

Список литературы:

1. Механика гранулированных сред. Теория быстрых движений: Сб. ст.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
2. Марценко А.А., Марценко М.С., Шваб Н.С. Моделирование движения высококонцентрированной гранулированной среды // Изв. Вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 7/2. – С. 115–118.
3. Ahmadi G., Shahinpoor M. Towards a turbulent modeling of rapid flow of granular materials // Powder Technology. – 1983. – Vol. 35. – № 2. – P. 241–248.

УДК 519.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ МНОГОЖИЛЬНОГО КАБЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ

Иванова Е.В.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: zhenya1@tpu.ru

Процессы вулканизации кабельных изделий предполагают их пропускание через специализированные печи [1] с температурой нагрева 450–550 К. Завершением рассматриваемых процессов принято считать достижение по всей толщине изоляционного слоя кабеля требуемой [2] степени полимеризации ($\varphi \approx 0,99$).

Цель настоящей работы – исследование отличий интегральных характеристик вулканизации одножильного и многожильного кабельных изделий.

Численное моделирование выполнено для типичной системы, представленной на рисунке 1. Предполагалось, что кабель содержит несколько изолированных проводников (медных жил) и общую оболочку (резина). Начальная температура изделия T_0 принималась существенно ниже температуры воздуха в нагревательной камере печи T_h .

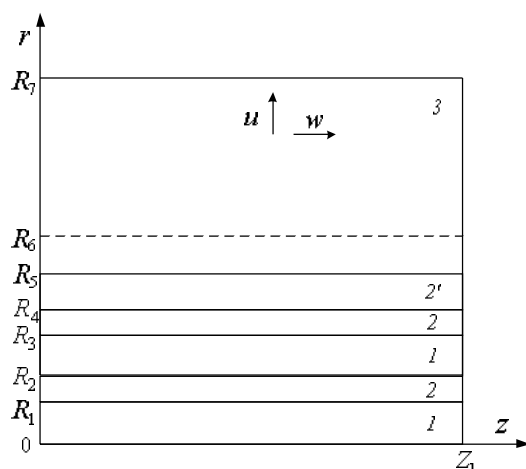


Рис. 1. Схема области решения задачи:
1 – металлическая жила, 2 – оболочка жилы, 2' – оболочка кабеля, 3 – нагретый до высоких температур воздух в печи

При моделировании учитывались воздушные зазоры вблизи участков входа ($z = 0, R_5 < r < R_6$) и выхода ($z = Z_1, R_5 < r < R_6$) кабельного изделия из вулканизационной печи. Считалось, что окружающий воздух с температурой, равной начальной температуре изделия $T_c = T_0$, и скоростью w_c , равной скорости протяжки кабеля, втекает в камеру через зазор во входном отверстии ($z = 0, R_5 < r < R_6$). Смесь относительно холодного окружающего и горячего воздуха печи вытекает через выходное отверстие ($z = Z_1, R_2 < r < R_3$) со скоростью, равной скорости протяжки изделия w_c . Рассматривалась осесимметричная система (см. рис. 1).

При численном моделировании принимались следующие допущения, не накладывающие существенных ограничений на общность постановки задачи:

1. Контакт между жилами и слоями изоляционного материала идеален;
2. Кабель имеет правильную цилиндрическую форму;
3. Рассматривается фрагмент кабеля с идеально теплоизолированными торцами;
4. Теплофизические характеристики материала жилы, оболочки кабеля и воздуха в нагревательной камере не зависят от температуры.

Математическая модель тепломассопереноса в условиях химического реагирования для системы «горячий воздух – многожильный кабель» в цилиндрической системе координат (см. рис. 1) при $0 < t < t_p$ может быть сформулирована в виде типичных нестационарных дифференциальных уравнений математической физики [3–5].

Система нестационарных дифференциальных уравнений с соответствующими краевыми условиями решена методом конечных разностей [6]. Разностные аналоги дифференциальных уравнений решены локально-одномерным методом и методом переменных направлений [6]. Для решения одномерных разностных уравнений применен метод прогонки с использованием неявной четырехточечной схемы [6]. Аппроксимация граничных условий для уравнений Пуассона и завихренности выполнена аналогично [7, 8].

Важно отметить, что полученные результаты для многожильного кабеля (см. рис. 1) свидетельствуют о нецелесообразности выдержки нормативных температур в печи для разных по внутренней структуре изделий. Корректный выбор режима вулканизации (с соответствующими значениями T_h, w_c, t_p) позволит минимизировать характерные времена процесса и обеспечит условия равномерного прогрева изделия (без перегрева, плавления и соответствующих дефектов поверхности).

Установлено, что времена полимеризации резиновой оболочки многожильного кабельного изделия существенно превышают значения

аналогичных параметров для одножильного кабеля при прочих равных условиях. Полученный результат свидетельствует о необходимости учета внутренней структуры кабельного изделия при выборе режима вулканизации. Несмотря на идентичные размеры внешней оболочки кабеля целесообразно для многожильных изделий выдерживать время в специализированных нагревательных камерах существенно большее (как следствие, меньшие скорости протяжки) по сравнению с одножильными.

Разработанную модель тепломассопереноса можно использовать в качестве прогностической при выборе режимов вулканизации типичных многожильных кабелей и соответствующих параметров (температура в печи, допустимые размеры воздушных зазоров на входе и выходе камеры, время нагрева, скорость протягивания и т. д.).

Список литературы:

1. Кошелев Ф.Ф., Корнев А.Е., Климов Н.С. Общая технология резины. – М.: Химия, 1968. – 560 с.
2. Лукомская А.И., Баденков П.Ф., Кеперша Л.М. Тепловые основы вулканизации резиновых изделий. – М.: Химия, 1972. – 359 с.
3. Роуч П.Дж. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
4. Джалурия Й. Естественная конвекция: тепло- и массообмен. – М.: Мир, 1983. – 399 с.
5. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 277 с.
6. Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
7. Иванова Е.В., Стрижак П.А. Численное моделирование комплекса теплофизических и термохимических процессов при вулканизации кабельных изделий // Тепловые процессы в технике. – 2012. – № 4. – С. 187–192.
8. Иванова Е.В., Стрижак П.А. Численный анализ потенциала энергосбережения технологий производства кабельных изделий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2012. – № 7–8. – С. 72–79.

УДК 536.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОТЫ ИСПАРЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ КАПЕЛЬ ВОДЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЧЕРЕЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРОДУКТЫ СГОРАНИЯ

Волков Р.С., Стрижак П.А., д.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: romanvolkov@tpu.ru

Результаты численных исследований [1–6] показали, что при движении через высокотемпературные ($T_f = 1100\text{--}1200\text{ K}$) газы некоторой совокупности капель воды (одной, двух, трех, четырех и пяти) с характерными размерами 0,1–5 мм испарение жидкости происходит с низкой