных) удобно сравнивать степень компактности кластеров через среднее значение длины ребер в МОД кластера. Наиболее компактными будем считать кластеры с наименьшим значением данного показателя.

Критерий качества кластеризации будем вычислять как среднее значение показателей компактности для построенной кластеризации. Наиболее качественной будем считать кластерную структуру с наименьшим значением выбранного критерия.

Итак, оценка качества кластеризации заслуженно считается сложной областью анализа данных. Проблему качества сложно выразить семантически и также сложно подогнать ее под математическую модель. Как правило, для любого показателя качества кластеризации существует такое множество, на котором его оценка является верной. Но даже лучший показатель ошибается на определенных тестовых множествах. Универсального решения в этом вопросе не существует, однако отказ от оценки качества кластеризации неприемлем. В целом, для повышения эффективности в оценке качества кластеризации и получения объективного результата лучше пользоваться не одним показателем, а их совокупностью [2].

Библиографический список

1. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
2. Сивоголовко Е.В. Методы оценки качества четкой кластеризации. // Компьютерные инструменты в образовании. – Тверь, 2011 – Вып. 4 (96) – С. 14–31.
3. Журавлева В.В., Бондарева А.А. Описание одного алгоритма кластеризации типа Forel // МАК-2015 : сборник трудов восемнадцатой всероссийской конференции по математике. Барнаул, 1-5 июля, 2015. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. – С. 142–144.
4. Журавлева В.В. Исследование связи между состоянием геомагнитного поля и обострением сердечно-сосудистых заболеваний // Известия АГУ. – Барнаул, 2011. – №1-1(69). – С. 98–100.
5. Журавлева В.В., Аюпов К.Е. Применение метода кластерного анализа для обнаружения зависимости обострений сердечно-сосудистых заболеваний от геофизических факторов // Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования : сборник научных статей международной конференции. Барнаул, 20-24 октября, 2015. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2015. – С. 831–834.

УДК 532.135

Исследование течения расплава полимера в канале с внезапным сужением

А.Е. Кузнецов
АлтГТУ, г. Барнаул

Изучению течений полимерных расплавов и растворов в различных сходящихся каналах посвящено большое число работ. В этих работах часто отмечают возникновение вторичных течений (или вихрей) во входной области щелевого канала. Размеры вторичных течений могут зависеть от таких факторов как температура расплава, скорость течения и некоторых других [1–3]. Кроме того, такие течения могут показывать трехмерный характер течения, когда размеры вихря зависят от положения секущей плоскости [1].

В настоящее время для описания течений расплавов линейных и разветвленных полимеров часто используются уравнения, учитывающие в той или иной мере существенные особенности строения полимерных жидкостей [4, 5]. Учет этих особенностей может вызывать затруднения, поэтому наиболее востребованными являются модели, в основе которых лежит мезоскопический подход. В этом случае поведение полимерной макромолекулы заменяется поведением одного или нескольких релаксаторов, а переход к макроскопическому описанию осуществляется методами статистической меха-

ники [6, 7]. Одной из таких моделей является модифицированная реологическая модель Виноградова-Покровского [8], дополненная уравнениями сохранения импульса и массы:

$$\rho \left(\frac{\partial}{\partial t} v_i + v_k \frac{\partial}{\partial x_k} v_i \right) = \frac{\partial}{\partial x_k} \sigma_{ik}, \quad \frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0,$$

$$\sigma_{ik} = -p \delta_{ik} + 2\eta_1 \gamma_{ik} + 3 \frac{\eta_0}{\tau_0} a_{ik}, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} a_{ik} - v_{ij} a_{jk} - v_{kj} a_{ji} + \frac{1 + (\kappa - \beta)I}{\tau_0} a_{ik} = \frac{2}{3} \gamma_{ik} - \frac{3\beta}{\tau_0} a_{ij} a_{jk}.$$

где σ_{ik} – тензор напряжений; p – гидростатическое давление; η_0 и τ_0 – значения сдвиговой вязкости и времени релаксации для вязкоупругой составляющей; η_1 – остаточная сдвиговая вязкость ($\eta_1 \ll \eta_0$); v_{ij} – тензор градиентов скорости; a_{ik} – симметричный тензор дополнительных напряжений второго ранга; $I = a_{11} + a_{22} + a_{33}$ – первый инвариант тензора дополнительных напряжений; $\gamma_{ik} = (v_{ik} + v_{ki})/2$ – симметризованный тензор градиентов скорости; $\kappa = 1, 2\beta$ и $\beta = \beta(I) = (\beta_0 + p_0 I)/(1 + p_0 I)$ – феноменологические параметры модели, учитывающие в уравнениях динамики макромолекулы размеры и форму молекулярного клубка; ρ – плотность полимера; v_i – i -я компонента скорости. Таким образом, параметрами этой модели являются: ρ , p_0 , β_0 , η_1 , η_0 и τ_0 .

Так как модель (1) дает хорошие результаты для простых течений [6, 7, 8, 9], то можно предположить, что она окажется подходящей для численного исследования поведения полимеров в сложных условиях деформирования, характерных для технологических процессов переработки полимеров.

Ранее, в работе [9] уже обсуждались начальные и граничные условия, там же приведены детали построения разностной схемы и организации вычислений и поэтому здесь не приводятся.

Для сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными обратимся к [1]. В этой работе было исследовано влияние температуры и удельного расхода расплава разветвленного полиэтилена низкой плотности на размеры вихревой зоны при входе в щелевой канал.

Обратимся теперь к результатам численного эксперимента. В первую очередь заметим, что в расчетах так же, как и в экспериментах, не удается достигнуть стационарных значений, так как рассчитанные профили скорости, напряжений и давлений колеблются около стационарных значений. Как в эксперименте, так и в расчете обнаружено наличие вихревой зоны перед входом в щелевой канал.

Таким образом, одной из существенных характеристик таких течений являются размеры вихря или его площадь. В работе [1] предложено рассчитывать площадь вихря по следующей методике.

Вначале ищем значения $f(x)$, для которых $\int_{-7}^{f(x)} u(y) dy = 0$, а затем находим площадь под кривой $f(x)$. Заметим, что эта методика будет давать хороший результат только в случае, когда составляющая вектора скорости в направлении нейтрального потока много меньше, чем в двух других направлениях.

На рисунке 1 изображены поле скоростей и границы вихря для сечения $z = -2,2$ мм.

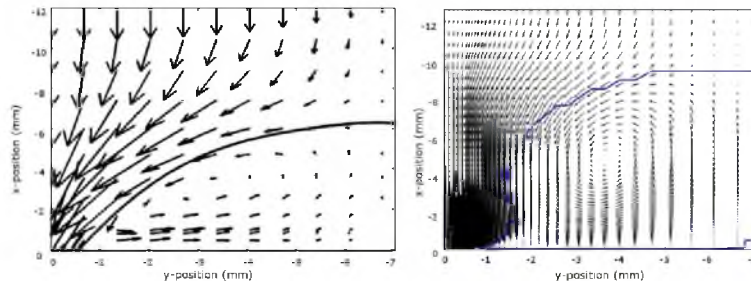


Рисунок 1 – Поле скоростей и границы вихря в сечении $z = -2,2$ мм. Слева – экспериментальные данные, справа – расчет по модели (1)

Будем теперь вычислять площади вихревых зон при сечении потока плоскостями $z = \text{const}$. Сравнивая приведенные на рисунке 2 экспериментальные и расчетные зависимости размеров вихря от расстояния до оси канала можно сделать вывод об увеличении интенсивности вихревых течений при удалении от оси канала. Этот факт можно объяснить эффектом Вайсенберга. Из приведенного сравнения можно сделать вывод о качественном соответствии экспериментальных и расчетных данных.

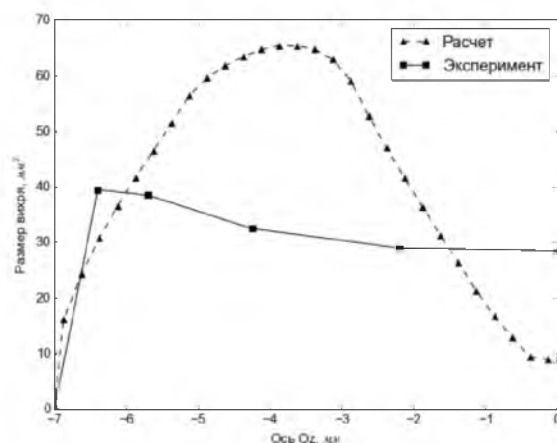


Рисунок 2 – Размеры вихря в различных сечениях при $T = 180^{\circ}\text{C}$

Таким образом, показана возможность применения модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского для описания течений полимерных расплавов в областях со сложной геометрией. Также полученные в работе результаты служат доказательством эффективности применения технологии параллельных вычислений CUDA при нестационарных расчетах трехмерных течений нелинейных вязкоупругих сред с реологическим законом поведения в дифференциальной форме.

Библиографический список

1. Hertel D., Valette R., Munstedt H. Three-dimensional entrance flow of a low-density polyethylene (LDPE) and a linear low-density polyethylene (LLDPE) into a slit die // *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* – 2008. – V. 153. – P. 82–94.
2. 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.
3. Munstedt, H., Schmidt, M., Wassner, E. Stick and slip phenomena during extrusion of polyethylene melts as investigated by laser-Doppler velocimetry // *Journal of Rheology.* – March 2000. – Vol. 44, No. 2. – P. 413–427.
4. Papanastasiou A.C., Scriven L.E., Macosko C.W. An Integral Constitutive Equation for Mixed Flows: Viscoelastic Characterization // *J. Rheol.* – 1983. – V. 27. – P. 387.
5. Olley P. An adaptation of the separable KBKZ equation for comparable response in planar and axisymmetric flow // *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* – 2000. – V. 95. – P. 35–53.
6. Pyshnograï G.V., Gusev A.S., Pokrovskii V.N. Constitutive Equations for Weakly Entangled Linear Polymers // *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* – 2009. – V. 163, № 1–3. – P. 17–28.
7. Pokrovskii V.N. *The Mesoscopic Theory of Polymer Dynamics*. 2nd Edition // Berlin: Springer, 2010. – P. 184.
8. Пышнограï Г.В., Покровский В.Н., Яновский Ю.Г., Образцов И.Ф., Карнет Ю.А. Определяющее уравнение нелинейных вязкоупругих (полимерных) сред в нулевом приближении по параметрам молекулярной теории и следствия для сдвига и растяжения // *Доклады АН.* – 1994. – Т. 335, № 9. – С. 612–615.
9. Кошелев К.Б., Пышнограï Г.В., Толстых М.Ю. Моделирование трехмерного течения полимерного расплава в сходящемся канале с прямоугольным сечением // *Известия РАН. МЖГ.* – 2015. – №3. – С. 16–24.

УДК 519.8

Исследование факторов миграции сельской молодежи на основе байесовских сетей доверия

А.А. Кузнецова¹, Е.В. Понькина¹, З. Беднарикова², М. Боварова³

¹АлтГУ, г. Барнаул, Россия;

²Институт сельскохозяйственной экономики и информации, г. Прага, Чехия; ³Галле-Виттенбергский университет им. Мартина-Лютера, г. Халле, Германия

Процессы урбанизации и миграции сельского населения наблюдаются в большинстве стран мира. Эти процессы активно проявляются как в странах Европы, Азии, так и большей части регионов РФ. Сохранение сельского сообщества во многом связано с решением проблемы укоренения молодежи на селе [1]. Наблюдаемое старение сельского населения затрудняет проведение политики социально-экономического развития села. Эта проблема актуальна и для Алтайского края, в котором по данным РОССТАТ доля сельского населения составляет 44% от общей численности (что в 1,7 раза выше, чем в среднем по РФ). От развития сельских территорий существенно зависит развитие экономики края в целом. Процессы миграции негативно отражаются на заселенности территории. Так, при