

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.В.ДВ.05.02
(индекс дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Технологии переработки полимеров

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии

направленность (профиль)

Рациональное использование энергетических и сырьевых ресурсов

Форма обучения: очная

Год набора: 2020

Общая трудоемкость: 6 ЗЕ

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	8	Итого
Форма контроля	Экзамен	
Вид занятий		
Лекции	24	24
Лабораторные	36	36
Практические	24	24
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР		
Промежуточная аттестация	0.35	0.35
Контактная работа	84.35	84.35
Самостоятельная работа	96	96
Контроль	35,65	35,65
Итого	216	216

Рабочую программу составил(и):

Доцент, доцент, кандидат химических наук, Глухов П.А.

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☒

Отсутствует

☐

Рецензент

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

Срок действия рабочей программы дисциплины до «31» августа 2024 г.

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры
«Химическая технология и ресурсосбережение»

(протокол заседания № 2 от «19» сентября 2019 г.)

1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины - получение студентами навыков профессиональной деятельности, заключающихся в освоении методов и технологий переработки пластмасс в изделия, а также способов определения технологических и физико-механических свойств полимеров.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (учебный курс) относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» (вариативная часть, дисциплины по выбору).

Дисциплины, учебные курсы, на освоении которых базируется данная дисциплина (учебный курс) – «Высшая математика», «Физика», «Общая и неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Общая химическая технология».

Дисциплины, учебные курсы, для которых необходимы знания, умения, навыки, приобретаемые в результате изучения данной дисциплины (учебного курса)– «Технологии переработки и утилизации отходов 2», «Экологический контроль», «Проектирование энергоресурсосберегающих технологий».

3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
ПК-2 – способность осуществлять технологический процесс в соответствии с способностью участвовать в совершенствовании технологических процессов с позиций энерго- и ресурсосбережения, минимизации воздействия на окружающую среду	-	Знать: - методики термодинамического анализа химического производства для получения информации о происходящих в системе энергетических превращениях, определения КПД системы и отдельных её элементов, распределения и характера потерь в системе, определения относительного веса каждого элемента системы; - методы оценки энергетической эффективности производства; - методы расчёта основных видов эксергии и определения потерь эксергии при осуществлении различных технологических процессов; - основные приёмы использования вторичных энергоресурсов.
		Уметь: - использовать в будущей

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		<p>профессиональной деятельности методы расчёта ресурсов, необходимых для осуществления производства;</p> <p>- методику установления причин возникновения потерь при осуществлении технологических процессов и факторы, влияющие на величину этих потерь.</p> <p>Владеть:</p> <p>- навыками изыскания наиболее эффективных методов уменьшения затрат материальных и топливно-энергетических ресурсов при одновременном повышении технологических показателей;</p> <p>- приёмами проведения оптимизации различных параметров элементов энерго- и химико-технологических систем с целью получения максимальной термодинамической и экономической эффективности.</p>
ПК-5 готовность обосновывать конкретные технические решения при разработке технологических процессов; выбирать технические средства и технологии, направленные на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду		<p>Знать: сущность процессов переработки полимеров и использование теоретических знаний в комплексной инженерной деятельности направленные на минимизацию антропогенного воздействия на окружающую среду</p> <p>Уметь:- выполнять расчеты параметров процессов переработки полимеров на основе исследования физико-химических свойств полимеров.</p> <p>Владеть: навыками самостоятельной постановки теоретических задач и проведения экспериментальных физико-химических исследований полимеров</p>

4. Структура и содержание дисциплины

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1. Технология переработки полимеров	Лекция № 1	Вводная лекция. Цели и задачи дисциплины. Основные разновидности промышленных полимеров и пластмасс	8	4	-	-	
	Практическая работа №1.	Решение задач по теме «Формование полимерных изделий»	8	2	10	-	Отчет по практическому занятию № 1
	Лекция № 2	Классификация методов переработки полимеров. Основные физико-химические, реологические и технологические характеристики полимеров. Технические свойства полимеров.	8	4		-	
	Практическая работа № 2	Решение задач по теме «Характеристики волокнистых наполнителей».	8	2	10		Отчет по практическому занятию № 2
	Лабораторная работа № 1	Реологические свойства расплава полимеров. Определение характеристик полимера с помощью степенного закона Оствальда и Де Виля.	8	12	10	-	Отчет по лабораторной работе № 1

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Лекция № 3	Теоретические основы переработки пластмасс. Изготовление изделий из пластмасс методом экструзии, Изготовление деталей литьем под давлением. Прессование термореактивных материалов, формование изделий из листов	8	4	-	-	-
	Практическая работа №3	Решение задач по теме «Отверждение термореактивных связующих»	8	4	10	-	Отчет по практическому занятию № 3
	Лабораторная работа № 2	Термические свойства полимеров в твердом состоянии и расплаве. Определение удельного объема расплавленного полимера.	8	12	10	-	Отчет по лабораторной работе №2
	Лекция № 4	Переработка полимеров на валковых машинах.	8	4	-	-	Отчет по практическому занятию № 4
	Практическая работа № 4	Решение задач по теме «Физико-химическое взаимодействие между связующим и наполнителем в переходных слоях»	8	4	10	-	Отчет по практическому занятию № 4

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Лекция № 5	Механическая обработка изделий из пластмасс. Производство изделий из стеклопластиков изделий из пластмасс изделий из пластмасс. Сварка пластмасс. Склеивание пластмасс. Конструирование изделий из пластмасс	8	4	-	-	
	Практическая работа № 5	Решение задач по теме «Диффузионные процессы в системе «связующее-наполнитель»».	8	4	10		Отчет по практическому занятию № 5
	Лекция № 6	Техника безопасности при переработке пластмасс. Охрана окружающей среды при переработке пластмасс.	8	2	-	-	
	Лабораторная работа №3	Изучение процесса пленкообразования из растворов полимеров	8	12	10	-	Отчет по лабораторной работе №3
	Промежуточная аттестация		8	0,35			
	Лекция № 7	Принципы создания малоотходных и энерго-сберегающих технологических процессов	8	2	-	-	

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Практическая работа №6.	Расчет производительности экструдера.	8	4	10	-	Отчет по практическому занятию № 6
	Практическая работа №7.	Расчет валков и каландра	8	4	10	-	Отчет по практическому занятию № 7
	Самостоятельная работа	Изучение теоретического материала. Подготовка отчетов по практическим занятиям	8	96	-	-	
	Самостоятельная работа	Подготовка к экзамену	8	35,65	-	-	Экзамен
Итого:				216			

5. Образовательные технологии

При реализации учебного курса дисциплины используются технология традиционного обучения, включающая лекции и практические работы, которые предполагают последовательное изложение материала преподавателем. Лекция проводится с элементами дискуссии. Практическое занятие предусматривает решение задач, обсуждение результатов деятельности. Лабораторные работы проводятся в оборудованной лаборатории, с получением материальных результатов экспериментов.

6. Методические указания по освоению дисциплины

Учебные вопросы:

- способы переработки полимеров;
- свойства полимеров и их композиций.;
- основные типы оборудования для переработки пластмасс;

Изучив данную тему, студент должен:

знать:

- классификацию методов переработки полимеров; технологию переработки полимеров существующими методами;
- основные понятия и методы математического анализа, математической статистики;
- возможность регулирования свойств изделий из пластмасс различными приемами;
- основные свойства изделий и области их применения;

уметь:

- применять теоретические основы для решения конкретных практических задач
- проводить материальные расчеты; подбирать и вести расчеты основного технологического оборудования;
- применять междисциплинарный подход к анализу и решению проблем;

владеть навыками:

- планирования эксперимента, обработкой и представлением полученных результатов;
- выполнения расчетов оборудования по производству изделий из пластмасс.

При освоении темы необходимо:

- изучить учебный материал по дисциплине «Технологии переработки полимеров», используя лекционный материал и материал библиотечного фонда по данной тематике;
- ответить на контрольные вопросы:
 - Описание течения расплава полимера
 - Определение эффективной скорости сдвига полимера. Расчет эффективной скорости сдвига полимера
 - Определение эффективной вязкости полимера. Расчет эффективной вязкости полимера
 - Степенной закон Оствальда и Де Вилля
 - Формула Клейна для расчета вязкости
 - Определение индекса расплава
 - Взаимосвязь между расходом и потерей давления
 - Скорость сдвига для экструзионных фильер
 - Методика определения и методика расчета удельного объема полимеров при нагревании.
 - Методика расчета теплоемкости полимерных композиций
 - Методика расчета коэффициента термического расширения
 - Расчет энтальпии процессов термической переработки полимеров

Расчет теплопроводности полимеров
Коэффициент проникновения тепла
Методика определения деформационной теплостойкости
Определение теплостойкости по закону Вика
Стационарная теплопроводность плоской полимерной стенки, цилиндра, полый сферы, сферы
Теплопроводность в композитных стенках. Общая теплопередача через композитные стенки. Нестационарная теплопроводность
Безразмерные полимерные комплексы. Конвективная теплопередача. Радиационная теплопередача
Диэлектрический нагрев. Закон диффузии Фика. Проницаемость полимерных композиций.
Процесс нанесения экструзионного покрытия посредством анализа размеров.
Теплопередача между пленкой и окружающим воздухом. Химическая кинетика
Конструкция экструдеров
Зона загрузки экструдеров
Зона дозирования (зона расплава)
Лабораторная конструкция трехзонных шнеков
Плавление твердых веществ. Толщина пленки расплава. Профиль плавления.
Температура расплава. Давление расплава
Теплопередача между расплавом и цилиндром
Производительность шнека
Флуктуация температуры расплава. Флуктуация давления
Механический расчет экструзионных шнеков

Методические рекомендации к выполнению самостоятельной работы:

1. Изучение теоретического материала по изучаемой теме, изложенного в учебно-методическом пособии.
2. Вопросы для самостоятельной работы студентов
 - 2.1. Технологии склеивания полимерных материалов
 - 2.2. Технологии сварки полимерных материалов
 - 2.3. Технологии обработки изделий из полимерных материалов
 - 2.4. Антикоррозионные свойства полимерных материалов
3. Подготовка к аудиторным занятиям (практическим, семинарским, лабораторным работам) и выполнение соответствующих заданий;
4. Самостоятельное прочтение, просмотр, Интернет-ресурсы, повторение учебного материала.
5. Подготовка сообщений, докладов, выступлений на семинарских и практических занятиях, подбор литературы по дисциплинарным проблемам.
6. Практическая работа с решением прикладных, расчетных и ситуационных задач, обсуждение результатов деятельности.
7. Подготовка отчетов по практическим работам:
 - 7.1. Предоставление отчета в электронном виде с названием файла, например ЭРТб-1501_ПР1_Иванов И.И. в соответствии с вариантом и требованиями к содержанию отчета.
 - 7.2. При сдаче отчета студент должен ответить на вопросы преподавателя по теме практической работе в устной форме, используя отчет по практической работе.

7. Оценочные средства

7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
8	ПК-2	Отчеты по практическим занятиям № 1-7 и лабораторным работам № 1-3. Вопросы к экзамену 1-55. Тестовые задания № 1-500.
8	ПК-5	Отчеты по практическим занятиям № 1-7 и лабораторным работам № 1-3. Вопросы к экзамену 1-55. Тестовые задания № 1-500.

7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

7.2.1 Отчет по практическому занятию
(наименование оценочного средства)

Типовой пример задания

Лабораторная работа №1. Реологические свойства расплава полимеров. Определение характеристик термопластов (ПТР и вязкость)

Цели работы: изучить реологические свойства полимерных материалов и влияние на эти свойства наполнителей.

Задание:

1. Изучить законы течения расплавов термопластов.
2. Знать особенности течения расплавов полимеров в каналах круглого сечения.
3. Провести расчет ПТР и вязкости расплава термопласта согласно таб. 1,2,3.

Расчет ПТР, г/10 мин, проводят по формуле

$$ПТР(T, F) = (m/t)t_c,$$

где T - температура К;

F - нагрузка, Н;

t_c - стандартное время определения ПТР (600 с);

t - интервалы времени между двумя последовательными отсечениями отрезков, с;

m - средняя масса экструдированного образца за время t , г.

Расчет вязкости расплава полимера по ПТР, проводится по следующей формуле

$$\eta_{\text{ПТР}} = ПТР / \dot{\gamma}_{\text{ПТР}},$$

где $\dot{\gamma}_{\text{ПТР}}$ - скорость сдвига, соответствующая ПТР при температуре измерения ПТР.

Скорость сдвига $\dot{\gamma}_{\text{ПТР}}$ (с⁻¹) рассчитываем по уравнению

$$\dot{\gamma}_{\text{ПТР}} = \frac{4ПТР}{t_c \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho},$$

где ρ - плотность полимера при температуре измерения ПТР, г/см³;

r - радиус капилляра, м (табл.2).

Напряжение сдвига $\tau_{\text{ПТР}}$ (Н/м²) рассчитывают по уравнению

$$\tau_{\text{ПТР}} = \frac{2F \cdot r}{\pi \cdot D^2 (L + v \cdot r)},$$

где F - нагрузка на испытуемый термопласт, Н;

D - диаметр направляющей головки поршня (9,0 мм), м;
 L - длина капилляра (8 мм), м;
 V - входовая поправка (таб.2).

Таблица 1 - Стандартные условия определения термопластов (ГОСТ 11645-73)

Вариант	Внутренний диаметр капилляра, мм	Температура испытания, К (°С)	Нагрузка, Н (кгс)
1	от 1,160 до 1,170	463 (190)	21,19(2,160)
2	от 2,090 до 2,100	423(150)	21,19(2,160)
3	-«-	463 (190)	2,19(0,325)
4	-«-	463 (190)	21,19(2,160)
5	-«-	463 (190)	98,10(10,00)
6	-«-	463 (190)	211,90(21,600)
7	-«-	473 (200)	49,05 (5,000)
8	-«-	473 (200)	98,10(10,00)
9	-«-	503 (230)	3,19(0,325)
10	-«-	503 (230)	11,77(1,000)
11	-«-	503 (230)	21,19(2,160)
12	-«-	503 (230)	-37,28(3,800)
13	-«-	538 (265)	122,62(12,500)
14	-«-	548 (275)	3,19(0,325)
15	-«-	553 (280)	21,19(2,160)
16	-«-	463 (190)	49,05 (5,000)
17	-«-	533 (260)	49,05 (5,000)
18	-«-	493 (220)	98,10(10,00)
19	-«-	523(250)	49,05 (5,000)

Таблица 2 - Рекомендации по условиям определения ПТР и значению констант

Термопласт	Варианты	Плотность полимера, г/дм ³	Входовая поправка, v	Температура измерения входовой поправки, К(°С)
пЭВП	1,3,4,5,7,18	950-960	5-7	
пЭНП	1,3,4,5,7,18	910-930	6-14	493 (220)
ПВА	2			
эц	3,4,7			
ПС	6,8,11,13	1050-1200	3-26	493 (220)
АБС, СНП	8,20		1,5-24	493 (220)
ПАК	3,11,13	1150-1200		
ПП	4,5,6,12,14,19	900-910	6-10	
ПА	10,11,12,16	1010-1150	1,2-2	523 (250)

ПК	17,21	1190-1200	2-3	548 (275)
ПТФЭ	15	2150-2270		

Таблица 3 - Масса образца, загруженного в экструзионную камеру, промежутки времени, через которые срезают прутки

ПТР, г/10 мин	Масса образца, г	Промежутки времени, с
до 0,5	4-5	240
от 0,5 до 1,0	4-5	120
свыше 1,0 до 3,5	4-5	60
от 3,5 до 10	6-8	30
от 10 до 26,0	6-8	10-15
25,0	6-8	5-15

4.Подготовить отчет по практической работе

Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

Лабораторная работа №2. Термические свойства полимеров в твердом состоянии и расплаве. Определение удельного объема расплавов полимеров

Цели работы: Изучение зависимости удельного объема термопластов от температуры, определение констант уравнения состояния.

Задание:

1. Изучить законы тепловых изменений геометрических размеров термопластов.
2. Знать особенности поведения расплавов в зависимости от температуры.
3. Провести исследование удельного объема расплава термопласта согласно табл. 1

Таблица 1.

Материал: ПП 1120-16

Температура нагревательной камеры, °С	Нагрузка, Н	Масса образца, *10-3кг	Удельный объем образца, *10-3м3/кг	Плотность образца, кг/м3
190	130	4,49		2100
	140	4,51		2150
	150	4,49		2200
	160	4,55		2300
	170	4,5		2400
	180	4,22		2500
230	130	4,55		2100
	140	4,56		2150
	150	4,51		2200
	160	4,5		2300
	170	4,5		2400

250	180	4,51		2500
	130	4,5		2100
	140	4,49		2150
	150	4,47		2200
	160	4,49		2300
	170	4,48		2400
	180	4,55		2500

V_t - объем таблетки при текущей температуре, м³,

$$V_t = \frac{\pi \times D_k^2}{4} \times h = 2,42 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

D_k - диаметр капилляра, 9.5мм.

h - расстояние между метками 34,2 мм.

Расчет удельной плотности образца:

$$\rho = \frac{m}{V_T} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right]$$

m – Масса образца, кг

Расчет удельного объема образца:

$$V_{уд} = \frac{V_T}{m} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{кг}} \right]$$

Расчёт давления на расплав для каждого варианта:

$$P = \frac{4 \times g \times m}{\pi \times D_k}, [\text{МПа}]$$

Критерии оценки:

оценка «зачтено» ставится студенту, если отчет по практическому занятию включает более 50% от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии;

оценка «не зачтено» ставится студенту, если отчет практическому занятию включает менее 50% от требуемого объема.

Лабораторная работа №3 Изучение процесса пленкообразования из растворов полимеров.

Цель работы:

1. Провести визуальное наблюдение процесса разделения раствора на фазы под действием осадителей при пленкообразовании. Получить пористые пленки.

2. Получить монолитные пленки путем испарения растворителя. **Задание:**

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении работы.

2. Приготовить 100 мл раствора полимера (по заданию) согласно 28 режимам и рецепту, указанным в табл.2.1.

Таблица 2.1 Условия растворения полимеров и применяемые осадители

Полимер	Растворитель	Концентрация	Температура	Осадитель
Поливинилхлорид	Диметилформамид	10	90-95	вода
Полиамид – 6/66-3	Этанол (70%)	20	80-85	вода
Полиметилметакрилат	Этилацетат	20	50-60	вода

Растворение полимера проводят в колбе с обратным холодильником при помешивании. Для ускорения процесса растворения навеску полимера заливают небольшим количеством растворителя так, чтобы полимер был покрыт растворителем, и дают полимеру набухнуть ($\tau=30$ мин). Затем добавляют остальное количество растворителя, нагревают и перемешивают. Полноту растворения контролируют по отсутствию набухших частиц полимера на стенках колбы при ее наклоне. После растворения полимера содержимое колбы хорошо перемешивают и прекращают нагревание. Раствору дают отстояться, чтобы исчезли пузырьки воздуха. 3. Из приготовленных растворов получить пленку двумя методами: – с использованием осадителя, – путем испарения растворителя. 3.1. По первому способу часть полученного раствора выливают на стекло, ближе к одному из краев. С помощью металлической ракля, нагретой до температуры раствора, получают на стекле слой раствора заданной толщины (~1 мм). Стекло оставляют на столе при комнатной температуре в строго горизонтальном положении на 30-45 с. и затем осторожно опускают его в ванну (кювету) с осадителем. При погружении не должны образовываться обрывки формирующейся пленки. Поверхность слоя раствора должна быть ровной, без пузырьков. В осадительной ванне слой раствора постепенно мутнеет, а затем переходит в белую непрозрачную пленку. Образование пленки под действием 30 осадителей происходит в течение 10-35 мин. После этого пленку вынимают из осадительной ванны, промывают и сушат в термостате при температуре 70-100°C. 3.2. Получение пленок из растворов полимеров путем испарения растворителя сводится к нанесению на стекло слоя раствора толщиной 0,2–0,25 мм и последующему испарению летучих растворителей при температуре 70- 110°C. После охлаждения пленку снимают со стекла.

4. По окончании работы привести в порядок рабочее место.

5. Провести визуальную оценку качества полученных пленок, отметить отличия пленок в зависимости от способа получения. Сделать выводы по работе, оформить отчет.

9.2.2. Типовые задания по практическим занятиям

Практическая работа № 1 Решение задач по теме «Формование полимерных изделий».

Цель работы: Приобретение навыков расчета практических задач по формованию полимерных изделий из переработанных пластмасс

Задание

1. Рассчитать массовую скорость m , г / мин истечения расплавленного поликапроамида при линейной скорости формования $v=700$ м/мин [650, 900, 850, 670, 450, 500] капроновой нити метрического номера $N=10,7$ [10,3; 9,8; 9,5; 10,1; 9,0; 15,0] , если плотность капрона $\rho=1,14$ г/ см³. Рассчитав эффективное сечение нити S , мкм² по соотношению

$S=10^6 / N\rho$, определите условный радиус нити r .

Пример решения:

Толщина нити в текстах $T=1000/N=93,4$ г/1000м

$$S = \frac{10^3 T}{\rho} = \frac{10^6}{N\rho} = \frac{10^3 \cdot 93,4}{1,14} \approx 82000 \text{ мкм}^2 = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2.$$

Объёмная скорость V истечения расплава $V=v \cdot S=7 \cdot 10^4 \text{ см/мин} \cdot 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2=57,4$ см³/мин

Массовая скорость истечения расплава

$$m = V \cdot \rho = 57,4 \text{ см}^3/\text{мин} \cdot 1,14 \text{ г/см}^3 = 65,4 \text{ г/мин} = 1,09 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

$$S = \pi r^2; r = \sqrt{S/\pi} = \sqrt{82000/3,14} = 160 \text{ мкм}$$

$$\text{Ответ: } m = 65,4 \text{ г/мин; } r = 160 \text{ мкм}$$

2. Пользуясь законом Пуазейля $m = \frac{\Delta P \pi r^4 \rho}{q \ell \eta}$, определить поправку q , характеризующую отклонение реального полимера от ньютоновской жидкости. Принять: $m = 65,4 \text{ г/мин}$ [65,6; 63,2; 61,6; 66,8; 64,9; 66,9]. $\Delta P = 10 \text{ кгс/см}^2$ [9; 8; 6; 7; 11; 12]; $r = 160 \text{ мкм}$ [155; 170; 166; 117; 119; 121]; $\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$; $\ell = 1 \text{ см}$; $\eta = 8 \text{ Па} \cdot \text{с}$

Подсчитать, во сколько раз понизилась вязкость при течении? Какова причина этого явления?

Пример решения:

Для расчёта величины q из указанного соотношения все входящие в него величины необходимо выразить в единицах системы СИ:

$$\Delta P = 10 \text{ кгс/см}^2 = 10/9,8 \text{ МПа} = 1,02 \text{ МПа} = 1,02 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$r = 160 \text{ мкм} = 160 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \rho = 1,14 \text{ г/см}^3 = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3 = 1140 \text{ кг/м}^3; \ell = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м};$$

$$q = \frac{\Delta P \pi r^4 \rho}{m \ell \eta} = \frac{1,02 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot 1,6^4 \cdot 10^{-16} \cdot 1,14 \cdot 10^{-3}}{10^{-2} \cdot 8 \cdot 1,09 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^3 \cdot \text{м} \cdot \text{Па} \cdot \text{с} \cdot \text{кг}} = 2,75 \cdot 10^{-2};$$

В начальном состоянии : $\eta_1 = \eta_n$

В конечном состоянии : $\eta_2 = \eta_k = 0,0275 \eta_n$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\eta_n}{0,0275 \eta_n} \approx 36$$

Ответ: $q = 2,75 \cdot 10^{-2}$; вязкость полимера понизилась в 36 раз.

3. Найти показатель степени m в обобщённом законе течения жидкостей $\sigma = \eta \cdot \dot{\gamma}^m$, если при увеличении напряжения σ в 2 [3,4,5,6,7,8,9] раза скорость деформирования $\dot{\gamma}$ увеличилась в 12 [11,13,14,15,16,17,18] раз, а вязкость η жидкого полимера понизилась в 5 раз. О каких структурных изменениях в полимере свидетельствует полученное значение m ?

Решение

Записываем обобщённый закон течения в начальном и конечном состояниях рассматриваемой системы:

$$\sigma_1 = \eta_1 \gamma_1^m$$

$$2\sigma_1 = 0,2\eta_1 \cdot 12^m \gamma_1^m$$

Почленно логарифмируем эти соотношения:

$$\lg \sigma_1 = \lg \eta_1 + m \lg \gamma_1$$

$$\lg 2 + \lg \sigma_1 = \lg 0,2 + \lg \eta_1 + m \lg 12 + m \lg \gamma_1$$

и вычитаем одно из другого:

$$\lg \sigma_1 - \lg 2 - \lg \sigma_1 = \lg \eta_1 + m \lg \gamma_1 - \lg 0,2 - \lg \eta_1 - m \lg 12 - m \lg \gamma_1$$

После взаимного уничтожения некоторых слагаемых получаем алгебраическое уравнение:

$$\lg 2 - \lg 0,2 = \frac{\lg 2 - \lg 0,2}{\lg 12} = \frac{0,3 + 0,7}{1,08} \approx 0,92$$

Ответ: $m=0,92$; значение $m < 1$ свидетельствует об уменьшении размера надмолекулярных структур в процессе переработки полимера.

4. Найти напряжение σ , при котором вязкость расплава поликапроамида составляет $\eta=9$ Па·с при скорости деформирования $\dot{\gamma}=0,3$ мин⁻¹, если показатель степени в обобщённом законе течения $\sigma=\eta \dot{\gamma}^m$ $m=0,92$.

Решение:

$$\dot{\gamma}=0,3 \text{ мин}^{-1} = \frac{0,3}{60} \text{ с}^{-1} = 0,005 \text{ с}^{-1}$$

Применяем обобщённый закон течения:

$$\sigma = 9 \cdot 0,005^{0,92};$$

$$\lg \sigma = \lg 9 + 0,92 \lg (5 \cdot 10^{-3}) = \lg 9 + 0,92 \lg 5 - 2,760 = 0,954 + 0,92 \cdot 0,699 - 2,760 = -1,163. \text{ Следовательно } \sigma = 10^{-1,163} \approx 0,07 \text{ Па}$$

Ответ : $\sigma=0,07$ Па

5. Вычислить среднюю массу межузловых цепей в сетчатом полимере, если модуль упругости при растяжении $E_p = 109$ Па. Расчёт проводить по

соотношению $\frac{P}{M_c} = \frac{3RT\rho}{E_p}$, где $T=393$ К, $\rho=1200$ кг/м³, $R=8,31$ Дж/моль·К. Каково соотношение между модулями упругости при растяжении и межслоевом сдвиге?

Решение

$$\frac{P}{M_c} = \frac{3RT\rho}{E_p} = \frac{3 \cdot 8,31 \text{ Дж} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 \cdot 393 \text{ К} \cdot 1200 \text{ кг}}{10^9 \text{ Н} \cdot \text{моль} \cdot \text{К} \cdot \text{м}^3} = 0,0117 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \approx 12 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Полученное среднее значение массы межузловых цепей $M_c = 12$ г/моль соответствует физическим узлам ветвления (перепутывания), поскольку физические сетки значительно более частые, чем химические сетки.

Ответ : $M_c = 0,012$ кг/моль = 12 г/моль

6. Вычислить среднюю толщину в прослойки связующего при равномерном распределении однонаправленных элементарных волокон в материале. В качестве наполнителя используется техническая нить капрон с линейной плотностью $T=90$. Масса прессованного образца 40 г при массовом соотношении связующего и наполнителя 1:1. Плотность эпоксидного связующего $\rho_{св.} = 1,2$ г/см³, плотность капрона $\rho_{капр} = 1,14$ г/см³. Для расчёта применить соотношение

$$\left\{ \right.$$

$$d = \sqrt{\frac{T \left(\frac{m_{св.}}{\rho_{св.}} + \frac{m_{нап.}}{\rho_{нап.}} \right)}{10^5 \cdot m_{нап.}}} - 2 \sqrt{\frac{T}{10^5 \cdot \pi \cdot \rho_{нап.}}}$$

где $m_{св.}$ и $m_{нап.}$ - масса связующего и наполнителя в образце, г, соответственно.

Указанное соотношение получено для модели равномерного распределения армирующих волокон в поперечном сечении образца ПКМ. При этом суммарная площадь промежуточных слоёв определяется как разность общей площади поперечного сечения образца и суммарной площади поперечных сечений армирующих волокон.

Решение

$$\begin{aligned} d &= \left\{ \sqrt{\frac{90 \left(\frac{20}{1,2} + \frac{20}{1,14} \right)}{10^5 \cdot 20}} - 2 \sqrt{\frac{90}{10^5 \cdot 3,14 \cdot 1,14}} \right\} = \sqrt{\frac{90(16,7 + 17,6)}{10^5 \cdot 20}} - 2 \sqrt{\frac{90}{10^5 \cdot 3,58}} = \\ &= \sqrt{\frac{90 \cdot 34,3}{10^5 \cdot 20}} - 2 \sqrt{\frac{90}{10^5 \cdot 3,58}} = \sqrt{154 \cdot 10^{-5}} - 2 \sqrt{25,2 \cdot 10^{-5}} = 3,92 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 1,59 \cdot 10^{-2} = \\ &= 0,0392 - 0,0318 \text{ см} = 0,0074 \text{ см} \approx 0,07 \text{ мм} \end{aligned}$$

Ответ: $d \approx 0,07$ мм = 0,007 см = 70 мкм

7. Определить объем V , см³, децинормального (0,1 н) раствора соляной кислоты, пошедшего на нейтрализацию основных групп, содержащихся в 1 см³ смеси эпоксидная смола ЭД-20 -отвердитель полиэтиленполиамин (ПЭПА) по соотношению

$$V = N_{\text{Эпо}} (1 - x_{\text{ЭП}}) v_{\text{ЭП}} + (N_{\text{ОТВ}} - n x_{\text{ЭП}} N_{\text{Эпо}}) v_{\text{ОТВ}},$$

где $v_{\text{ЭП}} = 1,4 \cdot 10^{-20}$; $v_{\text{ОТВ}} = 3 \cdot 10^{-20}$ объём кислоты на нейтрализацию одной функциональной группы смолы и отвердителя, см³;

$N_{\text{Эпо}} = 3,6 \cdot 10^{20}$ част/см³, $N_{\text{ОТВ}} = 1,8 \cdot 10^{20}$ част/см³ - начальные концентрации эпоксидных групп и аминогрупп отвердителя;

$x_{\text{ЭП}} = 0,8$ – степень превращения эпоксидных групп в процессе отверждения;

$n \approx 2$ – среднее количество эпоксидных групп, связываемых одной аминогруппой отвердителя.

Решение:

Расходуемая при титровании хлористоводородная (соляная) кислота затрачивается главным образом на нейтрализацию эпоксидных групп смолы (первое слагаемое главного соотношения) и на нейтрализацию первичных аминогрупп отвердителя (второе слагаемое). Количество подлежащих нейтрализации кислотой основных групп определяется разностью начальных количеств и прореагировавших количеств указанных функциональных групп:

$$V = 3,6 \cdot 10^{20} \frac{\text{част}}{\text{см}^3} \cdot 0,2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-20} \frac{\text{см}^3}{\text{част}} + (1,8 \cdot 10^{20} \frac{\text{част}}{\text{см}^3} - 0,4 \cdot 3,6 \cdot 10^{20} \frac{\text{част}}{\text{см}^3}) \times$$

$$\times 3 \cdot 10^{-20} \frac{\text{см}^3}{\text{част}} = 1,008 \frac{\text{см}^3}{\text{част}} + 1,08 \frac{\text{см}^3}{\text{част}} = 2,088 \frac{\text{см}^3}{\text{част}}$$

Ответ: $V = 2,088 \frac{\text{см}^3}{\text{част}}$

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий решенные согласно выданным вариантам задачи, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствие с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

Практическая работа № 2 Решение задач по теме «Характеристики волокнистых наполнителей».

Цель работы: Приобретение навыков расчета практических задач по характеристикам волокнистых наполнителей изделий из переработанных пластмасс

Задание

1. Вычислить продолжительность τ , с заполнения глухих пор наполнителя эпоксидным связующим вязкостью $\eta = 7 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Средняя длина пор $\ell_o = 10 \text{ мкм}$, глубина заполнения $\ell = 7 \text{ мкм}$, внешнее давление $P_1 = 8 \text{ МПа} = 8 \cdot 10^6 \text{ Па}$, начальное давление внутри поры $P_2 = 10^5 \text{ Па}$ (атмосферное давление), радиус пор $R = 1 \text{ нм}$. Расчёт провести по соотношению

$$\tau = \frac{\ell^2 \eta}{R^2 \left[P_1 + P_2 \ln \frac{\ell_o - \ell}{\ell_o} \right]}$$

Что является движущей силой процесса заполнения пор, закрытых с одного конца (глухих пор)? Сформулируйте закон, который выражается используемым соотношением.

Решение:

Относительное заполнение поры $\left[\frac{\ell_o - \ell}{\ell_o} \right] < 1$, поэтому $\ln \left[\frac{\ell_o - \ell}{\ell_o} \right] < 0$ есть

величина отрицательная, поэтому $\left[P_1 + P_2 \ln \frac{\ell_o - \ell}{\ell_o} \right]$ есть разность давлений внешнего и внутри поры, то есть движущая сила процесса заполнения поры. Таким образом, продолжительность заполнения поры пропорциональна вязкости жидкого полимера и обратно пропорциональна движущей силе процесса. Для заполнения поры на 7 мкм (70% полной глубины) потребуется

$$\tau = \frac{(7 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 \cdot 7 \text{ Па}\cdot\text{с}}{(1 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 \left[8 \cdot 10^6 \text{ Па} + 10^5 \text{ Па} \cdot \ln \frac{(10 - 7) \cdot 10^{-6} \text{ м}}{10 \cdot 10^{-6} \text{ м}} \right]} = 43 \text{ с}$$

Ответ: $\tau = 43 \text{ с}$

2. Вычислить толщину переходного слоя δ в системе, содержащей $m_{\text{св}} = 13 \text{ г}$ фенольного связующего при содержании наполнителя (лавсан) 60% масс., если массовая доля переходного слоя $\gamma = 0,34$. Удельная поверхность наполнителя $S_{\text{уд}} = 6 \text{ м}^2/\text{г}$, плотность связующего $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$. Расчёт вести по соотношению

$$\delta = \frac{\gamma \cdot m}{\rho \cdot S_{\text{уд}}},$$

где m - масса связующего на 1 г наполнителя.

Что такое переходный слой и где он локализуется? [1]

Решение:

Среднюю толщину переходного слоя δ определяют как отношение объёма V переходного слоя к его поверхности, принимаемой равной поверхности наполнителя $S = S_{уд} \cdot m_{нап}$ (1).

$$\text{Масса наполнителя } m_{нап} = \frac{m_{св} \cdot 60}{40} \quad (2)$$

$$\text{Величина } V = \frac{\gamma \cdot m_{св}}{\rho} \quad (3). \text{ С учетом соотношений (1-3) получаем:}$$

$$\delta = \frac{V}{S} = \frac{\gamma \cdot m_{св} \cdot 40}{\rho \cdot S_{уд} \cdot m_{св} \cdot 60} = \frac{0,34 \cdot 40 \text{ см}^3 \cdot \text{г}}{1,2 \cdot 6 \cdot 10^4 \cdot 60 \text{ г} \cdot \text{см}^2} = 0,03 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,03 \text{ мкм}$$

$$\text{Ответ: } \delta = 0,03 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,03 \text{ мкм}$$

3. Методом обращенной газовой хроматографии (ОГХ) получено, что время удерживания τ паров этанола вискозной стренговой нитью (ВСН), помещенной в колонну хроматографа, составляет $\tau = 50,5$ с. Объемная скорость газа-носителя $V_r = 0,3$ мл/с. Объем V сорбированного нитью пара этанола вычислить по соотношению $V = V_r \cdot (\tau - \tau_0) = V_r \cdot \Delta\tau$ (1), где $\tau_0 = 15$ с – время удерживания несорбируемого компонента (“мёртвое” время колонки).

Считая пары этанола идеальным газом, следует найти количество молей и количество частиц в объёме V . При расчете суммарной поверхности S волокон принять, что сорбированный этанол покрыл поверхность мономолекулярным слоем, а площадь, занимаемая одной молекулой этанола, составляет $\delta = 20 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$. Найти удельную

$$\text{поверхность ВСН } S_{уд} = \frac{S}{m} \quad (2) \text{ при массе нити } m = 4,618 \text{ г.}$$

Что называют молем? Что такое удельная поверхность твердого материала?

Назовите основные части и принцип работы газового хроматографа.

Решение:

Количество молей n сорбированных паров находим с использованием объема одного моля

$$\text{идеального газа } 22400 \text{ мл/моль: } n = \frac{V}{22400} = \frac{V_{\varepsilon} \cdot \Delta\tau}{22400}$$

Количество сорбированных молекул N определяем через число Авогадро $A = 6,02 \cdot 10^{23}$ частиц/моль:

$$N = n \cdot A$$

Поверхность сорбции S определяем как площадь мономолекулярного слоя:

$$S = \delta N = \delta n A.$$

Отсюда удельная поверхность $S_{уд}$:

$$S_{уд} = \frac{S}{m} = \frac{\delta \cdot n \cdot A}{m} = \frac{\delta \cdot A \cdot V_{\varepsilon} \cdot \Delta \tau}{22400 m} = \frac{20 \cdot 10^{-12} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 0,3(50,5 - 15) \text{ м}^2 \cdot \text{част} \cdot \text{мл} \cdot \text{с} \cdot \text{моль}}{22400 \cdot 4,618 \cdot \text{част} \cdot \text{моль} \cdot \text{с} \cdot \text{мл} \cdot \text{г}} = \frac{56 \cdot \text{м}^2}{4,618 \cdot \text{г}} \approx 12,13 \text{ м}^2 / \text{г}$$

Ответ: $S = 56 \text{ м}^2$; $S_{уд} \approx 12 \text{ м}^2 / \text{г}$

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий решенные согласно выданным вариантам задачи, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

Практическая работа № 3 Отверждение термореактивных связующих

Цель работы: Приобретение навыков расчета практических задач по отверждению термореактивных связующих

Задание

1. Рассматривается процесс отверждения эпоксидной смолы ЭД-20. Температурная зависимость изобарной мольной теплоёмкости этой смолы $C_p^{\text{олиг}}$, Дж/моль·К, определяется соотношением

$$C_p^{\text{олиг}} = 595 + 0,47T + 0,0002T^2 \quad (1),$$

а температурная зависимость изобарной мольной теплоёмкости продукта с молекулярной массой 800 (димера) имеет вид

$$C_p^{\text{прод } 800} = 7019 - 37,9T + 0,0607T^2 \quad (2), \text{ то же для продукта с молекулярной массой 2000: } C_p^{\text{прод } 2000} = 17290 - 93,4T + 0,15T^2 \quad (3).$$

Вычислить тепловой эффект отверждения при 100°C, если при 30°C он составляет -122 кДж/моль, по соотношению:

$$Q_{373} = Q_{303} + \Delta \alpha_0 (373 - 303) + \frac{1}{2} \Delta \alpha_1 (373^2 - 303^2) + \frac{1}{3} \Delta \alpha_2 (373^3 - 303^3) \quad (4)$$

Решение:

В данной задаче рассматриваются две модельные реакции

2 Ол. \longrightarrow Прод₈₀₀ (I)

5 Ол. \longrightarrow Прод₂₀₀₀ (II),

где Ол.- исходный олигомер со средней молекулярной массой 400.

В соответствии с правилами термодинамики величины $\Delta\alpha_i$ рассчитываются по соотношениям:

$$\Delta\alpha_i = \alpha_{i \text{ прод } 800} - 2\alpha_{i \text{ ол}} \text{ для реакции (I) и}$$

$$\Delta\alpha_i = \alpha_{i \text{ прод } 2000} - 2\alpha_{i \text{ ол}} \text{ для реакции (II)}$$

1.Расчёт теплового эффекта реакции (I) при 373К:

$$\Delta\alpha_0 = 7019 - 2 \cdot 595 = 5829$$

$$\Delta\alpha_1 = -37,9 - 2 \cdot 0,466 = -38,832$$

$$\Delta\alpha_2 = 0,061 - 0,00042 = 0,0605,$$

При этом обязателен учет знака коэффициентов α_i :

$$Q_{373} = -122000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} + 5829 \cdot 70 - 19,416 \cdot 47320 + 0,02 \cdot 24076990 = -122000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} - 29195 \frac{\text{Дж}}{2 \text{ моль}} = -122000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} - 14597 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \approx -137 \text{ кДж/моль}$$

2.Расчёт теплового эффекта реакции (II) при 373 К:

$$\Delta\alpha_0 = 17290 - 5 \cdot 595 = 17290 - 2975 = 14315$$

$$\Delta\alpha_1 = -93,36 - 5 \cdot 0,466 = -93,36 - 2,33 = -95,69$$

$$\Delta\alpha_2 = 0,15 - 0,00021 \cdot 5 = 0,15 - 0,00105 = 0,14895$$

$$Q_{373} = -122000 + (14317 \cdot 70 - 0,5 \cdot 95,69 \cdot 47320 + 0,33 \cdot 0,14895 \cdot 24076990) = -122000 + (1002190 - 2264025 + 1177112) = -122000 + (2179302 - 2264025) = -122000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} -$$

$$-84723 \frac{\text{Дж}}{5 \text{ моль}} = -122000 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} - 16945 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \approx -139 \text{ кДж/моль}$$

$$\text{Ответ : } Q_{373} = -122 - 15 = -137 \text{ кДж/моль}$$

$$Q_{373} = -122 - 17 = -139 \text{ кДж/моль}$$

2. Найти поверхность S наполнителя в образце массой $m=21,6$ г при соотношении связующего и наполнителя 3:2 по массе, если в качестве наполнителя использована капроновая нить с удельной поверхностью $S_{\text{уд}} = 10 \text{ м}^2/\text{г}$

Решение:

Материал содержит две массовые части из пяти, то есть 40% масс.

Следовательно, масса наполнителя $m_{\text{нап}} = 21,6 \cdot 0,4 = 8,64$ г. Суммарная поверхность S всех макрочастиц наполнителя

$$S = m_{\text{нап}} \cdot S_{\text{уд}} = 8,642 \cdot 10 \frac{\text{м}^2}{\text{г}} = 86,4 \text{ м}^2$$

Ответ: $S = 86,4 \text{ м}^2$

3. Найти во сколько раз кажущаяся поверхность $S_{\text{расч}}$ капроновой нити толщиной $T = 2$ текс, состоящей из 50 элементарных волокон, отличается от удельной поверхности $S_{\text{уд}} = 10 \text{ м}^2/\text{г}$, плотность капрона $\rho = 1,14 \text{ г/см}^3$. Элементарные волокна считать круглыми

цилиндрами с поперечным сечением $F = \frac{10^3 T}{\rho} \text{ мкм}^2$. Почему удельная (истинная) поверхность значительно больше кажущейся (расчётной) поверхности?

Решение:

$$\text{Общее сечение нити } F = \frac{10^3 T}{\rho} = \frac{10^3 \cdot 2}{1,14} = 1754 \text{ мкм}^2$$

$$\text{Сечение элементарного волокна } F_{\text{вол}} = \frac{F}{n} = \frac{1754}{50} = 35 \text{ мкм}^2$$

$$\text{Условный радиус элементарного волокна } r = \sqrt{\frac{F_{\text{вол}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{35}{3,14}} = 3,34 \text{ мкм} = 3,34 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Из сущности определения толщины в тексах: $2 \text{ г} - 1000 \text{ м}$

$$1 \text{ г} - 500 \text{ м} = \ell$$

Поверхность круглого элементарного волокна определяется в основном как поверхность круглого цилиндра: $S = 2\pi \cdot r \cdot \ell = 6,28 \cdot 3,34 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot 500 \text{ м} =$

$$= 21 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 10488 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 0,0104876 \text{ м}^2 \approx 0,0105 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{расч}} = nS = 0,0104 \text{ м}^2 \cdot 50 = 0,52 \text{ м}^2/\text{г}$$

$$\text{Искомое отношение } S_{\text{уд}}/S_{\text{расч}} = \frac{10 \frac{\text{м}^2}{\text{г}}}{0,52 \frac{\text{м}^2}{\text{г}}} \approx 19$$

Большое отличие $S_{\text{уд}}$ от $S_{\text{расч}}$ обусловлено тем, что при вычислении $S_{\text{расч}}$ не учитывали дефекты поверхности.

$$\text{Ответ: } \frac{S_{\text{уд}}}{S_{\text{расч}}} \approx 19$$

4. Исходя из выражений для средней степени превращения связующего в композиции $x = x_{св} (1-\gamma) + \gamma$ (1) и степени превращения связующего в переходном слое $y = x_{св} + \chi$ (2), вывести соотношение для вычисления параметра влияния χ ($x_{св}$ - степень превращения связующего в объёме, γ - массовая доля связующего,образовавшего переходный слой).
Решение:

Подставив соотношение (2) в соотношение (1), получаем:

$$X = x_{св} - \gamma x_{св} + \gamma x_{св} + \chi \gamma$$

$$\text{Отсюда } \chi = \frac{x - x_{св}}{\gamma} = \frac{\Delta x}{\gamma}$$

$$\text{Ответ : } \chi = \frac{\Delta x}{\gamma}$$

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий решенные согласно выданным вариантам задачи, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

Практическая работа № 4 Физико-химическое взаимодействие между связующим и наполнителем в переходных слоях.

Цель работы: Приобретение навыков расчета практических задач по физико-химическому взаимодействию между связующим и наполнителем в переходных слоях.

Задание

1. Определить среднюю толщину δ переходного слоя, образованного фенолоформальдегидным связующим массой $m=12,96$ г на поверхности $S=86,4$ м² при массовой доле γ связующего, образовавшего переходный слой, $\gamma=0,56$. Плотность фенолоформальдегидного связующего $\rho=1,2$ г/см³.

Решение:

Средняя толщина переходного слоя определяется отношением объёма v переходного слоя к его площади S :

$$\delta = \frac{v}{S} = \frac{m\gamma}{\rho S} = \frac{12,96 \text{ г} \cdot 0,56 \cdot \text{см}^3}{1,2 \text{ г} \cdot 86,4 \cdot 10^4 \text{ см}^2} \approx 0,07 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,07 \text{ мкм}$$

Фенолформальдегидная смола образует на поверхности волокнистых наполнителей сравнительно тонкие переходные слои: 0,03 мкм – на поверхности лавсана (задача 9), 0,07 мкм – на поверхности капрона (задача 17).

Ответ: $\delta=0,07$ мкм

2. Определить концентрации непрореагировавших олигомеров в объеме связующего C_1 и в переходном слое C_2 , а также их разность $\Delta C = C_2 - C_1$ (движущую силу диффузии), если $x_{св} = 0,80$; $\chi = 0,17$; $\gamma = 0,56$. Общая масса связующего $m = 12,96$ г. Расчет вести по модели 1 (см. рис.1):

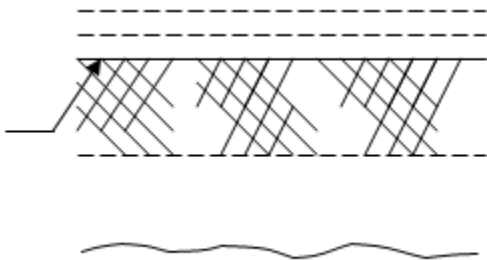


Рис.1 Схема переходного слоя по модели 1

Волокно

Переходный слой

Связующее в объёме

Плотность связующего $\rho = 1,2$ г/см³.

В какую сторону диффундируют олигомерные молекулы в соответствии с полученными результатами? Найти движущую силу диффузии $\Delta C = C_2 - C_1$.

Решение:

$C_1 \sim \frac{1 - x_{св}}{V}$ (1), $C_2 \sim \frac{\gamma(1 - y)}{v}$ (2), где V - объём связующего, v - объём переходного слоя.

$V = \frac{m(1 - \gamma)}{\rho}$ (3), $v = \frac{m\gamma}{\rho}$ (4), $y = x_{св} + \chi$ (5).

Подставляя (3), (4), (5) в (1) и (2), получаем:

$$C_1 = \frac{(1 - x_{св})\rho}{m(1 - \gamma)} = \frac{0,20 \cdot 1,2}{12,96 \cdot 0,44} = 0,04209 \text{ масс. доли/см}^3 = \text{см}^{-3}$$

$$C_2 = \frac{(1 - x_{св} - \chi)\rho}{m} = \frac{(1 - 0,97)1,2}{12,96} = 0,00280 \text{ см}^{-3}$$

$$\Delta C = C_2 - C_1 = 0,00280 - 0,04209 = -0,03929 \approx -0,0393 \text{ см}^{-3}$$

Ответ: $\Delta C = -0,0393 \text{ см}^{-3}$; олигомерные молекулы диффундируют из объёма связующего к поверхности наполнителя, т.к наполнитель ускоряет отверждение.

3. Определить среднюю толщину δ переходного слоя, образованного эпоксидным связующим массой $m = 12,96 \text{ г}$ на поверхности наполнителя $S = 86,4 \text{ м}^2$ при массовой доле связующего, образовавшего переходный слой, $\gamma = 0,90$. Плотность эпоксидного связующего $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$.

Решение:

Среднюю толщину переходного слоя можно оценить как отношение объёма переходного слоя v к его поверхности S :

$$\Delta = \frac{v}{S} = \frac{m\gamma}{\rho S} = \frac{12,96 \cdot 0,90}{1,2 \cdot 86,4 \cdot 10^4} \cdot \frac{\text{г} \cdot \text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{см}^2} = 0,1125 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,1125 \text{ мкм}$$

Ответ: $\delta = 0,1125 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,1125 \text{ мкм}$

4. Вычислить коэффициент диффузии D , олигомерных молекул фенолоформальдегидного связующего к поверхности волокна капрон используя соотношение $U = -DS(\Delta C/\delta)$ (первый закон Фика), где скорость диффузии $U = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, движущая сила диффузии $\Delta C = -0,0393 \text{ см}^{-3}$, толщина переходного слоя $\delta = 0,07 \text{ мкм}$, площадь переходного слоя (поверхность диффузии) $S = 86,4 \text{ м}^2$. S выразить в см^2 , δ - в см

Решение:

Из данного выражения первого закона Фика в конечных приращениях следует :

$$D_1 = - \frac{U \cdot \delta}{S \cdot \Delta C} = \frac{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot 0,07 \cdot 10^{-4} \text{ см} \cdot \text{см}^3}{86,4 \cdot 10^4 \cdot 0,561 \cdot 10^4 \text{ с} \cdot \text{см}^2} \cong \frac{\text{см}^2}{\text{с}} = 0,0382 \cdot 10^{-13} \text{ с} = 3,82 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2 / \text{с}.$$

Порядок полученной величины D_1 соответствует известным значениям коэффициентов диффузии молекул низкомолекулярных веществ в твёрдых полимерах.

Ответ: $D_1 = 3,82 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2 / \text{с}$

5. Вычислить коэффициент диффузии D_2 олигомерных молекул фенолоформальдегидного связующего к поверхности волокна капрон, используя соотношение $\frac{\Delta C}{\Delta \tau} = D_2 \frac{\Delta C}{\delta^2}$ (второй закон Фика), где толщина переходного слоя (путь диффузии) $\delta = 0,07 \text{ мкм}$, продолжительность процесса $\Delta \tau = 90 \text{ мин}$. (необходимо $\Delta \tau$ выразить в секундах).

Решение:

Величины движущей силы диффузии $\Delta C = C_2 - C_1$ в левой и правой частях выражения для второго закона Фика в конечных приращениях сокращаются, поэтому указанное

выражение принимает вид $\frac{1}{\Delta \tau} = D_2 \frac{1}{\delta^2}$,

$$\text{откуда } D_2 = \frac{\delta^2}{\Delta \tau} = \frac{(0,07 \cdot 10^{-4} \text{ см})^2}{90 \cdot 60 \text{ с}} \cong 8,98 \cdot 10^{-15} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}.$$

Порядок величины D_2 совпадает с порядком коэффициента диффузии D_1 , полученного в задаче 20 с использованием первого закона Фика. В принципе коэффициент диффузии в обоих законах Фика – одна и та же величина.

Ответ: $D_2 = 8,98 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2 / \text{с}$

6. Вычислить коэффициент диффузии D_1 олигомерных молекул фенолоформальдегидного связующего к поверхности волокна капрон, используя соотношение $U = -D_1 S(\Delta C / \delta)$ (первый закон Фика), где скорость диффузии $U = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, движущая сила диффузии $\Delta C = 0,0377 \text{ см}^{-3}$, толщина переходного слоя $\delta = 0,07 \text{ мкм}$, площадь переходного слоя (поверхность диффузии) $S = 86,4 \text{ м}^2$. S выразить в см^2 , δ – в см .

В данной задаче величина ΔC определена на основе модели 2 переходного слоя (рис.2)

Волокно

Переходный слой

Связующее в объёме

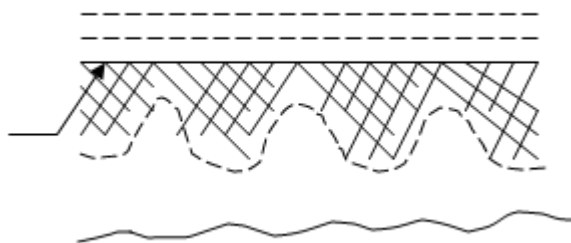


Рис.2 Схема переходного слоя по модели 2

Решение:

$$D_1 = \frac{-U\delta}{S \cdot \Delta C} = \frac{1,85 \cdot 10^{-5} \cdot \text{см}^3 \cdot 0,07 \cdot 10^{-4} \text{ см}}{86,4 \cdot 10^4 \cdot \text{см}^2 \cdot 0,0377 \text{ с}} \cong 3,98 \cdot 10^{-15} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$$

Ответ: $D_1 = 3,98 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2 / \text{с}$

7. Вычислить коэффициент диффузии D_2 олигомерных молекул фенолоформальдегидного

связующего к поверхности волокна капрон, используя соотношение $\frac{\Delta C}{\Delta \tau} = D_2 \frac{\Delta C}{\delta^2}$ (второй закон Фика), где ΔC – движущая сила диффузии, $\delta = 0,07 \text{ мкм}$ – толщина переходного слоя (путь диффузии), $\Delta \tau = 90 \text{ мин.}$ – продолжительность диффузии.

Следует δ выразить в см , τ – в секундах.

Решение:

Из данного выражения второго закона Фика в конечных приращениях получаем:

$$D_2 = \frac{\delta^2}{\Delta \tau} = \frac{(0,07 \cdot 10^{-4} \text{ см})^2}{90 \cdot 60 \text{ с}} \cong 8,97 \cdot 10^{-15} \frac{\text{см}^2}{\text{с}}$$

Из сравнения задач 21 и 23 следует, что при нахождении коэффициента диффузии с использованием второго закона Фика получаемое значение не зависит от того, по какой

модели переходного слоя рассчитывают величину ΔC , т.е. величина ΔC в этом случае не имеет большого значения.

Ответ: $D_2 = 8,97 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2 / \text{с}$

8. Используя приведённые кинетические данные зависимости степени превращения $x_{\text{св}}$ ненаполненного эпоксидного связующего и степени превращения такого же связующего в смеси с волокнистым наполнителем (нить лавсан) от продолжительности

отверждения τ , найти скорость $U = \frac{\Delta x}{\tau}$ взаимодействия между наполнителем и связующим. Графическим интегрированием зависимости $U(\tau)$ найти массовые доли γ связующего, образовавшего переходные слои $\gamma = \int U(\tau) d\tau$:

$\tau, \text{мин}$	$x, \text{масс. доли}$	$x_{\text{св}}, \text{масс. доли}$	$\Delta x = x - x_{\text{св}}$	$(U \cdot 10^4)$
30	0,51	0,30		
60	0,72	0,47		
90	0,80	0,64		
120	0,86	0,70		
150	0,90	0,75		
180	0,93	0,80		
210	0,94	0,84		
240	0,94	0,86		

Вычислить также параметр влияния χ и указать, чему равна скорость диффузии олигомерных молекул связующего к поверхности элементов наполнителя, если отверждение протекает в диффузионной области.

Решение:

Для вычисления U продолжительность отверждения τ следует выразить в секундах. Величины Δx и U проходят через максимум, поэтому график $U(\tau)$ имеет экстремальную форму. Для графического интегрирования графика $U(\tau)$ необходимо:

1) определить количество массовых долей, приходящихся на 1 см^2 площади графика – найти “цену” C одного квадратного сантиметра площади, ограниченной данным графиком;

2) выразить в квадратных сантиметрах площади S_i полос, соответствующих шагу $\Delta \tau = 30$ мин. при изменении τ от 0 до 240 минут (рис.3);

3) величина $\gamma_1 = CS_1$, $\gamma_2 = C(S_1 + S_2)$, $\gamma_3 = C(S_1 + S_2 + S_3)$, $\gamma_8 = C = \sum_{i=1}^8 S_i$

Значения параметра влияния $\chi > 1$ не изменяют реального смысла и обусловлены погрешностью данного метода расчёта.

Сравнение результатов задач 24 и 16 показывает, что эпоксидное связующее образует более толстые (массивные) переходные слои, чем феноло-формальдегидное связующее (значения γ_{\max} составляют 0,63 и 0,14 соответственно). При этом в переходных слоях эпоксидного связующего выше роль химического взаимодействия между связующим и наполнителем (χ_{\max} составляет 0,96 и 0,70 соответственно).

Скорость диффузии олигомерных молекул связующего равны скорости U взаимодействия между связующим и наполнителем, если отверждение протекает в диффузионной области.

Ответ: $\gamma_{\max}=0,63$ $\chi_{\max}=0,96$

9. Определить концентрации (массовые доли/см³) непрореагировавших олигомеров в объёме связующего C_1 и в переходном слое C_2 , если степень превращения в объёме $x_{\text{св}}=0,64$; $\chi=0,35$; $\gamma=0,34$. Общая масса связующего $m=12,96$ г. Расчёт вести по модели 1 (то есть всё связующее, находящееся вблизи поверхности наполнителя, считать относящимся к переходному слою). Плотность связующего $\rho=1,2$ г/см³.

Найти движущую силу ΔC диффузии олигомерных молекул связующего в системе связующее-наполнитель. В какую сторону диффундируют олигомерные молекулы в данной задаче?

Решение:

Концентрацию C_1 олигомеров в объёме связующего V можно оценить как массовую долю

олигомеров в единице объёма: $C \sim \frac{1-x_{\text{св}}}{V}$.

Аналогично концентрация в олигомеров в переходном слое $C_2 \sim \frac{\gamma(1-y)}{v}$,

где степень превращения связующего в переходном слое $y=x_{\text{св}}+\chi=0,99$.

Принимая плотности связующего в объёме и в переходном слое равными, можно вычислить объёмы:

$$V = \frac{m(1-\gamma)}{\rho} = \frac{12,96 \cdot 0,66 \text{ г} \cdot \text{см}^3}{1,2 \text{ г}} = 7,128 \text{ см}^3;$$

$$v = \frac{m\gamma}{\rho} = \frac{12,96 \cdot 0,34 \text{ г} \cdot \text{см}^3}{1,2 \text{ г}} = 3,672 \text{ см}^3$$

Используя приведённые соотношения, получаем:

$$C_1 = \frac{0,36}{7,128 \text{ см}^3} = 0,05050 \text{ см}^{-3}$$

$$C_2 = \frac{\gamma(1-y)\rho}{m\gamma} = \frac{0,01 \cdot 1,2}{12,96} \cdot \frac{\text{г}}{\text{см}^3 \cdot \text{г}} = 0,000926 \text{ см}^{-3};$$

$$\Delta C = C_2 - C_1 = -0,004957 \text{ см}^{-3}$$

Самодиффузия протекает в направлении от большей концентрации к меньшей, то есть из объёма к поверхности наполнителя, ускоряющего отверждение.

Ответ: $C_1 = 0,005050 \text{ см}^{-3}$, $C_2 = 0,000926 \text{ см}^{-3}$, $\Delta C = C_2 - C_1 = -0,04957 \text{ см}^{-3}$

9. Определить концентрации (массовые доли/см³) непрореагировавших олигомеров в объёме связующего C_1 и в переходном слое C_2 , если степень превращения в объёме $x_{\text{св}} = 0,64$; $\chi = 0,35$; $\gamma = 0,34$. Общая масса связующего $m = 12,96 \text{ г}$. Расчёт вести по модели 2 (то есть к переходному слою относить только отвержденные участки, находящиеся вблизи поверхности элементов наполнителя), при этом объём переходного слоя $v = m\gamma\gamma/\rho$ несколько сократится по сравнению с расчётом по модели 1 ($y = x_{\text{св}} + \chi$ – степень превращения олигомеров в переходном слое). Плотность связующего $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$.

Найти движущую силу ΔC диффузии олигомерных молекул связующего в системе связующее-наполнитель. В какую сторону диффундируют олигомерные молекулы в данной задаче?

Решение:

По аналогии с задачей 25 концентрацию C_1 олигомеров в объёме связующего V можно

оценить как массовую долю олигомеров в единице объёма: $C_1 \sim \frac{1 - x_{\text{св}}}{V}$, концентрацию

C_2 олигомеров в переходном слое объёмом v : $C_2 \sim \frac{\gamma(1 - y)}{v}$, где степень превращения связующего в переходном слое $y = x_{\text{св}} + \chi = 0,99$.

Принимая плотности связующего в объёме и в переходном слое равными, можно вычислить объёмы, исключив из переходных слоев неотвержденные участки (в соответствии с моделью 2):

$$V = \frac{m(1 - y\gamma)}{\rho} = \frac{12,96(1 - 0,99 \cdot 0,34) \text{ см}^3}{1,2 \text{ г}} = 7,165 \text{ см}^3;$$

$$v = \frac{m\gamma\gamma}{\rho} = \frac{12,96 \cdot 0,99 \cdot 0,34 \text{ г} \cdot \text{см}^3}{1,2 \text{ г}} = 3,635 \text{ см}^3$$

Используя вышеуказанные соотношения, получаем:

$$C_1 = \frac{1 - x_{\text{св}}}{V} = \frac{0,36}{7,165 \text{ см}^3} = 0,05024 \text{ см}^{-3}$$

$$C_2 = \frac{\gamma(1 - y)\rho}{m\gamma\gamma} = \frac{0,01 \cdot 1,2 \text{ г}}{12,96 \cdot 0,99 \text{ см}^3 \cdot \text{г}} = 0,000935 \text{ см}^{-3}$$

$$\Delta C = 0,000935 - 0,05024 = -0,04931 \text{ см}^{-3}$$

Таким образом, различие между величинами ΔC , рассчитанными при использовании моделей 1 и 2, невелико (см. задачу 25), так как при $y \rightarrow 1$ различие между моделями 1 и 2 сглаживается.

Ответ: $C_1 = 0,05024 \text{ см}^{-3}$; $C_2 = 0,000935 \text{ см}^{-3}$; $\Delta C = C_2 - C_1 = -0,04931 \text{ см}^{-3}$.

10. Вычислить коэффициент диффузии D_1 олигомерных молекул эпоксидного связующего к поверхности волокна лавсан в процессе отверждения, используя соотношение $U = -D_1 S(\Delta C/\delta)$ (первый закон Фика), где $U = 3,00 \cdot 10^{-5}$ масс. доли/с- скорость диффузии олигомеров, численно равная скорости взаимодействия связующего и наполнителя в диффузионной области; $\Delta C = -0,04957$ масс.доли/см³ - движущая сила диффузии, рассчитанная по модели 1 переходного слоя; масса полимерного образца $m = 21,6$ г.; содержание наполнителя $C_{\text{нап}} = 40$ масс.%, удельная поверхность волокнистого наполнителя $S_{\text{уд}} = 6 \text{ м}^2/\text{г}$; толщина переходного слоя $\delta = 2$ мкм.

Решение:

Величину коэффициента диффузии D_1 находим из данного выражения для первого закона Фика:

$D_1 = -\frac{U \cdot \delta}{S \cdot \Delta C}$, где S - поверхность диффузии, которую принимаем равной поверхности наполнителя:

$$S = m C_{\text{нап}} S_{\text{уд}} = 21,6 \text{ г} \cdot 0,4 \cdot 6 \text{ м}^2/\text{г} = 51,84 \cdot 10^4 \text{ см}^2.$$

Используя полученное значение S , имеем:

$$D_1 = \frac{3,00 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}}{51,84 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \cdot (-0,04957)} \cdot \frac{\text{см}^3}{\text{с}} \approx 2,33 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$$

$$\text{Ответ: } D_1 = 2,33 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$$

11. Вычислить коэффициент диффузии D_2 олигомерных молекул эпоксидного связующего к поверхности волокна – наполнителя лавсан в процессе отверждения, используя

соотношение $\frac{\Delta C}{\Delta \tau} = D_2 \frac{\Delta C}{\delta^2}$ (второй закон Фика), где движущая сила диффузии $\Delta C = -0,04957$ масс. доли/см³ рассчитана по модели 1 переходного слоя, толщина переходного слоя (путь диффузии) $\delta = 2$ мкм; продолжительность отверждения $\Delta \tau = 90$ мин. при атмосферном давлении.

Решение:

В соответствии с данным выражением второго закона Фика величина движущей силы ΔC не играет существенной роли при вычислении D_2 :

$$D_2 = \frac{\delta^2}{\Delta \tau} = \frac{(2 \cdot 10^{-4} \text{ см})^2}{90 \cdot 60 \text{ с}} = 7,40 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с} = 74 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$$

Получено ,что D_2 примерно в 30 раз больше, чем D_1 (см. Задачу 27):

$$= 31,8$$

$$\text{Ответ: } D_2 = 7,40 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$$

12. Вычислить коэффициент диффузии D_1 олигомерных молекул эпоксидного связующего к поверхности волокна лавсан в процессе отверждения, используя соотношение $U = -D_1 S(\Delta C/\delta)$ (первый закон Фика), где $U = 3,00 \cdot 10^{-5}$ масс. доли/с – скорость диффузии олигомеров, численно равная скорости взаимодействия связующего и наполнителя в диффузионной области; $\Delta C = -0,04931$ масс.доли/см³ – движущая сила диффузии, рассчитанная по модели 2 переходного слоя; масса полимерного образца $m = 21,6$ г; содержание наполнителя $C_{\text{нап}} = 40\%$ масс., удельная поверхность волокнистого наполнителя $S_{\text{уд}} = 6 \text{ м}^2/\text{г}$; толщина переходного слоя $\delta = 2 \text{ мкм}$.

Решение:

Величину коэффициента диффузии D_1 находим из данного в условии выражения для первого закона Фика:

$$D_1 = - \frac{U \delta}{S \Delta C}, \text{ где } S - \text{поверхность диффузии, которую принимаем равной поверхности}$$

наполнителя: $S = m \cdot C_{\text{нап}} \cdot S_{\text{уд}} = 21,6 \text{ г} \cdot 0,4 \cdot 6 \frac{\text{м}^2}{\text{г}} = 51,8 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ используя полученное значение S , имеем:

$$D_1 = \frac{3,00 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}}{51,84 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \cdot (-0,04931) \cdot \text{с}} \approx 2,35 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$$

При использовании ΔC , рассчитанной по модели 1 переходного слоя, имели незначительное отличие величины D_1 (см. Задачу 27):

$$D_1 = 2,33 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}.$$

$$\text{Ответ: } D_1 = 2,35 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}.$$

13. Вычислить коэффициент диффузии D_2 олигомерных молекул эпоксидного связующего к поверхности волокна – наполнителя лавсан в процессе отверждения, используя

соотношение $\frac{\Delta C}{\Delta \tau} = D_2 \frac{\Delta C}{\delta^2}$ (второй закон Фика), где движущая сила диффузии $\Delta C = -0,04931$ масс.доли/см³ рассчитана по модели 2 переходного слоя, толщина переходного слоя (путь диффузии) $\delta = 2 \text{ мкм}$; продолжительность отверждения при атмосферном давлении $\Delta \tau = 90 \text{ мин}$.

Решение:

$$\text{Из данного в условии задачи соотношения получаем: } D_2 = \frac{\delta^2}{\tau} = \frac{(2 \cdot 10^{-4} \text{ см})^2}{90 \cdot 60 \text{ с}} = 7,34 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$$

Сравнение результатов расчетов коэффициентов диффузии в задачах 27-30 по моделям 1,2 переходных слоёв:

$$D_{11} = 2,33 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}; D_{12} = 2,35 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$$

$$D_{21} = 7,40 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}; D_{22} = 7,34 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$$

показывает, что использование различных моделей переходных слоёв обуславливает меньшее различие в величине коэффициентов диффузии, чем использование различных законов диффузии.

Решение: $D_2 = 7,34 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 / \text{с}$.

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий решенные согласно выданным вариантам задачи, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

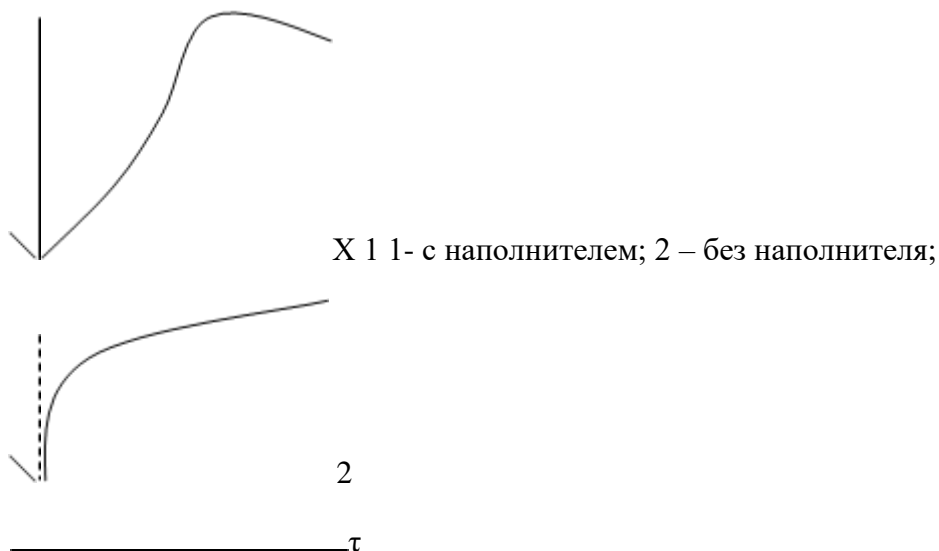
«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

Практическая работа № 5 Диффузионные процессы в системе «связующее-наполнитель».

Цель работы: Приобретение навыков расчета практических задач по диффузионным процессам в системе «связующее-наполнитель».

Задание

1. Определить среднюю толщину \bar{d} прослойки эпоксидного связующего между волокнами, зная путь $\bar{\ell}$ диффундирующих молекул в момент времени τ_1 , когда разбавляющее и замедляющее влияние волокнистого наполнителя компенсировано физико-химическим взаимодействием между связующим и наполнителем:



(x- степень превращения олигомерной термореактивной смолы в сетчатый продукт)

При расчёте исходить из того, что $2\bar{\ell} = d$, и использовать соотношение $D = \frac{1}{3} \bar{v} \cdot \bar{\ell}$, где $D = 6,0 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2 / \text{с}$ – коэффициент диффузии олигомерных молекул смолы, $\bar{v} = 10^{-7} \text{ см/с}$ –

средняя линейная скорость диффундирующих олигомерных молекул в рассматриваемом направлении.

Решение:

Из данного в условии задачи соотношения $D = \frac{1}{3} \bar{v} \cdot \bar{\ell} = \frac{1}{3} \bar{v} \cdot \frac{\bar{d}}{2}$ следует:

$$\bar{d} = \frac{6D}{\bar{v}} = \frac{36 \cdot 10^{-12}}{10^{-7}} \cdot \frac{\text{см}^2 \cdot \text{с}}{\text{с} \cdot \text{см}} = 36 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 3,6 \text{ мкм}$$

Ответ: $\bar{d} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 3,6 \text{ мкм}$

2. Вывести в общем виде выражение для движущей силы ΔC диффузии олигомерных молекул в системе связующее-наполнитель, используя модель 1 переходного слоя, через параметры y, γ, χ (y -степень превращения связующего в сетчатый продукт в переходном слое); γ -массовая доля связующего, образовавшего переходный слой; $y = x_{\text{св}} + \chi$, где $x_{\text{св}}$ - степень превращения связующего в объёме; χ -параметр влияния. При выводе исходить из того, что $\Delta C = C_2 - C_1$ – движущая сила диффузии определяется разностью концентраций олигомеров в переходном слое C_2 и в объёме C_1 . Концентрации определяются как отношение массовых долей олигомеров в переходном слое и в объёме связующего к соответствующим объёмам v и V ($\gamma(1-y)$ -количество олигомеров в переходном слое по модели 1).

Решение:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{\gamma(1-y)}{v} - \frac{1-x_{\text{св}}}{V}$$

Учитывая, что $\frac{v}{\gamma} = V$, получаем:

$$\Delta C = \frac{1-y}{V} - \frac{1-x_{\text{св}}}{V} = \frac{1-y-1+x_{\text{св}}}{V} = \frac{-y+x_{\text{св}}}{V}$$

Используя соотношение $y = x_{\text{св}} + \chi$, окончательно имеем:

$$\Delta C = \frac{-x_{\text{св}} - \chi + x_{\text{св}}}{V} = -\frac{\chi}{V}$$

Ответ: $\Delta C = -\frac{\chi}{V}$

3. Вывести в общем виде выражение для движущей силы ΔC диффузии олигомерных молекул в системе связующее с массой и плотностью ρ – наполнитель, используя модель 2 переходного слоя, через параметры y, γ, χ (y -степень превращения связующего в сетчатый продукт в переходном слое); γ - массовая доля связующего, образовавшего переходный слой; $y = x_{\text{св}} + \chi$, где $x_{\text{св}}$ - степень превращения связующего в объёме; χ -параметр влияния. При выводе исходить из того, что $\Delta C = C_2 - C_1$ – движущая сила диффузии определяется разностью концентраций олигомеров в переходном слое C_2 и в объёме C_1 . Концентрация

определяется как отношение массовых долей олигомеров в переходном слое и в объёме связующего к соответствующим объёмам v и V ($\gamma(1-y\gamma)$)- количество олигомеров в переходном слое по модели 2). Общий объём связующего V определяется его массой m и плотностью ρ : $V=m/\rho$.

Решение:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{\gamma(1-y\gamma)}{v} - \frac{1-x_{cs}}{V}$$

Учитывая соотношение $v/\gamma=V$, $y=x_{cs}+\chi$, получаем:

$$\Delta C = \frac{1-y\gamma-1+x_{cs}}{V} = \frac{(-y\gamma+x_{cs})\rho}{m} = \frac{(-x_{cs}\gamma-\chi\gamma+x_{cs})\rho}{m} = \frac{[x_{cs}(1-\gamma)-\chi\gamma]\rho}{m}$$

$$\text{Ответ: } \Delta C = \frac{x_{cs}-y\gamma}{V} = \frac{[x_{cs}(1-\gamma)-\chi\gamma]\rho}{m}$$

4. Используя аддитивность тепловых эффектов отверждения ненаполненного эпоксидного связующего Q и взаимодействие $Q_{\text{доп}}$ эпоксидного связующего с лавсаном, из которых складывается тепловой эффект суммарного процесса $Q_{\text{сумм}} = \gamma Q_{\text{доп}} + (1-\gamma)Q$, найти величину $Q_{\text{доп}}$, если $Q_{\text{сумм}} = 104$ кДж/моль, $Q = 122$ кДж/моль; массовая доля связующего, образовавшего переходный слой, $\gamma = 0,63$.

Решение:

Выразив аддитивность тепловых эффектов отверждения ненаполненного эпоксидного связующего Q и взаимодействия $Q_{\text{доп}}$ эпоксидного связующего с лавсаном, из которых складывается тепловой эффект суммарного процесса $Q_{\text{сумм}} = \gamma Q_{\text{доп}} + (1-\gamma)Q$, найти величину $Q_{\text{доп}}$, если $Q_{\text{сумм}} = 104$ кДж/моль, $Q = 122$ кДж/моль; массовая доля связующего, образовавшего переходный слой, $\gamma = 0,63$.

Выразив $Q_{\text{доп}}$ из соотношения, приведённого в условии задачи, и подставив численные значения величин, получаем:

$$Q_{\text{доп}} = \frac{Q_{\text{сумм}} - (1-\gamma)Q}{\gamma} = \frac{104 - 0,37 \cdot 122}{0,63} = 94 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$$

Ответ: $Q_{\text{доп}} = 94$ кДж/моль

5. На основании известных экспериментальных значений тепловых эффектов отверждения эпоксидной смолы без наполнителя

$Q = -122$ кДж/моль, отверждения эпоксидной смолы с полипропиленовой нитью $Q_{\text{сумм}} = -132$ кДж/моль и эффективных энергий активации, кДж/моль, отверждения эпоксидной смолы без наполнителя $E = 27$, эпоксидной смолы с полипропиленовой нитью $E_{\text{сумм}} = 100$ найти значения параметров A и B соотношения $E = A + B|Q|$, считая, что значения A и B одинаковы для отверждения ненаполненных и наполненных систем.

Решение:

Применив зависимость E от $|Q|$ для ненаполненной и наполненной эпоксидной смолы, получаем систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными:

$$27 = A + 122B$$

$$100 = A + 132B,$$

Откуда имеем: $A = 27 - 122B$; $100 = 27 - 122B + 132B$;

$$10B = 73; B = 7,3$$

$$A = 27 - 122 \cdot 7,3 = -863,6 \approx -864 \text{ кДж/моль}$$

Ответ: $A = -864 \text{ кДж/моль}$; $B = 7,3$.

6. Из соотношения $Q_{\text{доп}} = 200\chi + 20(1-\chi)$ найти значения параметра влияния χ на основании известных значений теплового эффекта $Q_{\text{доп}}$ взаимодействия между связующим и наполнителем для систем: эпоксидная смола ЭД-20 и полипропиленовая нить (ППН), анилино-фенолоформальдегидная смола СФ-342А и ППН-180 и 50 кДж/моль соответственно.

Решение:

Из данного в условии задачи соотношения следует, что тепловой эффект взаимодействия между связующим и наполнителем аддитивно складывается из теплоты химического (первое слагаемое) и физического (второе слагаемое) взаимодействия. Из этого

$$\text{соотношения следует: } 180\chi = Q_{\text{доп}} - 20; \chi = \frac{Q_{\text{доп}} - 20}{180}.$$

Применив последнее соотношение к смолам ЭД-20 и СФ-342А, получаем соответственно:

$$\chi_1 = \frac{180 - 20}{180} = 0,89; \chi_2 = \frac{50 - 20}{180} = 0,17$$

Из полученных значений $\chi_1 > \chi_2$ следует, что при взаимодействии наполнителя ППН со смолой ЭД-20 преобладают химические процессы, а при взаимодействии ППН со смолой СФ-342А - физические.

Ответ: $\chi_1 = 0,89$; $\chi_2 = 0,17$

7. Используя аддитивность тепловых эффектов отверждения ненаполненного связующего Q и взаимодействия $Q_{\text{доп}}$ связующего с полипропиленовым наполнителем (ППН)

$Q_{\text{сумм}} = \gamma Q_{\text{доп}} + (1-\gamma)Q$, вычислить массовые доли γ переходных слоев в системах эпоксидная смола+ППН ($Q=122$; $Q_{\text{сумм}}=132$; $Q_{\text{доп}}=180 \text{ кДж/моль}$) и фенолоформальдегидная смола+ППН ($Q=21$; $Q_{\text{сумм}}=23$; $Q_{\text{доп}}=50 \text{ кДж/моль}$) и толщину

переходных слоёв $\delta = \frac{\gamma \cdot m}{\rho \cdot S_{\text{уд}}}$ в тех же системах

($m=32 \text{ г}$ - масса смолы на 1 г наполнителя, $\rho=1,2 \text{ г/см}^3$ - плотность связующего, она практически одинакова для обеих рассматриваемых смол; $S_{\text{уд}}=5 \text{ м}^2/\text{г}$ - удельная поверхность полипропиленовой нити, используемой в качестве наполнителя).

С каким связующим ППН образует более толстые и прочные переходные слои?

Решение:

Из данного в условии соотношения аддитивности тепловых эффектов выражаем величину γ :

$$\gamma = \frac{Q_{\text{сумм}} - Q}{Q_{\text{доп}} - Q}$$

Подставляя в это соотношение численные значения тепловых эффектов, получаем для двух связующих:

$$\gamma_1 = \frac{122 - 132}{122 - 180} = \frac{10}{58} = 0,172$$

$$\gamma_2 = \frac{21 - 23}{21 - 50} = \frac{2}{29} = 0,069$$

Затем вычисляем соответственно среднюю толщину переходных слоёв

$$\delta_1 = \frac{0,172 \cdot 32 \text{ г} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{г}}{1,2 \text{ г} \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ см}^2 \cdot \text{г}} = \frac{5,504 \text{ см}}{6,0 \cdot 10^4} = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,92 \text{ мкм}$$

$$\delta_2 = \frac{0,07 \cdot 32 \text{ г} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{г}}{1,2 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot \text{г} \cdot \text{г} \cdot \text{см}^2} = \frac{2,2 \text{ см}}{6,0 \cdot 10^4} = 0,37 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 0,37 \text{ мкм}$$

При взаимодействии ППН с эпоксидной смолой выделяется больше теплоты, чем при взаимодействии ППН с фенолоформальдегидной смолой:

$180 > 50$ кДж/моль. Таким образом, эпоксидная смола образует более толстые $0,92 > 0,37$ мкм и прочные переходные слои.

Ответ: $\gamma_1 = 0,172$; $\delta_1 = 0,92$ мкм;

$\gamma_2 = 0,069$; $\delta_2 = 0,37$ мкм.

8. Используя аддитивность тепловых эффектов отверждения Q ненаполненной анилино-фенолоформальдегидной смолы СФ-342А и взаимодействия $Q_{\text{доп}}$ этой смолы с лавсаном, из которых складывается тепловой эффект суммарного процесса $Q_{\text{сумм}} = \gamma Q_{\text{доп}} + (1 - \gamma)Q$, найти величину $Q_{\text{доп}}$, если $Q_{\text{сумм}} = 65$ кДж/моль, $Q = 21$ кДж/моль; массовая доля связующего, образовавшего переходный слой, $\gamma = 0,56$

Решение:

Из балансового уравнения тепловых эффектов, данного в условии задачи, находим:

$$Q_{\text{доп}} = \frac{Q_{\text{сумм}} - (1 - \gamma)Q}{\gamma} = \frac{65 - 0,44 \cdot 21}{0,56} = \frac{65 - 9}{0,56} \approx 100 \text{ кДж/моль}$$

Отверждение анилино-фенолоформальдегидной смолы при повышенных давлениях ускорится капроном, тепловой эффект взаимодействия капрона с этим связующим

сравнительно велик, величина $Q_{\text{доп}} = 100$ кДж/моль близка к прочности химических связей между связующим и наполнителем.

Ответ: $Q_{\text{доп}} = 100$ кДж/моль

9. На основании известных экспериментальных значений эффективной энергии активации отверждения смеси анилино-фенолоформальдегидной смолы СФ-342А с капроном $E_{\text{сумм}} = 101$ кДж/моль и суммарного теплового эффекта отверждения указанной смеси $Q_{\text{сумм}} = -65$ кДж/моль. Найти параметр А соотношения $E = A + B|Q|$. Параметр $B = 7,3$ считать одинаковым для смол СФ-342А и эпоксидной ЭД-20.

Решение:

Из соотношения зависимости E от $|Q|$ выражаем :

$$A = E - B|Q| = 101 - 7,3 \cdot 65 = 101 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} - 474,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} = -374 \text{ кДж/моль.}$$

Указанное соотношение является уравнением прямой, в котором B -тангенс угла наклона прямой, A -значение E при $|Q|=0$, то есть точка пересечения прямой с осью E .

Ответ: $A = -374$ кДж/моль.

10. Используя соотношение между энергией активации E и тепловым эффектом Q ; $E = -864 + 7,3|Q|$ для отверждения эпоксидной смолы ЭД-20, вычислить абсолютные значения $|Q_{\text{доп}}|$, кДж/моль тепловых эффектов взаимодействия ЭД-20 с лавсаном и ППН, если энергии активации $E_{\text{доп}}$ этих процессов составляют 43 и 172 кДж/моль соответственно.

Решение:

$$\text{Выразим величину } |Q| \text{ из данного соотношения: } |Q| = \frac{864 + E}{7,3}.$$

Применяя это соотношение к процессу взаимодействия между связующим и различными наполнителями, получаем для лавсана:

$$|Q_{\text{доп } 1}| = \frac{864 + 43}{7,3} = 124 \text{ кДж/моль}$$

и для полипропиленовой нити:

$$|Q_{\text{доп } 2}| = \frac{864 + 172}{7,3} = 142 \text{ кДж/моль}$$

Полученные значения $|Q_{\text{доп } 1}|$ и $|Q_{\text{доп } 2}|$ свидетельствуют о том, что эпоксидная смола образует с полипропиленом более прочные химические связи, чем с лавсаном.

Ответ: $|Q_{\text{доп } 1}| = 124$ кДж/моль

$$|Q_{\text{доп } 2}| = 142 \text{ кДж/моль}$$

11. Используя соотношение $E = -374 + 7,3|Q|$ между энергией активации E и тепловым эффектом Q для отверждения анилино-фенолоформальдегидной смолы СФ-342А, вычислить абсолютные значения $|Q_{\text{доп}}|$, кДж/моль, тепловых эффектов взаимодействия смолы СФ-342А с ППН при повышенном (8 МПа) и атмосферном давлении, если энергии активации этих процессов $E_{\text{доп}}$ составляют 34 и 21 кДж/моль соответственно.

Решение:

$$\text{Выразим величину } |Q| \text{ из данного в условии соотношения: } |Q| = \frac{374 + E}{7,3}.$$

Применив это соотношение к процессу взаимодействия между связующим и наполнителем, получаем величины $|Q_{\text{доп } 1}|$ при повышенном и $|Q_{\text{доп } 2}|$ при атмосферном давлении соответственно:

$$|Q_{\text{доп } 1}| = \frac{374 + 34}{7,3} = 56 \text{ кДж/моль},$$

$$|Q_{\text{доп } 2}| = \frac{374 + 21}{7,3} = 54 \text{ кДж/моль}.$$

Полученные значения показывают, что величина давления практически не влияет на прочность физико-химических связей, образующихся между смолой СФ-342А и полипропиленовой нитью.

Ответ: $|Q_{\text{доп } 1}| = 56 \text{ кДж/моль}$; $|Q_{\text{доп } 2}| = 54 \text{ кДж/моль}$.

12. Используя соотношение $\gamma = A e^{-\frac{Q_{\text{звс}}}{R} \frac{1}{T}}$ (1), аналогичное соотношению Вант-Гоффа для константы равновесия K : $K = A e^{-\frac{Q}{R} \frac{1}{T}}$ (2), где A - предэкспоненциальный множитель; $Q_{\text{доп}}$ - тепловой эффект взаимодействия между связующим и наполнителем; Q - тепловой эффект рассматриваемого обратимого процесса, найти массовую долю γ_2 переходного слоя в системе анилино-фенолоформальдегидная смола СФ-342А – полипропиленовая нить ППН при температуре $T_2 = 443 \text{ К}$, если при $T_1 = 393 \text{ К}$ известно значение $\gamma_1 = 0,38$. Тепловой эффект $Q_{\text{доп}}$ взаимодействия ППН со связующим в данном случае составляет $Q_{\text{доп}} = -45 \text{ кДж/моль}$. Рекомендуется записать соотношение (1) в логарифмической форме для температуры T_1 и для температуры T_2 .

Решение:

Записываем соотношение (1) для температур T_1 и T_2 :

$$\gamma_1 = A e^{-\frac{Q_{\text{звс}}}{R} \frac{1}{T_1}} \quad (2)$$

$$\gamma_2 = A e^{-\frac{Q_{\text{звс}}}{R} \frac{1}{T_2}} \quad (3)$$

Почленно логарифмируем соотношения (2) и (3):

$$\ln \gamma_1 = \ln A - \frac{Q_{\text{доп}}}{R} \cdot \frac{1}{T_1} \quad (4)$$

$$\ln \gamma_2 = \ln A - \frac{Q_{\text{доп}}}{R} \cdot \frac{1}{T_2} \quad (5),$$

из соотношения (4) вычитаем соотношение (5):

$$\ln \gamma_1 - \ln \gamma_2 = \ln A - \frac{Q_{\text{доп}}}{R} \cdot \frac{1}{T_1} - \ln A + \frac{Q_{\text{доп}}}{R} \cdot \frac{1}{T_2},$$

откуда $\ln \gamma_2 = \ln \gamma_1 + \frac{Q_{\text{доп}}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$. Подставив сюда значения всех величин из условия задачи, получаем:

$$\ln \gamma_2 = \ln 0,38 - \frac{45000}{8,31} \left(\frac{1}{393} - \frac{1}{443} \right) = -0,9676 + 5415(0,00254 - 0,00226) = -0,9676 - 5415 \cdot 0,00028 = -0,9676 - 1,516 = -2,484$$

$$\lg \gamma_2 = -\frac{2,484}{2,3} = -1,08; \gamma_2 = 10^{-1,08} = 10^{-2} \cdot 10^{0,92} = 8,3 \cdot 10^{-2} = 0,083.$$

Результат показал, что при повышении температуры отверждения массовая доля переходного слоя уменьшается, так как взаимодействие между наполнителем и связующим – экзотермический процесс.

Ответ: $\ln \gamma_2 = -2,484; \gamma_2 \approx 0,08$.

13. Равновесная деформация жгута из диацетатных нитей при усилии $P=0,7$ Н составила $\Delta \ell = 2,34$ мм (однонаправленное растяжение). Начальная длина жгута между зажимами $\ell_0 = 140,0$ мм, текс жгута $t=554$ (то есть

1000 м такого жгута имеют массу 554г.). Испытания проводились при $T=413$ К. Плотность диацетата целлюлозы $\rho = 1320$ кг/м³.

Вычислить относительную деформацию ε , площадь поперечного сечения S , мкм² по соотношению $S = 1000t/\rho$ (1), где ρ выражено в г/см³.

Далее определить напряжение в жгуте $\sigma = \frac{P}{S}$ (2), модуль упругости

$E_p = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ (3) и среднюю массу молекулярных цепей между узлами сетки

$$M_c = \frac{3RT\rho}{E} \quad (4),$$
 где ρ - плотность, кг/м^3 ; R - универсальная газовая постоянная $R=8,31$ Дж/моль·К. В каких единицах выражается напряжение σ и модуль упругости E в системе СИ?

Решение:

1. Расчет относительной деформации ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} = \frac{2,34}{140} = 0,017$$

2. Вычисляем площадь поперечного сечения исходной нити :

$$S = \frac{10^{-3} \cdot 554}{1,32 \text{ г/см}^3} = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ мкм}^2 = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2.$$

При расчете по данному соотношению величину S выражают в мкм^2 (эта размерность определяемая коэффициентом 10^3 при выражении ρ в г/см^3)

3. Механическое напряжение σ относительно начального сечения вычисляем по соотношению:

$$\sigma = \frac{P}{S} = \frac{0,7 \text{ Н}}{4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2} = 1,7 \cdot 10^6 \text{ Па} = 1,7 \text{ МПа}$$

4. Для упругих деформаций модель упругости E_p при растяжении рассчитывается как

$$E_p = \frac{\sigma}{\varepsilon} = 1,7 \cdot 10^6 \text{ Па} / 0,017 = 10^8 \text{ Па}$$

5. Известно, что модуль упругости сетчатого полимера при сдвиге $E_{с\text{дв}} = n_c RT = \frac{\rho RT}{M_c}$, а также $E_p = 3E_{сдв}$.

$$\text{Отсюда следует: } M_c = \frac{3RT\rho}{E_p} = \frac{3 \cdot 8,31 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot 413 \text{ К} \cdot 1320 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^3}}{10^8 \text{ Н} \cdot \text{моль} \cdot \text{К} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^3} = 0,14 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 140 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Полученное значение M_c сравнительно невелико. Это есть средняя масса цепей между химическими и физическими узлами сетки.

Ответ: $\varepsilon=0,017$; $S=4,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$; $\sigma=1,7 \cdot 10^6 \text{ Па}$;

$E=10^8 \text{ Па}$; $M_c=140 \text{ г/моль}$

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий решенные согласно выданным вариантам задачи, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

Практическая работа № 6 Расчет производительности экструдера.

Цель работы: Получить практические навыки расчета оборудования

Задание:

В качестве исходного параметра для расчета задается диаметр шнека D . Если он не задан, то его можно взять из технической характеристики предварительно выбранной технологической линии для производства изделия или ориентировочно рассчитать по соотношению (в мм).

$$Q = 0,68D^{2,5}$$

где Q – объемная производительность, мм³/с.

Полученное значение диаметра шнека округляют до ближайшего большего числа из стандартного ряда диаметров шнеков для конкретного вида полимерного материала.

После выбора диаметра и отношения L/D приступают к определению остальных параметров.

Шаг нарезки t и глубина витка h существенным образом влияют на производительность шнековой машины. Шаг витка в зоне загрузки в основном зависит от коэффициента трения материала о шнек и стенки материального цилиндра и от вида загружаемого материала (гранулы, порошок). Для идеального шнека оптимальным углом наклона нарезки был бы угол 45° , соответствующий шагу $h = \pi D$.

В действительности значения коэффициента трения материала о шнек находятся в пределах 0,3...0,6. Значение коэффициента трения 0,5 соответствует углу наклона нарезки шнека 19° , т. е. шагу $1,1D$. В большинстве случаев для зоны загрузки рекомендуется принимать шаг от 0,7 до $1,5D$.

Для зоны дозирования оптимальным является угол наклона нарезки 30° – 50° , что соответствует шагу нарезки $1,8D$, однако это значение является слишком высоким, так как шнеки с большим шагом и большой глубиной очень чувствительны к изменению давления, температуры и вязкости материала. На практике шаг винтовой нарезки t для машин по переработке пластмасс рекомендуется принимать постоянным по длине шнека.

$$t = (0,8...1,2)D$$

Обычно шаг принимается равным диаметру шнека, т. е. $t = D$, что соответствует углу подъема винтового канала 17° – 42° . В этом случае обеспечивается не только достаточно хорошее питание машины материалом, но и существенно упрощается технология изготовления шнека.

Для обеспечения высоких степеней сжатия материала могут применяться шнеки с переменным по длине шагом нарезки.

Рекомендации по выбору глубины винтового канала, в зависимости от свойств перерабатываемого сырья, сводятся в каждом отдельном случае к чувствительности материала к перегреву.

Глубина винтового канала шнеков h для переработки пластических масс принимается равной:

в зоне питания (загрузки)

$$h_1 = (0,12...0,16)D;$$

в зоне дозирования

$$h_3 = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i}(D - h_1)} \right],$$

где степень сжатия материала i принимают по табл. 2;

3) в зоне пластикации (сжатия)

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} L_0,$$

$$L_0 = L - L_{\text{н}},$$

где L – длина шнека, см;

L_0 – длина шнека до зоны сжатия, см;

$L_{\text{н}}$ – длина напорной части шнека, см,

$$L_{\text{н}} = (0,4 \dots 0,6)L.$$

При выборе толщины витка e (ширины гребня) необходимо учитывать, что увеличение толщины витка приводит к повышению расхода мощности, а уменьшение ее – к образованию значительного потока утечки через зазор между внутренней поверхностью материального цилиндра и наружной поверхностью витка шнека. Ширину гребня витка шнека рекомендуется принимать равной

$$e = (0,06 \dots 0,1)D. (2.8)$$

Меньшие значения принимаются для диаметров шнека более 125 мм, большие – менее 125 мм. Радиальный зазор между внутренней поверхностью материального цилиндра и наружной поверхностью витка шнека рекомендуется принимать

$$\delta = (0,002 \dots 0,005)D. (2.9)$$

При этом меньшие значения принимаются для больших величин диаметров шнеков. Частота вращения шнека существенно влияет на производительность шнековых машин. Ее рост происходит до определенного значения частоты вращения шнека (критического), выше которого начинается неуставившееся движение материала (частицы материала прекращают двигаться в осевом направлении, а лишь вращаются вместе со шнеком). Это приводит к уменьшению производительности, увеличению потребляемой мощности и повышенному износу рабочих частей машины.

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий расчет производительности экструдера согласно выданному варианту, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

Практическая работа №7 Расчет валков и каландра

Цель работы: Получить практические навыки расчета оборудования

Задание:

Для составления технической характеристики студент должен определить основные рабочие параметры вальцов и каландров: направление и скорости вращения валков (величину фрикции между валками), величину единовременной загрузки полимера, продолжительность цикла обработки смеси, температурный режим вальцевания и каландрования, провести параметрические расчёты: определить распорное усилие между валками, удельную расчётную нагрузку на единицу длины

рабочей части валка, мощность привода вальцов и каландров, производительность, используя приведённые ниже зависимости и методы, изложенные в литературе и лекционном курсе.

Величина распорного усилия определяется с учётом реологических свойств обрабатываемой полимерной композиции и геометрических размеров валка.

1. Для случая симметричного процесса вальцевания (фрикция равна 1:1)

$$F_p = 2KRL \left(\frac{U}{h_0} \right) (4,93 + 2,63n + 1,22n^2) \text{ Н},$$

где K, n – реологические константы перерабатываемого материала (n – безразмерная величина, K – Па·с); R – радиус валка, м; L – рабочая длина валка, м; U – окружная скорость вращения валков, м/с; h_0 – половина минимального зазора между валками, м.

2. Для случая вальцевания полимерного материала с фрикцией

$$F_p = (1+f)KRL \left(\frac{U_1}{h_0} \right) (4,93 + 2,63n + 1,22n^2) \text{ Н},$$

где f – величина фрикции между валками; U_1 – окружная скорость переднего валка, м/с.

Мощность привода вальцов и каландров определяют по зависимостям:

1) для случая симметричного вальцевания

$$N_{\text{н}} = 2KLU \sqrt[1/n]{\left(\frac{U}{h_0} \right)^n} \sqrt{2Rh_0} (4,67 + 3,06n + 4,09n^2) \text{ кВт},$$

где η – КПД привода машины;

2) для случая вальцевания с фрикцией

$$N_{\text{н}} = 2(1+f)KLU \sqrt[1/n]{\left(\frac{U}{h_0} \right)^n} \sqrt{2Rh_0} (4,67 + 3,06n + 4,09n^2) \text{ кВт}.$$

Производительность вальцов определяют по формуле:

$$G_z = \frac{60V\rho\alpha}{T_{\text{ц}}}, \text{ кг/ч},$$

где $V = (0,0065 \dots 0,0085)LD$, дм³; D – диаметр валка, дм; ρ – плотность полимера, кг/м³; $\alpha = (0,3 \dots 0,9)$ – коэффициент использования машинного времени; $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла обработки смеси.

Производительность каландра определяют по формуле:

$$G_k = \xi U b h \rho \alpha, \text{ кг/ч},$$

где $\xi = 1,1$ – коэффициент опережения; U – окружная скорость выпускающего валка, м/ч; b – ширина выходящей ленты материала, м; h – толщина ленты материала, м.

Оформление результатов

По результатам работы должен быть составлен отчет, включающий расчет производительности экструдера согласно выданному варианту, выводы.

Критерии оценки:

«зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает 50% и более от требуемого объема и выполнен в соответствии с требованиями указанными в учебно-методическом пособии.

«не зачтено» выставляется студенту, если отчет по практическому заданию включает менее 50% от требуемого объема.

7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр 8

№ п/п	Вопросы
1.	Понятия «переработка», классификация методов переработки полимеров.
2.	Современные технологии в промышленности переработки полимеров и пластмасс.
3.	Прессование реактопластов. Требования к технологическим свойствам реактопластов. Основные операции, выбор технологических параметров, разработка технологической схемы и операционной карты.
4.	Ресурсо- и энергосберегающие технологические схемы производства прессовочных изделий.
5.	Технология прессования армированных изделий и слоистых пластиков.
6.	Принципы технологического оформления производств с применением автоматизированных линий прессования.
7.	Направления совершенствования метода прямого прессования. Пути улучшения качества переработанных изделий.
8.	Технология литья термопластов. Требования к литьевым маркам полимеров, основные стадии, рекомендации по выбору технологических параметров. Взаимосвязь режимов литья и свойств изделий.
9.	Технологические особенности литья различных видов ненаполненных термопластов.
10.	Технологические особенности переработки дисперсно- и волокнонаполненных термопластов литьевым методом.
11.	Принципы технологического оформления литьевых производств с применением автоматизированных линий.
12.	Технология литья вспененных изделий.
13.	Основные направления совершенствования литьевого метода. Пути повышения конкурентоспособности продукции.
14.	Принципы создания малоотходных и энергосберегающих технологических процессов переработки полимерных материалов методами прессования и литья.
15.	Экструзия. Назначение. Сущность, преимущества и физико-химические основы метода. Требования к технологическим свойствам экструзионных марок термопластов.
16.	Закономерности движения полимера в шнековом экструдере, основные параметры экструзии.
17.	Технологические особенности переработки дисперсно - и волокнонаполненных экструзионных композиций.
18.	Основные направления совершенствования экструзионного способа.
19.	Технология производства труб методом экструзии. Сырье, оборудование, основные стадии, параметры и их влияние на свойства изделий.
20.	Малоотходные и энергосберегающие технологические процессы в переработке полимеров методом экструзии.
21.	Технология производства полимерных рукавных пленок методом экструзии (сырье, оборудование, стадии, параметры).
22.	Технология производства листов экструзионным методом.
23.	Технология производства плоских пленок экструзионным методом.

24.	Созэкструзионная технология. Технология производства многослойных созэкструзионных пленок.
25.	Технология производства многослойных труб.
26.	Технология изготовления гофрированных труб.
27.	Технология производства экструзионных профильно-погонажных изделий.
28.	Технология производства вспененных изделий экструзионным способом.
29.	Технология изготовления пустотелых полимерных изделий выдуванием из трубчатых экструзионных и литьевых заготовок.
30.	Дефекты прессовочных изделий, причины и рекомендации по их устранению.
31.	Дефекты литьевых изделий. Причины и рекомендации по их устранению.
32.	Дефекты выдувных полимерных изделий, причины и рекомендации по их устранению.
33.	Дефекты экструзионных изделий (труб, листов, пленок), причины и рекомендации по их устранению.
34.	Определение поверхностного удельного сопротивления.
35.	Определения мутности и светопропускания полимеров.
36.	Способы определения плотности полимеров.
37.	Оптические испытания полимеров.
38.	Испытания по определению ударной прочности.
39.	Механические испытания полимеров.
40.	Испытания на твердость. Сравнение твердостей.
41.	Термическая деструкция полимеров.
42.	Испытания на износостойкость.
43.	Агрегатные состояния и свойства высокомолекулярных соединений.
44.	Испытания на вдавливание шарика.
45.	Перспективы развития технологии переработки полимеров
46.	Дефекты пресс-изделий, причины образования и рекомендации по их устранению.
47.	Разработка технологической карты литья.
48.	Взаимосвязь режимов литья и свойств изделий. Технологическая схема производства литьевых изделий.
49.	Сущность литья под давлением термопластов. Основные стадии процесса.
50.	Инtruзия, инжекционное прессование.
51.	Особенности литья под давлением.
52.	Значение размеров литниковой системы, режимы заполнения формы.
53.	Использование отходов реактопластов.
54.	Переработка реактопластов методом литья под давлением.
55.	Основы переработки полимеров вальцеванием и каландрованием, область применения.

7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
8	Экзамен (устно)	«Отлично»	Ответ на два теоретических вопроса, студент в полном объеме владеет материалом и отвечает на один дополнительный вопрос с пониманием, приводит примеры.
		«Хорошо»	Ответ на два теоретических вопроса, студент в полном объеме

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
			владеет материалом, ответ на теоретический материал одного из вопросов экзаменационного билета неполный, не отвечает на дополнительный вопрос, приводит примеры.
		«Удовлетворительно»	Ответ на теоретический материал по одному из двух теоретических вопросов полный, ответы на дополнительные вопросы по теоретическому экзаменационному материалу билета должны быть близкими к теории.
		«Неудовлетворительно»	Не отвечает ни на один из теоретических вопросов, не может ответить ни на один дополнительный вопрос.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Сутягин В. М.	Общая химическая технология полимеров	учебное пособие	2019	ЭБС «Лань»
2	Сутягин В. М.	Физико-химические методы исследования полимеров	учебное пособие	2019	ЭБС «Лань»
3	Бортников В. Г.	Теоретические основы и технология переработки пластических масс	учебное пособие	2019	ЭБС "ZNANIUM.COM"
4	Улитин Н. В.	Технологические процессы получения и переработки полимерных материалов	учебное пособие	2016	ЭБС "IPRbooks"
5	Сироткин О. С.	Основы современного материаловедения	учебное пособие	2017	ЭБС "ZNANIUM.COM"
6	Жуков А.Ф., Кузнецов В.В., Саморукова О.Л., Тимербаев А.Р.	Химические методы анализа	учебник	2020	

8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Беилин И. Л.	Инновационное развитие полимерной промышленности	учебное пособие	2018	ЭБС "IPRbooks"

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно- методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
2	Безруков А. Н.	Polymer Structure and Chemistry. (Структура и химия полимеров)	учебное пособие	2017	ЭБС "IPRbooks"

8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

– **American Journal of Engineering and Applied Sciences.** Рецензируемый журнал - публикует результаты исследований в области инженерных наук (прикладная физика и прикладная математика, автоматизация и управление, химическая технология, компьютерная техника, информатику, инженерные данные и разработка программного обеспечения, экологическая инженерия, электротехника, промышленная инженерия, информационные технологии и информатика, материаловедение, измерение и метрология, машиностроение, медицинская физика, энергетика, обработка сигналов и телекоммуникации: <http://thescipub.com/journals/ajeas>

– **Philosophical Transactions.** Журнал предоставляет свободный доступ к научным публикациям по следующим темам: инженерные, физические, математические науки: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/>

– **Journal of Engineering and Applied Sciences (Medwell Journals).** Журнал представляет статьи с результатами научных исследований в области инженерных наук (математика, электротехника, машиностроение, энергетика, автомобилестроение, биохимическая инженерия, строительная инженерия и т.д.): <http://www.medwelljournals.com/archive.php?jid=1816-949x>

- **DOAJ.** Ресурс, который обеспечивает доступ к полнотекстовым электронным журналам предназначен для поиска по названию статьи (журнала) или по теме. DOAJ ставит целью всестороннее освещение научной периодики, находящейся в открытом доступе и использующей определенные меры, гарантирующие достойное качество их содержания: <https://doaj.org/>

8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный
2	Office Standart	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный; Договор № 727 от 20.07.2016г., срок действия, бессрочный

8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1	Лаборатория "Процессы и аппараты защиты окружающей среды". Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых	Столы ученические, столы компьютерные, стулья. доска передвижная, проектор, ноутбук, экран переносной, установка технологического комплекса, позволяющая снизить распространение

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
	работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. (А-409)	аэродисперсной системы в пространстве, ПК-7, стенд информационный п/а467.
2	Лаборатория "Высокомолекулярные соединения". Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. (А-220)	Столы лабораторные островные; стол лабораторный высокий ; стол для весов; шкафы вытяжные 1500ШВ; весы аналитические Shinko220 сушильный шкаф Snol 58/350; стол виброустойчивый; шкафы для хим.реактивов; тумбы для посуды и хим.реактивов; регулятор напряжения БП2100; магнитная мешалка ММ5; термостат UTU4; автоклав; кондуктометр портативный МАРК-603/1, доска аудиторная трехсекционная; табуреты лабораторные; стол преподавателя ;химическая посуда, баня шестиместная LOIP LB-160
3	Помещение для самостоятельной работы обучающихся (Г-401)	Столы, стулья, компьютеры
4	Лаборатория «Утилизация и рециклинг отходов». Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.А- 423	Рабочие столы лабораторные , островной лабораторные столы,табуреты, доска аудиторная (меловая), стол преподавательский , стул преподавательский , сейф для реактивов, шкаф лабораторный, сушилка КБ магнитная мешалка ПЭ-6100, лабораторные весы, мойка , стол для дисциллятора, шкаф для посуды, шкаф вытяжной , стол для весов,спектрофотометр Unico, весы технические, химическая стеклянная посуда, химическая фарфоровая посуда, воронки, бюретки, пипетки, шприцы, реактивы.