

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра технологии нефтехимического синтеза и переработки  
полимерных материалов**

**Методические указания, программы и Контрольные вопросы  
по курсу ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ  
ПОЛИМЕРОВ для студентов специальности 1-48 01 02  
«Химическая технология органических веществ, материалов  
и изделий»**

**специализации 1-48 01 02 06 «Технология переработки  
пластмасс»  
заочной формы обучения**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ**

Курс «Теоретические основы переработки полимеров» является составной частью теоретической подготовки инженеров-химиков-технологов, призванных грамотно осуществлять процессы переработки пластмасс. Дисциплина основывается на знаниях, полученных студентом в результате изучения курсов «Физики», «Теоретической механики», «Высшей математики», «Физической химии» и изучается одновременно с дисциплиной «Химия и физика полимеров».

Основная цель данного курса – теоретическая подготовка студентов для осознанного и творческого управления процессами получения изделий из пластмасс, регулирования свойств полимерных материалов и изделий с учетом предполагаемых условий их эксплуатации.

Основная задача курса – освоение студентами методов регулирования вязкости расплавов полимеров, структуры и свойств полимерных материалов как за счет вариации химического строения и состава полимеров, так и за счет выбора оптимальных температурно-силовых воздействий на материал.

В результате изучения курса студент должен знать основные реологические закономерности для термопластов, терморезактивных олигомеров, резиновых смесей; модели и уравнения, описывающие течение расплавов полимеров по каналам оборудования, и главные эффекты, сопровождающие это течение; процессы смешения и наполнения полимеров и структуру композиционных материалов; влияние молекулярной и надмолекулярной структуры полимеров на процессы сорбции, диффузии, проницаемости в пластмассах и резинах; факторы, влияющие на адгезию, прочность и усталостную выносливость пластмасс и резин. Кроме того, студент должен уметь количественно оценивать влияние на вязкость расплавов молекулярной массы и разветвляемости полимеров, температуры и давления переработки; рассчитывать напряжение сдвига, скорость сдвиговой деформации и расход расплавов в каналах различного сечения; учитывать влияние релаксационных процессов на технологические параметры переработки эластомеров и термопластов; выбирать оптимальные условия смешения компонентов; устанавливать наиболее рациональные условия эксплуатации изделий из резин и пластмасс.

## **Программа курса**

### **Введение**

Целью данной дисциплины является всестороннее аналитическое описание процессов переработки полимеров, рассмотрение теоретических и технологических вопросов влияния условий переработки и характеристик полимера на вязкоупругие, высокоэластические свойства и релаксационные процессы в текучих полимерных системах.

### **Реология расплавов полимеров**

Реология полимеров, основные понятия. Главная задача реологии. Сдвиговая вязкость, эффект аномалии вязкости. Соотношение между сдвиговой и продольной вязкостями.

Вязкость полимеров. Температурная зависимость вязкости, энергия активации течения. Зависимость вязкости от молекулярной массы и разветвленности полимеров. Критическая молекулярная масса.

Физические модели основных технологических процессов переработки полимеров: модели идеальных тел, линейные модели вязкоупругих тел; модели вязкопластичных тел.

Принцип суперпозиции Больцмана. Спектры времен релаксации и запаздывания. Зависимость вязкости от давления. Обобщенная характеристика вязкостных свойств полимеров.

Установившееся изометрическое течение жидкости: в каналах круглого сечения; между двумя коаксиальными цилиндрами. Вязкоупругие свойства и релаксационные процессы в текучих полимерных системах.

Нормальные напряжения при течении полимеров. Эффект Вайсенберга. Высокоэластические деформации в расплавах и растворах полимеров.

Зависимость высокоэластических свойств полимерных систем от молекулярной массы и молекулярно-массового распределения. Свободное упругое восстановление струи (Баррус-эффект). Дробление поверхности экструдата («эластическая турбулентность»).

Экспериментальные методы изучения реологических свойств расплавов полимеров. Капиллярные и ротационные вискозиметры, их классификация и характеристика.

### **Реологические свойства термореактивных олигомеров и эластомеров**

Реологические свойства термореактивных материалов. Вязкостные свойства. Кинетические закономерности процесса отверждения релаксационных олигомеров. Основные закономерности и эффекты,

сопровождаящие процесс деформирования материалов на основе релаксационноспособных олигомеров.

Методы модификации технологических свойств терморезистивных материалов. Особенности легирования реактопластов.

Микрореологическое описание вязкоэластичных свойств наполненных эластомеров. Влияние наполнения эластомеров. Тиксотропные свойства резиновых смесей, наполненных техническим углеродом.

### **Смешение и наполнение полимеров**

Смешение полимеров, понятие о их термодинамической и эксплуатационной совместимости.

Наполненные полимеры. Физические взаимодействия в системе полимер – наполнитель. Механизм усиления эластомеров и сетчатых полимеров наполнителями.

### **Дисперсии полимеров. Адгезия, склеивание и пропитка материалов**

Особенности свойств дисперсий полимеров. Устойчивость и стабилизация дисперсных систем. Закономерности формирования изделий из полимерных дисперсий, в частности латексов. Теоретические основы адгезии, склеивания и пропитки материалов.

### **Диффузия, сорбция, проницаемость в полимерах**

Теоретические основы проницаемости полимерных систем по отношению к различным жидкостям и газам. Диффузия, сорбция, проницаемость; факторы, влияющие на эти процессы (гибкость макромолекул, полярность полимера, уровень межмолекулярных взаимодействий, степень кристалличности полимерного материала, размер кристаллических образований, влажность материала, природа и содержание наполнителей и пластификаторов).

### **Механические свойства пластмасс и резин**

Прочность полимерных материалов. Теоретическая и техническая прочность. Теория Гриффита и кинетическая теория прочности.

Факторы, определяющие прочность полимеров. Динамическая усталость пластмасс и резин.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные понятия в реологии полимеров: деформация, напряжение. Основная задача реологии.

2. Упругость, вязкость и пластическое течение. Эффект аномалии вязкости. Основные виды аномалии вязкости: псевдопластичность, дилатансия, тиксотропия, реопексия.
3. Сдвиговая и продольная вязкости, соотношение между ними. Температурная зависимость вязкости.
4. Энергия активации течения.
5. Зависимость вязкости от молекулярной массы. Критическая молекулярная масса.
6. Модели идеальных тел (Гука, Ньютона, Сен-Венана).
7. Линейные модели вязкоупругих тел (Максвелла, Кельвина – Фойгта).
8. Модели вязкопластичных тел (Бингама, Шведова).
9. Принцип суперпозиции Больцмана.
10. Спектры времен релаксации и запаздывания.
11. Зависимость вязкости от давления.
12. Обобщенная характеристика вязкостных свойств полимеров.
13. Изотермическое течение в каналах круглого сечения. Установившееся изотермическое течение между двумя параллельными пластинами.
14. Куэттовское течение.
15. Нормальные напряжения при течении полимеров.
16. Вязкоупругие свойства и релаксационные процессы в полимерах.
17. Зависимость вязкости полимеров от их разветвления.
18. Эффект Вайсенберга.
19. Аномалия вязкости и нормальные напряжения.
20. Высокоэластические деформации в расплавах полимеров.
21. Влияние молекулярной массы на высокоэластичность. Влияние молекулярно-массового распределения на высокоэластичность.
22. Зависимость высокоэластической деформации расплавов полимеров от скорости сдвига и от температуры.
23. Эффект Барруса.
24. Дробление поверхности экструдата («эластическая турбулентность»).
25. Экспериментальные методы изучения реологических свойств расплавов полимеров. Капиллярные и ротационные вискозиметры.
26. Одноосное растяжение полимеров (полная деформация растяжения, скорость деформации растяжения).
27. Реологические свойства термореактивных материалов. Вязкостные свойства и кинетические закономерности процесса отверждения реакционноспособных олигомеров.
28. Зависимость вязкости реактопластов от температуры и от времени.

29. Зависимость вязкости реактопластов от степени отверждения и от скорости деформирования.

30. Зависимость вязкости реактопластов от скорости деформирования в условиях протекания химической реакции отверждения.

31. Теоретические основы процесса легирования реактопластов с позиции кинетической теории прочности.

32. Соотношение между нормальными напряжениями и напряжениями сдвига. Формула Лоджа. Зависимость нормальных напряжений от скорости сдвига.

33. Влияние скорости сдвига, температуры и длины канала на коэффициент эластического восстановления струи.

34. Поведение тел Максвелла и Кельвина – Фойгта при динамическом режиме деформации.

35. Реологические свойства эластомеров, их комплексная эластическая деформация и деформация вязкого течения.

36. Основные соотношения для описания реологических свойств эластомеров (структурно-реологическая концепция Эйринга – Тобольского).

37. Тиксотропные свойства каучука и резиновых смесей, наполненных техническим углеродом.

38. Микрореологическое описание вязкоэластичных свойств наполненных эластомеров (уравнения Муни, Кернера, Бартенева).

39. Методы модификации технологических свойств реактопластов.

40. Основные реакции, протекающие в процессе термодеструкции полимеров.

41. Действие ионизирующих излучений и света на полимеры.

42. Механодеструкция полимеров при переработке.

43. Окисление полимеров. Механизм и кинетические закономерности.

44. Стабилизация полимеров для защиты от старения.

45. Смещение полимеров. Термодинамическая и эксплуатационная совместимость полимеров.

46. Наполнение полимеров. Физические взаимодействия в системе полимер – наполнитель. Механизм усиления эластомеров и сетчатых полимеров наполнителями.

47. Адгезия полимеров. Теории адгезии: механическая, молекулярная, электрическая, диффузионная, химического взаимодействия.

48. Склеивание полимерных материалов.

49. Сорбция полимерами, диффузия в полимерах.

50. Проницаемость полимеров.

51. Особенности свойств дисперсий полимеров.

52. Устойчивость и стабилизация дисперсных систем.
53. Закономерности формирования изделий из полимерных дисперсий, в частности латексов.
54. Теоретическая и техническая прочность полимеров. Теория Гриффита, масштабный фактор.
55. Кинетическая теория прочности, долговечность пластмасс и эластомеров. Факторы, влияющие на прочность полимеров.
56. Динамическая усталость резин и пластмасс. Факторы, влияющие на прочность полимеров.

## **Рекомендуемая литература**

### **Основная**

1. Ревяко, М. М. Теоретические основы переработки полимеров / М. М. Ревяко, Н. Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2009. – 305 с.
2. Виноградов, Г. В. Реология полимеров / Г. В. Виноградов, А. Я. Малкин. – М.: Химия, 1977. – 430 с.
3. Торнер, Р. В. Теоретические основы переработки пластмасс / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1977. – 400 с.
4. Акутин, М. С. Теоретические основы переработки пластмасс: в 2 ч. / М. С. Акутин, Н. В. Афанасьев. – М.: МХТИ, 1974. – 2 ч.
5. Бортников, В. Г. Основы технологии переработки пластических масс / В. Г. Бортников. – Л.: Химия, 1983. – 304 с.
6. Акутин, М. С. Реологические свойства реактопластов / М. С. Акутин, Н. В. Афанасьев. – М.: РХТУ, 1977. – 71 с.
7. Тадмор, З. Теоретические основы переработки полимеров / З. Тадмор, К. Гогос. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
8. Кулезнев, В. Н. Химия и физика полимеров / В. Н. Кулезнев, В. А. Шершнеv. – М.: Высшая школа, 1988. – 312 с.

### **Дополнительная**

1. Энциклопедия полимеров: в 3 т. – М.: Советская энциклопедия, 1972–1977. – 3 т.
2. Тугоv, И. И. Химия и физика полимеров / И. И. Тугоv, Г. И. Кострыкина. – М.: Химия, 1989. – 432 с.
3. Гуль, В. Е. Структура и механические свойства полимеров / В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев. – М.: Высшая школа, 1979. – 352 с.
4. Липатов, Ю. С. Физико-химия наполненных полимеров / Ю. С. Липатов. – Киев: Наукова думка, 1967. – 234 с.
5. Гордон, Г. Я. Стабилизация синтетических полимеров / Г. Я. Гордон. – М.: Госхимиздат, 1963. – 300 с.

6. Берлин, А. А. Основы адгезии полимеров / А. А. Берлин, В. Е. Басин. – М.: Химия, 1974. – 320 с.
7. Барамбойм, Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений / Н. К. Барамбойм. – М.: Химия, 1978. – 384 с.
8. Хан, Ч. Реология в процессах переработки полимеров / Ч. Хан. – М.: Химия, 1979. – 368 с.