

универсальным материалом несмотря на то, что реакции при температурах выше 150 °С способствовали образованию неидентифицированных побочных продуктов.

Принимая во внимание многочисленный ассортимент термопластичных полимеров, включающий материалы, устойчивые к совместно-

му действию органических растворителей и высокой температуры, можно заключить, что FFF-технология является вполне практичным и удобным инструментом для производства компактных лабораторных реакторов разнообразной конструкции.

Список литературы

1. Korabelnikova V.A., Gordeev E.G., Ananikov V.P. // *React. Chem. Eng.* – 2023. – 8. – 1613.
2. Erokhin K.S., Gordeev E.G., Samoylenko D.E., Rodygin K.S., Ananikov V.P. // *Int. J. Mol. Sci.* – 2021. – 22. – 9919.
3. Erokhin K.S., Ananikov V.P. // *Org. Proc. Res. & Dev.* – 2023. – 27. – 6. – 1144–1153.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА В ТРУБЧАТОМ РЕАКТОРЕ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

А. Котельников

Научный руководитель – к.т.н, доцент ОХИ И. М. Долганов

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, 30
kotelnikovalexandr220@gmail.com

Производство полиэтилена является актуальной темой для исследования и проведения НИОКР. Согласно данным агентства PrecedenceResearch объем мирового рынка полимеров достиг в 2022 году 716 млрд долларов, к концу 2032 года объем может достигнуть 1,2 трлн долларов. Годовой темп роста составит 5,4 % в период с 2023 по 2032 год.

Основной частью производства полиэтилена низкой плотности является реакторный блок. В работе анализируется и моделируется трубчатый реактор полимеризации этилена, состоящий из 3-х зон. Химические реакции представлены в таблице 1. Скорость реакции была рассчитана исходя из показателей режима (температура, давление) и кинетических постоянных (энергия активации, объем активации и предэкспоненциальный множитель) с помощью модифицированного уравнения Аррениуса.

$$k = k_{ref} \exp \left(\frac{-(E_a + \Delta V P)}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right); \quad (1)$$

где k – скорость реакции, моль/(л•сек); k_{ref} – предэкспоненциальный множитель, 1/сек; E_a – энергия активации, Дж/кмоль; ΔV – объем активации, м³/кмоль; P – давление процесса, Па;

R – газовая постоянная; T – температура процесса, К; T_{ref} – температура референса, К (используется при имеющемся значении объема активации).

В рассматриваемом процессе используется 5 различных инициаторов. Основным сырьем является этилен, пропилен является сополимером, который также подается в реактор. Скорость потока сырья в реакторе в среднем равна 20 м/с, длина одной зоны 500 метров. Конверсия для данного типа реактора составляет 30 % для всего реактора и 10 % для первой зоны.

Задача исследования – создание модели для описания изменения концентрации веществ по длине реактора. На данном этапе выполнения работ разработана математическая модель для расчета концентрации веществ. Ниже на рисунке 1 и 2 представлен результат моделирования.

Таблица 1. Химические реакции, протекающие в трубчатом реакторе

№	Описание реакции	Реакция
1	Разложение инициаторов	$I \rightarrow 2R^*$
2	Инициация цепи	$R^* + M \rightarrow P_1$
3	Рост цепи	$P_n + M \rightarrow P_{(n+1)}$

Согласно графикам выше, можно сделать вывод, что на данном этапе модель показывает изменение концентраций веществ в верном направлении. При увеличении времени до 75 секунд (1500 метров), конверсия составит 27 %.

Для более точного расчета изменения концентрации требуется дополнить модель расчетом температурного профиля и профиля перепада давления. На данном этапе разработана модель для расчета предварительного профиля температур, однако, модель требует калибровки.

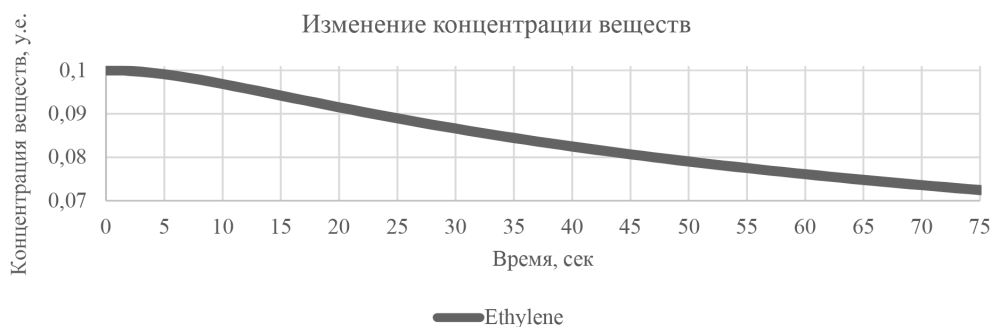


Рис. 1. Изменение концентрации этилена во времени (1-я зона реактора)

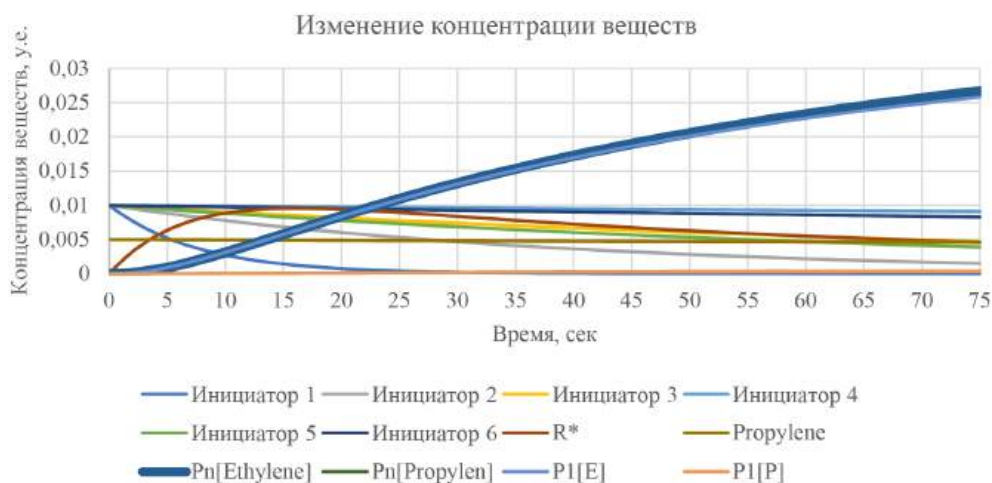


Рис. 2. Изменение концентрации инициаторов, радикалов и частиц полимеров во времени (1-я зона реактора)

Список литературы

1. Поляков А.В., Дунтов Ф.И., Софиев А.Э. Полиэтилен высокого давления. Научно-технические основы промышленного синтеза. – Л. : Химия, 1985. – 560 с.
2. Сидорова Ю.С., Вацагина Е.К., Плотников В.В., Кантюков Р.Р., Тахавиев М.С. По-

строение математической модели процесса гетерофазной полимеризации этилена в трубчатом реакторе // Журнал «Вестник технологического университета». – 2015. – Т. 18. – № 4.