

УДК 541.64:66 (076.5)  
ББК Г 712.724я7  
Ч-46

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Казанского национального исследовательского технологического университета*

*Рецензенты:  
д-р хим. наук, проф. А. Р. Бурилов  
канд. хим. наук, доц. С. Р. Егорова*

**Черезова Е. Н.**

**Ч-46** Старение полимеров и полимерных материалов под действием окружающей среды и способы стабилизации их свойств : учебное пособие : в 2 ч. Ч. 2. Принципы защиты полимеров от старения / Е. Н. Черезова, Н. А. Мукменева, Г. Н. Нугуманова; Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. – 228 с.

ISBN 978-5-7882-2102-1  
ISBN 978-5-7882-2104-5 (ч. 2)

Во второй части учебного пособия обобщены основные данные о возможностях и принципах стабилизации свойств. Рассмотрены особенности реакций ингибирования процессов старения, происходящих под влиянием различных видов излучения, нагревания, окисления, горения и др.

Предназначено для магистров, обучающихся по направлению 18.04.01 «Химическая технология», проходящих подготовку по программам, связанным с химической технологией полимеров и полимерных материалов, а также с переработкой полимеров: «Химическая и физическая модификация высокомолекулярных соединений», «Химическая технология синтетического каучука», «Химия и физика высокомолекулярных соединений» «Каталитические технологии в нефтехимии и полимерной химии».

Подготовлено на кафедре технологии синтетического каучука.

**УДК 541.64:66 (076.5)  
ББК Г 712.724я7**

ISBN 978-5-7882-2104-5 (ч. 2)  
ISBN 978-5-7882-2102-1

© Е. Н. Черезова, Н. А. Мукменева,  
Г. Н. Нугуманова, 2017  
© Казанский национальный  
исследовательский технологический  
университет, 2017

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ.....	8
1.1 Механизм термического старения в отсутствие кисло- рода.....	10
1.2 Механизм окислительного старения полимеров.....	11
1.3 Механизм старения полимеров при действии УФ- света.....	12
1.4 Механизм старения полимеров при действии ионизи- рующих излучений.....	15
1.5 Механизм старения полимеров при механических воз- действиях.....	16
1.6 Механизм старения полимеров под действием фермен- тов.....	17
1.7 Механизм озонного старения полимеров.....	18
1.8 Механизм горения полимеров.....	20
Литература.....	21
2 ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРОВ ОТ ТЕРМИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ.....	22
2.1 Термостабилизаторы: классификация и примеры ис- пользования.....	23
2.1.1 Акцепторы алкильных радикалов.....	24
2.1.2 Акцепторы низкомолекулярных продуктов деструкции.....	27
2.1.3 Термостабилизаторы для поливинилхлорида.....	28
2.2 Структурная модификация полимера.....	34
2.2.1 Фторкаучуки.....	34
2.2.2 Структурная модификация термореактивных полимеров.....	36
Контрольные вопросы.....	38
Литература.....	39
3 ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРОВ ОТ ОКИСЛЕНИЯ.....	40
3.1 Общий механизм ингибирования (термо)окислительной деструкции основной цепи карбоцепных полимеров. Типы антиоксидантов.....	41
3.1.1 Доноры водорода.....	44

3.1.2 Разрушители гидропероксидов.....	49
3.1.3 Дезактиваторы металлов.....	55
3.1.4 Многофункциональные антиоксиданты.....	56
3.1.5 Смеси антиоксидантов.....	56
3.2 Синергизм антиокислительного действия стабилизаторов.....	56
3.3 Дополнительные критерии классификации антиоксидантов.....	62
3.4 Факторы, определяющие антиокислительную активность стабилизаторов.....	64
Контрольные вопросы.....	65
Литература.....	66
4 ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРОВ ОТ ОЗОННОГО СТАРЕНИЯ.....	67
4.1 Классификация антиозонантов.....	67
4.2 Химически активные антиозонанты.....	68
4.3 Инертные антиозонанты.....	71
Контрольные вопросы .....	73
Литература .....	73
5 ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРОВ ОТ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ .....	74
5.1 Пути снижения горючести .....	74
5.2 Антипирены: классификация и механизм их действия ..	77
5.2.1 Галогенсодержащие антипирены .....	82
5.2.2 Фосфорсодержащие антипирены .....	92
5.2.3 Фосфорсодержащие антипирены, содержащие атомы галогена .....	100
5.2.4 Фосфорсодержащие антипирены, содержащие атомы азота .....	102
5.2.5 Гидроксиды металлов .....	105
5.2.6 Снижение горючести с помощью азотсодержащих соединений .....	108
5.2.7 Антипирены других классов .....	110
5.3 Химическое модифицирование полимеров .....	112
5.3.1 Хлорирование .....	113
5.3.2 Сульфохлорирование .....	113
5.3.3 Фосфорилирование .....	114
Контрольные вопросы .....	115
Литература .....	115

6 ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРОВ ОТ ФОТОДЕСТРУКЦИИ.....	117
6.1 Добавки, отражающие свет (экранирующие добавки)...	118
6.2 УФ-абсорберы.....	121
6.3 Квенчинг (тушение возбуждённых состояний).....	130
6.4 Акцепторы свободных радикалов.....	132
6.4.1 Акцепторы алкильных радикалов.....	133
6.4.2 Акцепторы пероксидных радикалов.....	140
6.5 Требования к светостабилизаторам.....	142
6.6 Синергические смеси светостабилизаторов для полимеров.....	144
Контрольные вопросы.....	157
Литература.....	162
7 ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ПОЛИМЕРОВ ОТ БИОДЕГРАДАЦИИ.....	163
7.1 Виды воздействия микроорганизмов на полимерные материалы.....	163
7.2 Методы защиты материалов от биоповреждений.....	165
Контрольные вопросы.....	172
Литература.....	173
8 МЕТОДЫ ВВЕДЕНИЯ СТАБИЛИЗАТОРОВ.....	174
Контрольные вопросы.....	176
Литература.....	176
Приложение 1. ГОСТ 9.710-84 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Старение полимерных материалов. Термины и определения .....	177
Приложение 2. Методы испытаний, определение свойств полимеров .....	188
Российские ученые, внесшие вклад в развитие вопросов стабилизации полимеров и полимерных материалов.....	191