



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

А.П. Пономарев
Е.В. Тарасюк
Н.Л. Медяник
Ю.А. Бессонова

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ
УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума*

Магнитогорск
2022

УДК 620.1:621.798(076.5)
ББК 30.3я73

Рецензенты:

Начальник технологического отдела ООО «Алькор»
И.Н. Андрушко

доктор технических наук,
профессор кафедры Технологий обработки материалов,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
М.А. Полякова

Пономарев А.П., Тарасюк Е.В., Медяник Н.Л., Бессонова Ю.А.

Физико-механические и эксплуатационные испытания упаковочных материалов и изделий [Электронный ресурс]: практикум / Антон Павлович Пономарев, Елена Владимировна Тарасюк, Надежда Леонидовна Медяник, Юлия Александровна Бессонова; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (0,64 Мб). – Магнитогорск: ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования: IBM PC, любой, более 1 GHz; 512 Мб RAM; 10 Мб HDD; MS Windows XP и выше; Adobe Reader 8.0 и выше; CD/DVD-ROM дисковод; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Лабораторный практикум составлен в соответствии с программами дисциплин: «Технология упаковочного производства», «Технология целлюлозных композиционных материалов», «Производство изделий из полимерных и композиционных материалов», «Технологическое оборудование упаковочных производств». Он предназначен для проведения лабораторных работ по исследованию физико-механических свойств упаковочных материалов и изделий из них. В работах изложены основы теории и методика расчёта различных показателей, описан порядок проведения испытаний и обработки полученных результатов. В конце каждой лабораторной работы приведены контрольные вопросы.

Лабораторный практикум предназначен для студентов, обучающихся по направлению 29.03.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства». Он может быть полезен инженерно-техническим и научным работникам упаковочной отрасли.

УДК 620.1:621.798(076.5)
ББК 30.3я73

- © Пономарев А.П., Тарасюк Е.В.,
Медяник Н.Л., Бессонова Ю.А., 2022
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», 2022

Содержание

Введение	4
1. Лабораторная работа Испытание упаковочных материалов на расслаивание .	5
1.1. Теоретическое введение.....	5
1.2. Практическая часть	8
1.3. Контрольные вопросы.....	12
2. Лабораторная работа Определение стойкости упаковочных материалов к различным температурным условиям.....	13
2.1. Теоретическое введение.....	13
2.2. Практическая часть	18
2.3. Контрольные вопросы.....	22
3. Лабораторная работа Построение структурно-математических моделей упаковочных материалов.....	23
3.1. Теоретическое введение.....	23
3.2. Практическая часть	30
3.3. Контрольные вопросы.....	31
Техника безопасности при выполнении лабораторной работы	33
Библиографический список.....	34

ВВЕДЕНИЕ

Среди многочисленных требований к материалу упаковки важное значение имеют требования приспособленности материала к технологическим процессам переработки, а также к условиям эксплуатации. Эти требования сводятся к тому, что физико-механические свойства материала должны обеспечить его удобную, качественную и производительную обработку на конкретном оборудовании и выдерживать воздействие различных факторов окружающей среды.

Свойства упаковочных материалов могут существенно влиять на качество, надежность и производительность работы фасовочно-упаковочного, формующего, штамповочного, термоусадочного, полиграфического и другого оборудования. Поэтому неслучайно, несмотря на гарантии поставщиков материалов, международная система обеспечения качества предусматривает необходимость входного контроля поступающих на предприятия материалов. Получаемые в результате этих испытаний показатели используются для решения конкретных, специальных задач. Сопоставляя полученные в процессе испытаний механические и физические характеристики материала с соответствующими параметрами рабочих режимов оборудования нетрудно установить степень пригодности и приспособленности материала к данному оборудованию.

Расширение сферы применения материалов диктует необходимость проверки их поведения во всё более жёстких условиях эксплуатации и применения средств, обеспечивающих возможность их использования в экстремальных условиях.

Построение моделей, в частности структурно-математических, даёт возможность прогнозировать результат влияния различных факторов, не прибегая к натурным экспериментам. Кроме того, модель может быть положена в основу автоматизированной системы оперативного контроля и управления процессом обработки материала для решения вопроса оптимизации заданного качества обработки.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИСПЫТАНИЕ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА РАССЛАИВАНИЕ

Цель работы:

1. Изучение работы испытательной машины.
2. Освоение методики испытания упаковочных материалов на расслаивание.
3. Приобретение навыков расчёта прочностных характеристик упаковочных материалов в соответствии с ГОСТ 13648.6-86 «Бумага и картон. Методы определения сопротивления расслаиванию».

1.1. Теоретическое введение

Под расслаиванием понимается, с одной стороны, образование трещин в многослойных композитах на границе раздела слоев под действием внешних нагрузок, с другой стороны, отщепление отдельных слоев в слоистых однофазных материалах. Прочность на расслаивание и величина межволоконной силы связи важны для изделий из многослойной бумаги и картона. Они связаны с действием расслаивающих сил. Эту величину можно измерить с помощью металлических пластин, прикрепленных к исследуемому материалу двусторонней самоклеящейся лентой (рис. 1.1).

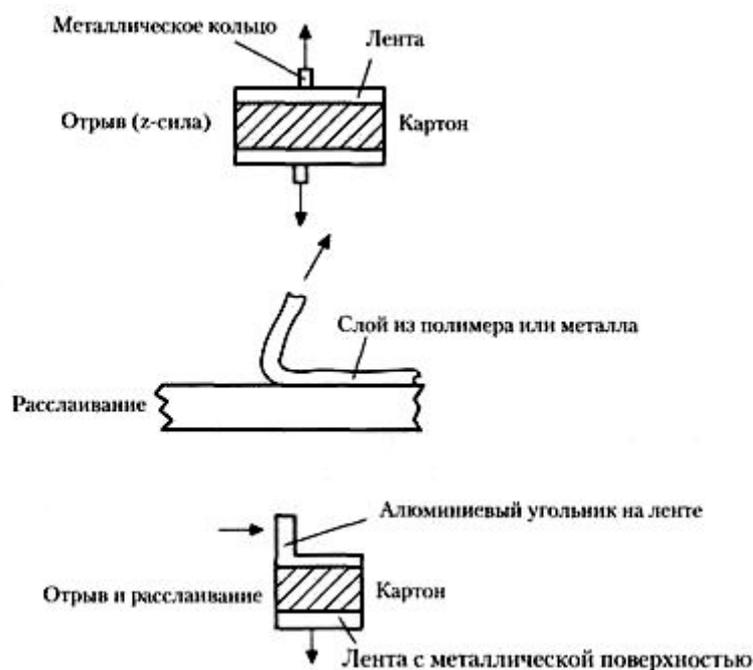


Рис. 1.1. Схемы испытаний материалов на расслаивание

Если прочность на расслаивание и межволоконные силы связи слишком малы, адгезионные связи легко разрушаются и нарушается композиционная устойчивость материала. Если межволоконные силы связи слишком велики, то не

произойдет внутреннего расслаивания, которое требуется для хорошей рилёвки (биговки).

Прочность единичного волокна прежде всего формируется за счет морфологических особенностей древесины. Этот показатель претерпевает значительные изменения в процессах делигнификации и отбелики, которые в наибольшей степени влияют на молекулярную и надмолекулярную структуру волокна.

Межволоконные связи являются важнейшим фактором, формирующим структурно-механические свойства бумаги. Межволоконные силы связи в основном характеризуются водородными мостиками, силами Ван-дер-Ваальса и силами трения между волокнами. Соотношение между этими силами связи различно в зависимости от степени разработки волокон в процессе их размола, от природы исходных волокон, от введения в композицию бумаги различных добавок. Например, в отливках бумаги из хорошо размолотой целлюлозы водородная связь обеспечивает примерно 75 % прочности от всех связей между волокнами, в то время как в отливках бумаги из той же целлюлозы, не подвергнутой размолу, на долю сил трения между сопряженными поверхностями волокон приходится около 80 % от суммы всех связей.

Водородные силы связи возникают при сближении свободных гидроксильных групп, находящихся на поверхности целлюлозы. Прессование влажных отливок бумаги приводит к увеличению ее объемной массы. При этом пропорционально ей увеличивается прочность связи единичного волокна в листе вследствие уплотнения структуры листа.

Величина водородных сил связи зависит от числа свободных гидроксильных групп. Она возрастает по мере раскрытия внешней поверхности волокна. Поэтому на прочность связи волокна в листе оказывает влияние величина внешней поверхности целлюлозы. Эта закономерность может быть проиллюстрирована на примере размола сульфатной и сульфитной целлюлозы в ролле Валлея и дисковой мельнице (рис. 1.2–1.3). Внешняя поверхность волокна косвенно характеризовалась степенью поврежденности наружных слоев клеточной стенки.

Для сульфитной и сульфатной целлюлоз значение этого показателя изменяется в зависимости от степени ее помола примерно одинаково и отличается при размоле на различном размалывающем оборудовании: ролле или дисковой мельнице.

Прочность связи волокна в листе определяется отношением силы связи волокна к его боковой поверхности. Боковая поверхность является функцией его диаметра и длины. Диаметр намного меньше длины, поэтому им обычно пренебрегают и говорят, что боковая поверхность является функцией длины волокна. В связи с тем, что в процессе размола длина волокон снижается, особенно для сульфитной целлюлозы, размолотой в дисковой мельнице, прочность связи волокна в листе может замедлять свой рост при увеличении степени помола целлюлозы.

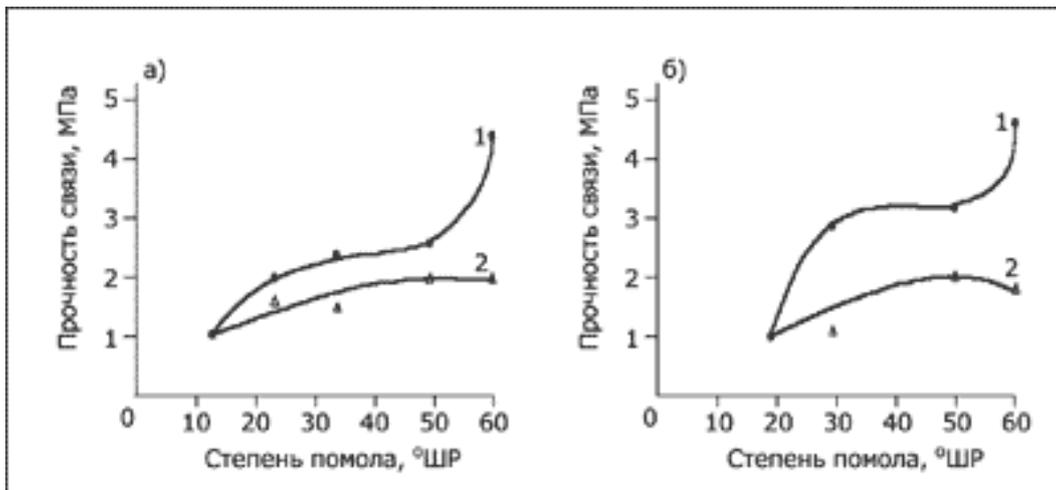


Рис. 1.2. Зависимость прочности связи единичного волокна в листе от степени помола целлюлозы:
а) сульфатной; б) сульфитной (1 – ролл; 2 – дисковая мельница)

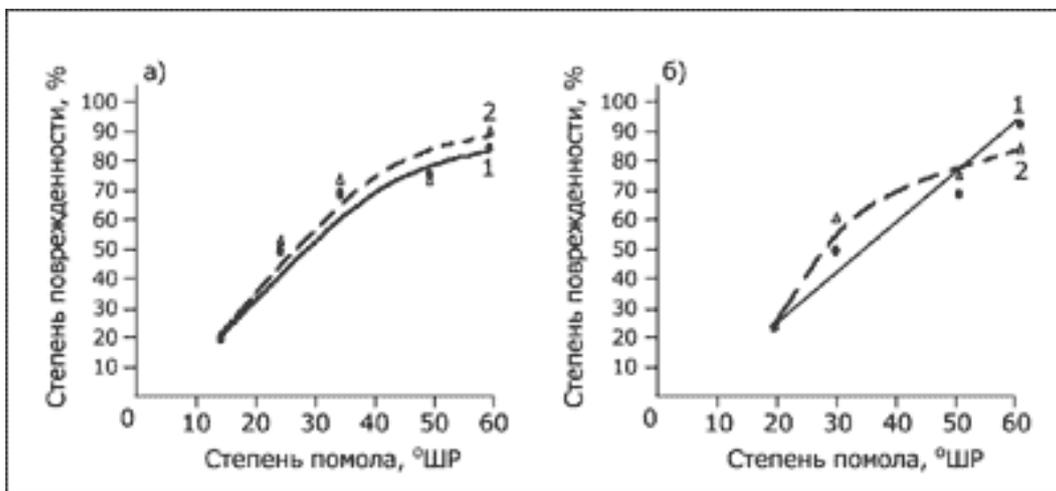


Рис. 1.3. Влияние степени помола целлюлозы на степень повреждения наружных слоев клеточной стенки:
а) сульфатной; б) сульфитной (1 – ролл; 2 – дисковая мельница)

На величину прочности связи волокна в листе оказывает влияние взаимодействие, которое возникает в системе «армирующий компонент – наполнитель». Наполнитель – это короткие волокна с хорошо развитой внешней поверхностью. Для беленых целлюлоз армирующий компонент, который представлен длинными волокнами, не требует воздействия процесса размла при получении массовых видов бумаг, так как поверхность этих волокон имеет достаточную величину и раскрыта уже под действием варочного и отбельного процессов. При получении бумаги из небеленой целлюлозы армирующему компоненту необходим размол (до 20 °ШР) с целью дополнительного увеличения внешней поверхности и гибкости волокон, так как в противном случае физико-механические показатели бумаги будут иметь значение, несоответствующее стандарту. В качестве армирующего компонента предпочтительнее целлю-

лоза хвойных пород, состоящая из длинных волокон. Лучшим наполнителем является целлюлоза лиственных пород, но может быть использована и целлюлоза хвойных, подвергнутая размолу с доминирующим рубящим воздействием.

В листе бумаги из неразмолотых волокон число армирующих волокон мало (30 %). Ими являются длинные волокна, являющиеся крупной и средней фракциями. В качестве наполнителя выступает часть средней и малочисленной мелкой фракции. Его волокна имеют слабо развитую поверхность и не создают сомкнутую структуру. Из-за этого снижается вероятность образования большого числа контактов между ним и армирующим компонентом. Бумажный лист из размолотых волокон состоит из более прочных армирующих волокон, так как из его состава под действием размола удалены более слабые ранние волокна. Но длина армирующих волокон в этом случае меньше из-за их рубки. Наполнитель представлен хорошо фибриллированными многочисленными короткими волокнами, образующими сомкнутую структуру с армирующими волокнами.

На первой стадии размола связи между волокнами растут быстрее, чем уменьшается их средняя длина, поэтому все механические показатели увеличиваются. Перегиб кривых прочности бумаги наступает тогда, когда силы межволоконных связей уже не могут компенсировать прочности за счет снижения средней длины волокон.

1.2. Практическая часть

Материалы: образцы упаковочных материалов на основе бумаги и картона (по заданию преподавателя), двусторонняя самоклеящаяся лента.

Приборы: испытательная машина ИП 5158-0,5, разрывная машина РМИ-250 (используется в качестве прессы), микрометр, аналитические весы, ножницы (или штанцы для вырубки образцов).

Описание испытательной машины ИП 5158-0,5

Машина испытательная ИП 5158-0,5 является универсальным прибором для испытаний образцов на механическую прочность при нормальной температуре с наибольшей предельной нагрузкой 0,5 кН.

Машина характеризуется большим ходом траверсы, диапазоном скоростей испытания, возможностью смены захватов. Машина имеет ряд приспособлений, которые обеспечивают проведение испытаний на растяжение, сжатие, расслаивание полимерных пленок, упаковочных бумаг и картонов, а также другие виды испытаний в пределах технических возможностей машины.

Машина ИП 5158-0,5 включает в себя испытательную установку, пульт оператора ПО-4 и силовой блок (рис. 1.4).

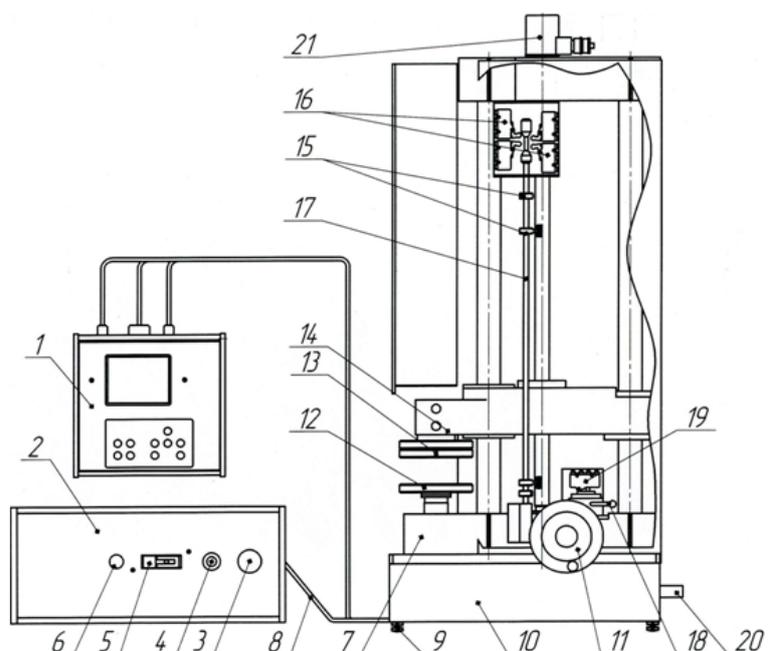


Рис. 1.4. Общий вид испытательной машины
ИП 5158-0,5

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| 1 – пульт оператора; | 12 – опора нижняя; |
| 2 – блок силовой; | 13 – опора верхняя; |
| 3 – кнопка “СТОП”; | 14 – траверса подвижная; |
| 4 – кнопка “ПУСК”; | 15 – упоры; |
| 5 – выключатель автоматический; | 16 – выключатели конечные; |
| 6 – лампочка “СЕТЬ”; | 17 – шток; |
| 7 – установка испытательная; | 18 – рукоятка; |
| 8 – устройство соединительное; | 19 – выключатель конечный; |
| 9 – опора; | 20 – болт заземления; |
| 10 – основание; | 21 – датчик перемещения. |
| 11 – маховик; | |

Принцип работы машины заключается в создании нагружающего усилия на образец и регистрации нагрузки, вызывающей разрушение образца.

Машина обеспечивает выдачу информации о результатах испытаний и их математическую обработку на пульт управления и на подключённый к машине компьютер.

Испытательная машина предназначена для определения прочностных и деформационных характеристик материалов при растяжении, сжатии, расслаивании, а также для проведения испытаний на циклическую усталость.

Для проведения испытаний на расслаивание используется приспособление (рис. 1.5), состоящее из двух круглых стальных пластинок диаметром $(38,0 \pm 0,3)$

мм и толщиной 2-3 мм. Каждая пластинка в центре имеет ушко, позволяющее соединить пластинку посредством серьги и кольца с хвостовиком для закрепления в зажимах испытательной машины.

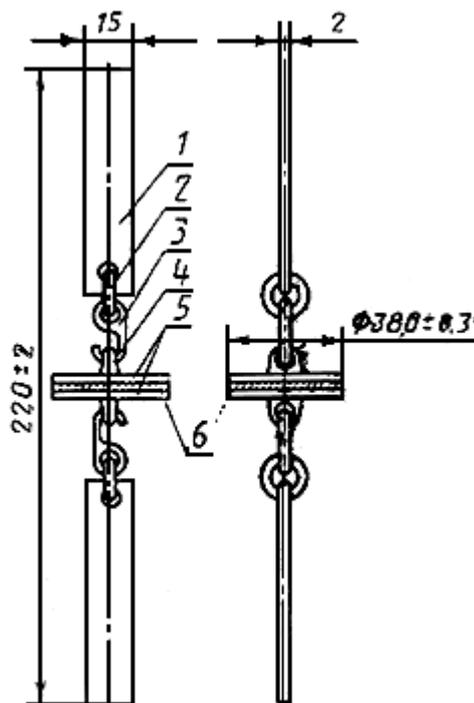


Рис. 1.5. Приспособление для испытаний на расслаивание:
1 – хвостовик; 2 – кольцо; 3 – серьга; 4 – ушко; 5 – стальные пластинки;
6 – образец

Правила безопасности при работе с испытательной машиной ИП 5158-0,5

Видами опасности при работе на машине являются:

- воздействие подвижных элементов (подвижной опоры);
- поражающее действие электрического тока.

Основными требованиями и необходимыми мерами для обеспечения безопасности работающих на машине являются следующие:

- рабочая зона, включающая в себя верхнюю и нижнюю опоры (или зажимы) и образец, при работе должна быть закрыта ограждением. Ограждение должно иметь электрическую блокировку, препятствующую включению привода при открытом ограждении;

- все токоведущие элементы электрооборудования должны быть изолированы от корпуса машины;

- открытые токоведущие части электрооборудования при работе должны быть закрыты ограждениями;

- на корпусах испытательной установки и блока силового должны быть установлены болты заземления, машина должна быть подсоединена к линии защитного заземления.

Не допускается:

- работа на незаземленной машине;
- регулирование и настройка машины, находящейся под напряжением кроме случаев, предусмотренных настоящим паспортом;
- работа при нагрузках, превышающих 500 Н в нижней рабочей зоне;
- работа при открытом ограждении, боковой двери и без кожуха электродвигателя.

Подготовка к испытанию

Установить на испытательной машине параметры испытания в соответствии с табл. 1.1.

Для испытания подготовить образцы по ГОСТ 13648.6-86: вырезать по пять образцов диаметром $(38,0 \pm 0,3)$ мм, с помощью микрометра измерить толщину образцов, взвесить их на аналитических весах и рассчитать массу 1 м^2 . Данные занести в табл. 1.2.

К круглым пластинкам приклеить самоклеящуюся ленту, ножницами обрезать её по форме пластинок, снять адгезионный слой и вклеить один из вырезанных образцов между парой пластинок.

Образец, вклеенный между пластинками, поместить под пресс (разрывная машина РМИ-250). Образец выдержать под нагрузкой $(450+50)$ Н в течение $(300+10)$ с.

Таблица 1.1

Параметры испытаний

Метод	Диаметр образца, мм	Расстояние между захватами, мм	Скорость испытания, мм/мин
Метод испытания на расслаивание	$38,0 \pm 0,3$	150	150

Порядок проведения испытаний

1. Приспособление с образцом закрепить в захватах испытательной машины.
2. Запустить на компьютере программу Analyzer и выбрать: Главное меню / Испытание / Провести.
3. Перед запуском испытания обнулить показания силоизмерительного датчика и датчика перемещения.
4. На пульте оператора ПО-4 нажать кнопку "TEST".
5. Зафиксировать усилие, вызывающее расслаивание образца.
6. Отметить характер расслаивания образца. Результаты испытаний образцов, расслаивающихся по самоклеящейся ленте, не учитывать

Обработка результатов

Сопротивление расслаиванию по площади (C_n , Н) вычислить как среднее арифметическое результатов пяти определений. Результат округлить до 1 Н и занести в табл. 1.2.

Предел прочности при расслаивании (σ_p , кПа) вычислить по формуле (1.1):

$$\sigma_p = \frac{C_n \times 10}{S}, \quad (1.1)$$

где S – площадь испытуемого образца (равна $11,3 \text{ см}^2$).

Результат округлить до 10 кПа и внести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты испытаний на расслаивание

Материал	Толщина, мм	Масса 1 м^2 , $\text{г}/\text{м}^2$	Сопротивление расслаиванию, Н	Предел проч- ности при рас- слаивании, кПа	Характер расслаивания

Сделать выводы по работе.

1.3. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой расслаивание материала?
2. Для каких материалов и изделий важно определять прочность при расслаивании?
3. Что будет наблюдаться при низких значениях межволоконных сил связи?
4. Как скажутся на материале чрезмерно высокие значения прочности при расслаивании?
5. Чем определяется прочность волокон?
6. От чего зависят межволоконные силы связи?
7. Как возникают водородные силы связи в материалах на основе целлюлозы?
8. Чем характеризуется прочность волокна в листе?
9. Что представляют собой наполнитель и армирующий компонент в основных видах бумаги?
10. Как влияет размол на механические свойства бумаги?
11. Из каких основных узлов состоит испытательная машина ИП 5158-05?
12. Как рассчитать предел прочности при расслаивании материала?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ К РАЗЛИЧНЫМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ УСЛОВИЯМ

Цель работы:

1. Ознакомление с работой климатической камеры.
2. Сравнительный анализ стойкости различных материалов к повышенным и пониженным температурам и к перепадам температур.

2.1. Теоретическое введение

Факторы окружающей среды оказывают сильное негативное воздействие на внешний вид и свойства упаковочных материалов и изделий. Особенно чувствительны к влиянию окружающей среды изделия из полимерных материалов. Интенсивность разрушения материала на открытом воздухе зависит от климатических условий, географического положения, типа полимера и продолжительности воздействия. Результаты воздействия могут быть различными: от незначительного изменения окраски и появления легких трещин до образования крупных трещин и полного разрушения структуры полимера.

К числу основных факторов окружающей среды, оказывающих негативное влияние на материалы, можно отнести следующие:

1. Солнечная радиация (ультрафиолетовая радиация, видимый свет и рентгеновские лучи);
2. Микроорганизмы (бактерии, грибы);
3. Влажность;
4. Озон и кислород;
5. Пары воды, влага в жидком и твёрдом виде;
6. Тепловая энергия;
7. Промышленные загрязнения, химические выбросы.

Комбинированное воздействие перечисленных факторов может оказывать гораздо более сильное воздействие, нежели каждый из них по отдельности, многократно ускоряя процесс деструкции.

По стойкости к климатическим воздействиям термопласты можно разделить на три категории (табл. 2.1).

Изменение механических свойств пластмасс оценивается в соответствии с ГОСТ 12020 по трехбалльной шкале. Хорошей (три балла) считается сопротивляемость, при которой прочность и деформируемость материала изменяются не более чем на 10 % (для реактопластов – 15 %). Удовлетворительной (два балла) считается стойкость, когда материал теряет по прочности до 15 % (реактопласты - до 25 %), а по деформируемости до 20 %. Одним баллом характеризуются пластики, утратившие более 15% (реактопласты — более 25%) прочности и одновременно 20 % деформируемости.

Относительная стойкость немодифицированных термопластов к климатическим воздействиям

Стойкость		
низкая	средняя	высокая
Пластифицированный поливинилхлорид, АБС-пластик, Полиацетали, Полиэтилен, Полисульфон, Полистирол, Полипропилен	Жёсткий поливинилхлорид, Поликарбонат, Термопластичный полиэфир, Полиамиды, Полиуретаны, Полифениленоксид, Полифениленсульфид	Полиакрилаты, Фторированные полимеры

Влияние солнечной радиации

Все компоненты солнечного излучения в той или иной мере оказывают вредное воздействие на полимерные материалы. В наиболее сильной степени деструкция происходит под действием ультрафиолетовой части спектра. Энергии ультрафиолетовой радиации достаточно для разрушения межатомных связей в макромолекулах полимера. Это воздействие на макромолекулы способствует термической окислительной деструкции, что приводит к охрупчиванию, выгоранию цвета и понижению всех механических и электрических свойств материала. Для моделирования радиации в той же области спектра используют ксеноновые лампы, флюоросцентное излучение, солнечные лампы и другие искусственные источники облучения. Другие факторы окружающей среды, например тепло, влажность, кислород, усиливают деструктивные процессы, вызванные ультрафиолетовой радиацией.

Одним из наиболее эффективных способов защиты полимера от ультрафиолетовой радиации является введение в состав материала адсорберов ультрафиолетового излучения или стабилизаторов. Такие добавки способны эффективно поглощать большую часть попадающего в материал ультрафиолетового излучения и рассеивать поглощенную энергию без особого вреда для полимера. Существуют различные типы как органических, так и неорганических адсорберов ультрафиолетового излучения. Практически все неорганические пигменты в той или иной степени поглощают ультрафиолетовую радиацию, обеспечивая тем самым защиту материала. Наиболее эффективными пигментами такого типа являются некоторые типы технического углерода, который поглощает энергию ультрафиолетового и видимого света практически во всем частотном диапазоне и преобразует ее в относительно безвредное излучение.

Стабилизаторы, в отличие от адсорберов ультрафиолетовой радиации, препятствуют разрушению химических связей или переводят энергию излуче-

ния на более низкий уровень, который недостаточен для влияния на химические связи.

Влияние микроорганизмов

Полимерные материалы в обычных условиях эксплуатации, как правило, не слишком сильно подвержены воздействию микроорганизмов. Однако низкомолекулярные добавки, такие как пластификаторы, лубриканты, стабилизаторы, антиоксиданты, могут мигрировать на поверхность изделия, что способствует росту микроорганизмов. Эффект повреждения материала вследствие воздействия микроорганизмов может быть немедленно обнаружен по снижению свойств материала, изменению асептического качества, потере прозрачности и возрастанию хрупкости. Скорость роста микроорганизмов зависит от таких факторов, как температура, влажность, присутствие кислорода, pH среды, свет. Для подавления роста и активности микроорганизмов в полимерные материалы добавляют специальные вещества – фунгициды и биоциды. Такие добавки высокотоксичны по отношению к низшим организмам, но не влияют на высокоорганизованные существа.

Влияние температуры

Тепловое поведение полимерных материалов является их важнейшей характеристикой, определяющей выбор пластмасс и их эффективное использование. Большинство полимеров очень чувствительны к температурному воздействию. Причина этого заключается в цепном макромолекулярном строении полимеров. Чем подвижнее кинетические фрагменты макромолекул, тем рельефнее их реакция на интенсивность теплового поля. Подвижность же макроцепей и, следовательно, температурная деформируемость и прочность определяются химическим строением, физической организацией полимеров (кристаллические или аморфные), морфологией их надмолекулярной структуры (пачечная, фибриллярная, сферолитная, сетчатая), видом и интенсивностью межмолекулярных связей и тем, к какому классу полимеров (термопластичным или терморезактивным) они относятся.

Чем ниже физико-механические свойства термопласта, тем он чувствительнее к изменениям температуры. Так, среди полиолефинов полипропилен, прочность и жесткость которого позволяет отнести его к конструкционным материалам, при нагреве до 80 °С теряет около 25 % стандартной прочности при изгибе, в то время как полиэтилен высокой плотности уже при 60 °С сохраняет лишь половину исходной прочности. Сходные соотношения наблюдаются при испытаниях полиолефинов на растяжение и изгиб.

Аморфные полимеры в целом демонстрируют меньшую зависимость деформационно-прочностных свойств от температуры. Вместе с тем и в этой группе большая теплостойкость материала определяет соответственно и повышенное сопротивление тепловому воздействию. Такие пластики как

поликарбонат, полиэтилентерефталат, полисульфон при температуре больше 100 °С сохраняют более 70 % прочности.

Жёсткость полимерных материалов при стандартной температуре не согласуется с их прочностью при нагреве. При близком значении стандартной твёрдости всех представленных пластиков материалы на основе полимеров стирола (ПС, УПС, АБС) демонстрирует наиболее отчетливую зависимость прочности при растяжении от температуры.

Введение рубленого стекловолокна в термопласты (до 30 масс.%) способствует уменьшению теплозависимости свойств, причем не только при нагревании, но и при температурах до -60 °С.

Температура весьма существенно влияет на жесткость термопластов, характеризующую их модулем упругости. Деформируемость кристаллизующихся термопластов (ПЭВП, ПА 12, ПА 66) резко изменяется даже при сравнительно небольшой вариативности температуры в нешироком (-40...+40 °С) интервале. Эту особенность необходимо обязательно учитывать, выбирая пластик для изготовления деталей конструкционного назначения, особенно предназначенных для работы в условиях длительных циклических напряжений (ПА 66, СФ, ПК).

Ударная вязкость термопластов с возрастанием температуры увеличивается, а с понижением – падает. Необходимо учитывать, что на получаемые результаты существенно влияет методика оценки этого параметра. Даже при испытании по методу Шарпи наличие или отсутствие надреза на образце приводит к несопадающим результатам. Образцы без надреза имеют существенно меньшую теплозависимость, чем образцы с концентратором напряжений (надрез).

Влияние температуры на терморезистивные пластики определяется прежде всего поведением сетчатого связующего. В области стеклообразного состояния с повышением температуры деформационно-прочностные свойства медленно понижаются до достижения температуры размягчения, превышение которой сопровождается ускоренным падением свойств. В отдельных случаях в температурном интервале 10-20 градусов значение модуля упругости и разрушающего напряжения уменьшается на два десятичных порядка. Наличие дисперсных наполнителей, оказывающих аддитивное действие на композит, несколько сглаживает эту ступень, а в случае высоконаполненных армированных пластиков переход связующего из твердого, стеклообразного в высокоэластичное состояние происходит еще медленнее. Большинство реактопластов способны эксплуатироваться в криогенных условиях при температурах до -60 °С, при этом их деформационно-прочностные характеристики, включая и ударную вязкость, даже несколько возрастают. Один из наиболее распространенных стеклопластиков, материал АГ-4В, получаемый на фенолоформальдегидном связующем, модифицированном поливинилбутиралем, сохраняет высокие значения свойств до температуры 100 °С и не утрачивает их полностью до 300 °С.

Применение кремнийорганических связующих (материал РТП) позволяет расширить температурный диапазон использования этих материалов от -60 до +400 °С. Введение в состав связующего нитрильного каучука (СНК-2-27) спо-

способствует сохранению высоких физико-механических свойств в области низких температур.

Влияние влаги и водяных паров

Под действием влаги и водяных паров в полимерных материалах могут происходить весьма существенные изменения, причем в гидрофильных пластиках они проявляются резче, чем в гидрофобных. Диффузия влаги в полимер сопровождается уменьшением в нем межмолекулярного взаимодействия, которое до определенного уровня может оказаться полезным с точки зрения прочностных свойств, но дальнейшее возрастание влагосодержания оказывает отрицательное воздействие. Так, при испытании на прочность в воде пленок из ПЭТФ, УПС, целлофана и волокон ПА пластифицирующее действие диффундировавшей в полимер воды приводит на начальной стадии испытаний к некоторому увеличению прочности за счет ускорения процессов релаксации и уменьшения внутренних напряжений. Этот эффект установлен на примере гидрофобных полимеров (ПЭТФ, УПС), широко используемых в качестве упаковочных материалов в пищевой промышленности, а также в медицине и биотехнологии. В то же время сорбируемая поверхностью полимера влага, способствуя образованию новых поверхностей, может облегчать появление микротрещин с последующей утратой изделиями своих потребительских свойств. Такой эффект наблюдается у жестких аморфных термопластов типа поликарбоната и блочного полистирола. Полиамиды относятся к гидрофильным полимерам. Они характеризуются гигроскопичностью и способны сорбировать влагу из воздуха даже в стандартных условиях относительной влажности (50-60 %, температура 20 °С). В зависимости от химического строения и состава влагопоглощение полиамидов может составлять от 0,7 до 4 %.

Существенное влияние влаги на свойства отмечается у композиционных пластиков с гидрофильными наполнителями (древесная мука и опилки, ПА-волокно, некоторые разновидности углеволокна). Так, влагопоглощение древесно-стружечных пластиков может достигать 30 % (ДСВ-СТ). В то же время использование фенолокрезолоформальдегидных связующих уменьшает влагопоглощение ДСП до 1-3 %.

Фено- и аминопласты с неорганическим наполнителем в среднем поглощают до 1,5 % влаги. Влагопоглощение терморезистивных стеклопластиков не превышает 1 %. Даже при длительном кипячении (до 10 часов) они сорбируют до 2-4 % влаги, однако их прочность при изгибе может понизиться примерно вдвое.

В целом при оценке возможности влияния внешней жидкой среды на пластмассы необходимо также учитывать насколько эта жидкость является растворителем для данной полимерной матрицы. Так, например, для ПММА активные растворители ацетон, этанол, бензол резко снижают прочность, в то же время керосин, олеиновая кислота и вода оказывают значительно меньшее ослабляющее действие.

Влияние химических веществ

Перечень агрессивных агентов, влияющих на свойства полимерных материалов, чрезвычайно широк. К ним относятся минеральные и органические кислоты, а также растворы последних в воде, растворы щелочей и окислителей, алифатические и ароматические растворители, а также горюче-смазочные материалы. Воздействие агрессивной среды на полимер может сопровождаться его набуханием, диффузией среды в полимер и химическим взаимодействием, приводящим к деструкции полимера.

Высокой химической инертностью и стойкостью к деструкции обладают фторопласты. Значительную химстойкость демонстрируют и такие полиолефины, как ПЭНП; ПЭВП и ПП, а также непластифицированный ПВХ. Несколько уступает им по химстойкости ПК и полистирольные пластики. Гетероцепные полимеры типа полиамидов склонны к гидролитической деструкции и активному набуханию вследствие своей гидрофильности. Нестоек к агрессивным средам конструкционный термопласт полиформальдегид.

Терморезистивные пластики чувствительны к щелочным средам и растворам окислителей. Вместе с тем в химическом аппаратостроении широко используются высоконаполненные порошковым графитом (асбестом) антегмиты и фаолиты, полученные на основе фенолоформальдегидного или фенолоальдегидного связующего. Армированные полимерные материалы могут эксплуатироваться длительное время в кислотах и растворах щелочей концентрацией до 10 %, а также в растворителях и горюче-смазочных материалах.

Агрессивные среды в виде органических и неорганических кислот, оснований и их водных растворов, газообразующих примесей (CO_2 ; NH_3 ; NO_2 ; SO_2 ; P_2O_5), содержащихся в воздухе промышленных городов, влияют на прочность полимерных материалов, вызывая их химическую деструкцию.

2.2. Практическая часть

Материалы: образцы упаковочных материалов (по заданию преподавателя).

Оборудование: климатическая камера СМ -60/75-80 ТВХ, испытательная машина ИП 5158-0,5, микрометр, аналитические весы, ножницы, канцелярский нож.

Описание климатической камеры СМ -60/75-80 ТВХ

Климатическая камера СМ -60/75-80 ТВХ предназначена для проведения климатических испытаний и других лабораторных исследований.

Общий вид камеры представлен на рис. 2.1.

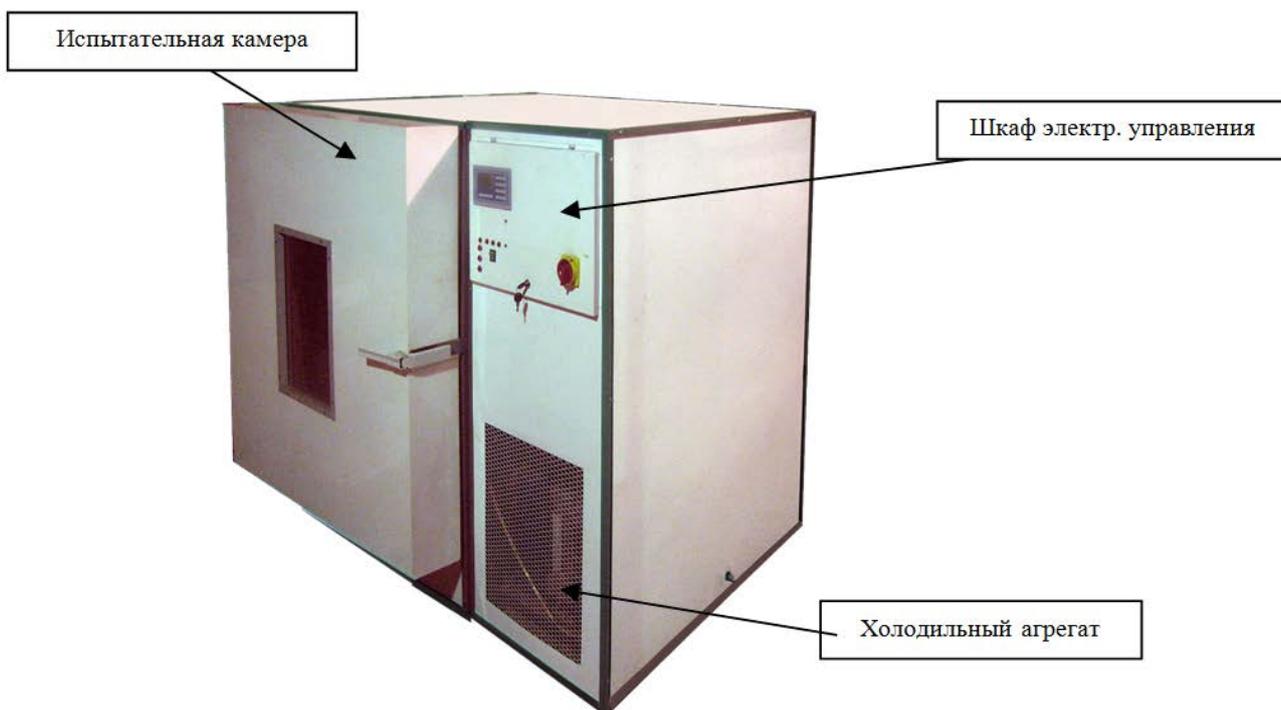


Рис. 2.1. Общий вид климатической камеры SM -60/75-80 TBX

Камера состоит из следующих блоков (рис. 2.2): испытательной камеры, холодильного агрегата, шкафа электронного управления, блока регулировки влажности.

Образец помещается в испытательную камеру, в которой с заданной точностью создаются регулируемые температурно-влажностные условия.

Основные технические характеристики камеры приведены в табл. 2.2.

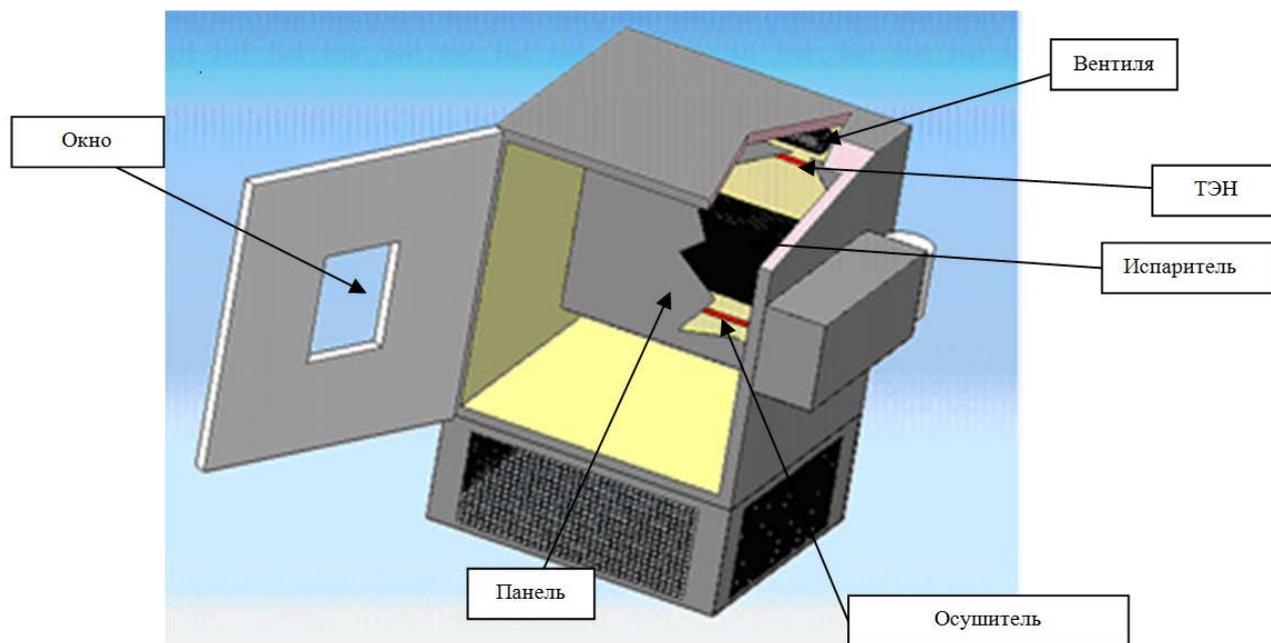


Рис. 2.2. Основные узлы климатической камеры SM -60/75-80 TBX

Таблица 2.2

Технические характеристики климатической камеры СМ -60/75-80 ТВХ

Минимальная стабилизируемая температура, °С	-60
Максимальная стабилизируемая температура, °С	75
Время разогрева до максимальной температуры не более, мин	60
Время охлаждения до минимальной температуры не более, мин	70
Точность поддержания температуры в контрольной точке в установленном режиме не хуже, °С	±2
Неравномерность температуры по объему в установленном тепловом режиме не хуже, °С	3,0
Дискретность индикации температуры, °С	0,1
Дискретность установки рабочей температуры, °С	0,1
Диапазон установки относительной влажности воздуха внутри рабочей камеры в диапазоне температур от 20 до +40 °С, %	От 30...до 98
Точность поддержания относительной влажности воздуха, %	±5
Режим работы	долговременный
Потребляемая мощность не более, кВт	2,0
Тип датчика температуры	ТСП 100-П
Пожарный датчик	есть
Нагрузка на полку не более, кг	50
Хладагенты	R440, R223
Количество полок, шт	1

Правила безопасности при работе с климатической камерой СМ -60/75-80 ТВХ

1. При работе с климатической камерой и ее ремонте необходимо соблюдать общие требования технической эксплуатации электрооборудования и электроизмерительных приборов.
2. Запрещается работа с климатической камерой при снятых защитных крышках.
3. При работе с климатической камерой необходимо заземлять её корпус.
4. Не допустимо попадание в рабочую камеру кислот, щелочей и других агрессивных веществ, которые могут взаимодействовать с металлами и полимерными материалами, из которых изготовлена климатическая камера.

Порядок выполнения работы и обработки результатов

1. Из исследуемого материала вырезать 20 образцов прямоугольной формы размером 150×15 мм, ориентированных в одном направлении, и разделить все вырезанные образцы на четыре группы.
2. С помощью микрометра определить толщину образцов. Результаты измерений внести в табл. 2.3.

3. Взвесить образцы на аналитических весах и рассчитать массу образцов площадью 1 м². Полученные данные внести в табл. 2.3.

4. Провести испытание на растяжение с первой группой образцов (расстояние между захватами – 25 мм, скорость испытания – 100 мм/мин.). Зафиксировать значения максимальной нагрузки и удлинения при разрыве. В табл. 2.3 внести среднеарифметические значения этих показателей для группы образцов.

5. Рассчитать прочность при растяжении (σ_z , МПа) для группы образцов по формуле (2.1):

$$\sigma_z = \frac{F_{\max}}{b \times d}, \quad (2.1)$$

где F_{\max} – максимальная нагрузка, Н;

b – начальная ширина образца, мм;

d – начальная толщина образца, мм.

6. Рассчитать относительное удлинение при разрыве (ε_r , %) для группы образцов по формуле (2.2):

$$\varepsilon_r = \frac{\Delta l_r}{l_0} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где Δl_r – удлинение при разрыве, мм;

l_0 – начальная расчётная длина образца, мм.

7. Положить вторую и третью группы образцов в климатическую камеру и выдержать их в течение 30 мин. при температуре (-50±5) °С.

8. Провести испытание на растяжение со второй группой образцов. Полученные результаты внести в табл. 2.3.

9. Довести температуру в камере до температуры (+50±5) °С. Положить в камеру четвёртую группу образцов. Выдержать образцы при заданной температуре в течение 30 мин.

10. Провести испытание на растяжение с третьей и четвёртой группами образцов. Полученные результаты внести в табл. 2.3.

11. Сделать вывод о стойкости упаковочных материалов к температурным условиям.

Таблица 2.3

Результаты испытаний

Материал	Температура, °С	Толщина, мм	Масса 1 м ² , г/м ²	Максимальная нагрузка, Н	Прочность при растяжении, МПа	Удлинение при разрыве, мм	Относительное удлинение при разрыве, %	Стойкость

2.3. Контрольные вопросы

1. Какие факторы окружающей среды оказывают влияние на упаковочные материалы и изделия из них?
2. В чём сущность климатических испытаний материалов и изделий?
3. Какое влияние оказывает солнечная радиация на упаковочные материалы?
4. Что используют для защиты от микроорганизмов упаковочных материалов?
5. Как влияют температурные воздействия на свойства упаковочных материалов?
6. Какие полимеры наиболее чувствительны к воздействию влаги?
7. Какие химические вещества оказывают наибольшее негативное воздействие на полимерные материалы?
8. Какие способы существуют для повышения стойкости упаковочных материалов и изделий к климатическим воздействиям?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

1. Освоение методики построения структурно-математических моделей сложных реологических сред.
2. Соотнесение упаковочных материалов со стандартными структурно-математическими моделями.

3.1. Теоретическое введение

В различных отраслях промышленности получают и перерабатывают большое количество дисперсных систем, синтетических веществ, растворов, полимерных материалов и др., которые по своим механическим свойствам значительно отличаются как от твердых тел, так и от вязких жидкостей. Деформацию и напряженное состояние материалов, механические свойства которых занимают промежуточное место между твердыми телами и жидкостями, изучает наука, называемая реологией.

Некоторые ученые, например Рейнер, считали реологию наукой, изучающей деформацию и течение материалов. Согласно этому определению такие классические науки, как теория упругости, пластичности и гидромеханика, являются всего лишь разделами реологии. Однако, у реологии есть своя специфическая область исследования физико-механических свойств материалов, процессы деформации которых не укладываются в рамки классических теорий упругости, пластичности и гидромеханики. Молодая наука реология в своем развитии как раз и опиралась на представления, разработанные в этих науках. Модели упругости и пластичности тел и вязкой жидкости явились тем фундаментом, на котором создавались модели упруговязких, вязкопластических сред и неньютоновских жидкостей.

Таким образом, задачами реологии являются экспериментальное исследование и математическое описание реологических процессов, т.е. процессов деформации и напряженного состояния твердообразных неупругих тел и жидкообразных неньютоновских жидкостей.

Вследствие того, что в технологических процессах химической, пищевой, металлургической и др. отраслях промышленности перерабатывается большое количество материалов и веществ, не подчиняющихся законам гидромеханики вязкой жидкости, процессы их движения в аппаратах и машинах следует считать реологическими процессами.

Кибернетика является наукой, изучающей системы, способные воспринимать, хранить и перерабатывать информацию для целей управления. Информация – это совокупность сведений о результатах событий, происходящих в системах. Информация о событиях передается с помощью сигналов, т.е. каких-либо физических явлений, вызванных движением вещества или передачей

энергии. Эти сигналы перерабатываются в параметры, которые позволяют управлять и регулировать работой системы.

Характерными особенностями кибернетики являются общий характер ее законов и применимость их к любым процессам независимо от их природы, что позволяет применять закономерности кибернетики в различных отраслях знаний. Отсюда следует важный научный и практический интерес к возможности применения методов технической кибернетики и реологии в проведении экспериментальных и теоретических исследований физико-механических свойств различных материалов и веществ. Дело в том, что реологические процессы являются результатом внешних воздействий на материалы. Под влиянием внешнего силового воздействия в материале возникают явления его деформации, а при внешнем деформационном воздействии в материале создается определенное напряженное состояние.

Определенная однозначная связь между деформационным и напряженным состояниями может рассматриваться как явление передачи информации по внутренним реологическим каналам связи в среде или сохранении ее в «памяти» материала. Реакцию материала на внешнее воздействие можно рассматривать как процесс переработки внешней информации.

Можно с полным основанием утверждать, что интеграция методов кибернетики и реологии открывает принципиально новые возможности как в исследовании, так и в управлении реологическими процессами.

Математическое моделирование реологических свойств материалов основано на теоретическом исследовании поведения математических моделей этих сред в результате различных внешних воздействий или различных входных сигналов. Целью математического моделирования является получение решения системы уравнений математической модели и нахождение сигналов отклика на характерные входные сигналы.

Важное влияние на математическое моделирование оказывает выбор реологического уравнения состояния среды. В реологии в настоящее время получено большое число реологических уравнений состояния различных сред, деформационными характеристиками которых являются малые деформации.

Особенно плодотворное влияние на процесс получения реологических уравнений оказала теория механических моделей материалов, позволяющая не только качественно проанализировать поведение материала, но и самое главное – получить реологическое уравнение состояния, которое изображает эта модель. В реологические уравнения состояния входят как реологические константы, имеющие четкий физический смысл, так и переменные скалярные величины, зависящие от инвариантных величин обобщенных деформаций, скоростей деформаций сдвига и обобщенных касательных напряжений. Теория механических моделей была предложена Рейнером.

Большое развитие и применение получили, так называемые, теории наследственности, предложенные впервые Больцманом и Вольтером [5]. В основу теории наследственности положен принцип суперпозиции, согласно которому результирующая деформация среды является функцией всей предыстории нагружения образца и равна сумме независимых приращений деформаций, вы-

званных отдельными ступенчатыми нагружениями среды. Реологические уравнения состояния в теории наследственности представляют из себя интегральные уравнения, содержащие функцию наследственности.

Реологические уравнения состояния, полученные из эмпирических зависимостей между деформациями, напряжениями и временем, которые нашли применение в теории ползучести, представляют из себя дифференциальные уравнения с переменными коэффициентами неинвариантного времени, что является их недостатком.

После выбора реологического уравнения состояния приступают к математическому моделированию, которое может быть представлено следующей кибернетической схемой (рис.3.1).



Рис. 3.1. Кибернетическая схема математического моделирования реологических процессов

Как видно из схемы, сущность метода математического моделирования состоит во введении в реологическое уравнение состояния различных входных деформационных и силовых сигналов и получение в результате математического решения уравнения выходных силовых или деформационных сигналов отклика. На ход математического моделирования будут оказывать влияние управляющие параметры: заданная температура среды, давление, геометрические размеры и форма деформирования материала и др. В результате моделирования будут получены уравнения и графики сигналов отклика, характеризующие материал, имеющий данное реологическое уравнение состояния.

Метод структурно-математического моделирования основан на представлении реологических свойств различных материалов с помощью моделей, составленных из элементарных механических моделей, моделирующих основные свойства сплошных сред – упругость, вязкость, пластичность. Каждая элементарная модель характеризуется своим реологическим уравнением состояния, уравнениями и графиками отклика при определенных входных сигналах. Реологические свойства каждого элемента характеризуются реологическими константами, входящими в реологическое уравнение состояния.

Структурные схемы, составленные соединением двух или более элементарных моделей, являются сложными моделями. Естественно, что различные сочетания элементарных моделей будут характеризовать сплошные среды,

имеющие сложные реологические свойства и реологические уравнения состояния.

Метод структурно-математических моделей имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими методами:

1) благодаря своей наглядности он позволяет качественно объяснить реологическое поведение материалов при различных входных сигналах;

2) представляется возможным на основе структурной схемы модели составить реологическое уравнение состояния материала;

3) хотя в данном методе реологические свойства материалов рассматриваются с феноменологической точки зрения, наличие в уравнениях состояния реологических констант, имеющих четкий физический смысл, позволяет установить связь этих свойств со строением вещества и его молекулярной структурой.

В качестве основных элементарных моделей используются пять механических моделей (рис. 3.2):

- модель абсолютно твердого тела 1;
- модель упругого тела 2;
- модель вязкой жидкости 3;
- модель пластично деформируемого тела 4;
- модель пластично текучего тела 5.

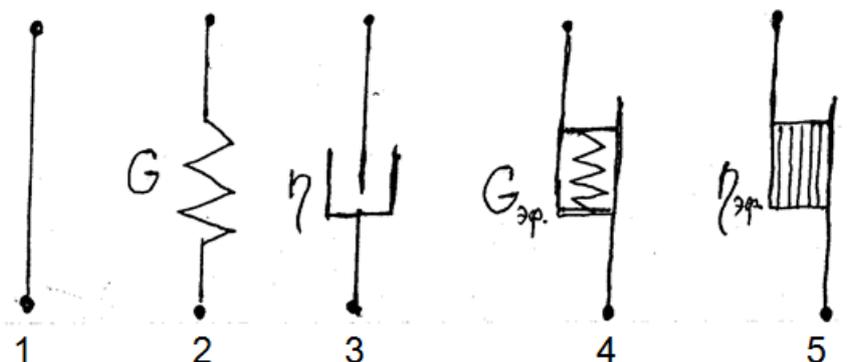


Рис. 3.2. Механические модели

Здесь отметим только, что механической моделью пластично деформируемого тела 4 является ползунок, скользящий с сухим трением по плоской поверхности. Так как при сухом трении движение ползунка начинается не сразу, а после преодоления его силы трения о плоскую поверхность, то эта модель представляет пластичное тело. Пластично текучее тело после преодоления силы трения начинает течь, как своего рода вязкая жидкость, что и изображают полоски на ползунке.

Сложные структурные схемы моделей при анализе могут быть расчленены на отдельные звенья, состоящие из двух или большего числа элементарных механических моделей. При этом следует различать два принципиально различных вида звеньев.

1. Звено, состоящее из последовательно соединенных между собой элементарных механических моделей, которые называют последовательным звеном.

2. Звено, образованное параллельно соединенными между собой с помощью стержней из абсолютно твердого тела элементарных механических моделей, которое называется параллельным звеном.

Сформулируем принципы получения реологических уравнений состояния для сложных моделей, которые будут представлять из себя сочетание реологических уравнений состояния элементарных механических моделей:

1. Принцип коммутативности элементарных механических моделей

Элементарные механические модели в последовательных и параллельных звеньях могут располагаться в каком угодно порядке, так как от порядка их расположения реологическое уравнение данного звена не зависит.

2. Принцип последовательного соединения элементарных механических звеньев

Напряжение, приложенное к последовательному звену, состоящему из последовательно соединенных элементов, будет передаваться вдоль всей цепи элементарных механических моделей, вызывая деформации в отдельных элементах. Тогда результирующая деформация последовательного звена будет равна сумме деформаций отдельных элементарных механических моделей. Деформация элементарных моделей определяется из их реологических уравнений состояния.

Сложная реологическая модель может быть образована рядом последовательных звеньев. Реологические уравнения состояния последовательных звеньев могут содержать производные от девиатора деформаций по времени высоких порядков.

В сложной реологической модели, образованной последовательным соединением элементарных механических моделей, девиатор напряжений будет постоянным для всех элементов, а результирующий девиатор деформации равен сумме девиаторов деформаций, определяемых из реологических уравнений состояния всех элементов модели. В этом заключается принцип последовательного соединения механических моделей.

Из данного принципа можно вывести ряд следствий.

1-е следствие относится к однородным последовательным упругим и вязким элементам.

Если в сложной реологической модели имеется n последовательно соединенных упругих или вязких элементов, то эта модель может быть заменена одной простой механической моделью с приведенным модулем сдвига или приведенным коэффициентом вязкости.

2-е следствие касается однородных пластичных элементов. Элементарные механические модели пластично-деформируемого тела 4 и пластично-текучего тела 5 (см. рис.3.2) могут вести себя двояким образом в зависимости от значения обобщенного касательного напряжения: если $\tau_i < \theta$, где θ - предельное напряжение сдвига, то эти элементы являются абсолютно твердыми телами, если $\tau_i > \theta$, то они деформируются.

Поэтому можно назвать пластические элементы 4 и 5 при $\tau_i < \theta$ закрытыми пластическими элементами, а при $\tau_i > \theta$ - открытыми пластическими элементами.

Если в сложной реологической модели имеются n последовательно соединенных элементарных механических моделей пластично-деформируемых или пластично-текучих тел, то будет открытым только один пластический элемент, предельное напряжение сдвига которого минимально, остальные элементы будут всегда закрыты.

Очевидно, что, если $\tau_i < \theta_{\min}$, то вся последовательная сложная реологическая модель остается закрытой моделью и не выдает деформационного сигнала отклика.

3. Принцип параллельного соединения элементарных механических моделей

В параллельно соединенных элементах и звеньях деформации всех элементов и звеньев равны между собой, так как все они деформируются как единое целое. В этом случае напряжение, приложенное к сложной реологической модели или параллельному звену, распределится между параллельными моделями, и результирующее напряжение сложной модели будет равно сумме напряжений отдельных элементов, которые определятся из их реологических уравнений состояния.

Принцип параллельного соединения элементарных моделей формулируется следующим образом: девиатор напряжений в реологическом уравнении состояния сложной модели, состоящей из параллельно соединенных элементарных механических моделей, равен сумме девиаторов напряжений, определяемых из реологических уравнений состояния отдельных параллельных элементов, а девиатор деформаций для всех параллельных элементов и звеньев является величиной постоянной.

В случае, если в сложной реологической модели имеются n однородных параллельных элементов, то эта модель может быть заменена одним элементом с приведенным значением реологической константы этой модели.

Следует отметить, что сложная реологическая модель из параллельно соединенных пластических элементов включится в работу и будет выдавать сигнал отклика только после достижения обобщенным касательным напряжением сдвига величины суммарного предельного напряжения сдвига всех n элементов сложной структурной модели, т.е. при условии $\tau_i = n \cdot \theta_k$.

Если $\tau_i < n \cdot \theta_k$, то параллельно соединенная модель будет оставаться закрытой и не будет выдавать выходной сигнал отклика.

В общем случае, когда структура сложной модели состоит из параллельно соединенных разнородных элементов и в ней имеется хотя бы один параллельно соединенный пластический элемент, то такая модель будет проявлять себя различным образом в зависимости от отношений между величиной обобщенного касательного напряжения τ_i и предельным напряжением сдвига θ :

1) при $\tau_i < \theta$ модель будет закрытой;

2) при $\tau_i = \theta$ она откроется и будет выдавать сигнал отклика на входные сигналы.

Сложные структурно-математические модели классифицируются по количественным и качественным признакам, характеризующим состав элементарных механических моделей, образующих сложные структурные схемы. По количественному признаку они разделяются на:

- 1) двухэлементные модели;
- 2) трехэлементные модели;
- 3) многоэлементные модели.

По качественному признаку сложные модели классифицируются на следующие основные виды:

1. Вязкоупругие модели, которые изображают реологические свойства вязкоупругих материалов и образуются из вязких и упругих элементов.

2. Упругопластические модели, которые, в свою очередь, можно разделить на:

- упругопластично деформируемые модели, образованные упругими и пластично деформируемыми элементами;

- упругопластично текучие модели, состоящие из упругих и пластично текучих элементов.

3. Вязкопластические модели, описывающие вязкопластические материалы и образованные вязким и пластичным элементами.

4. Упруговязкопластические модели, образованные упругими, вязкими и пластическими элементами. Эти модели описывают большой класс материалов.

Двухэлементные модели

Из пяти элементарных механических моделей можно составить двенадцать моделей, которые изображены на рис. 3.3.

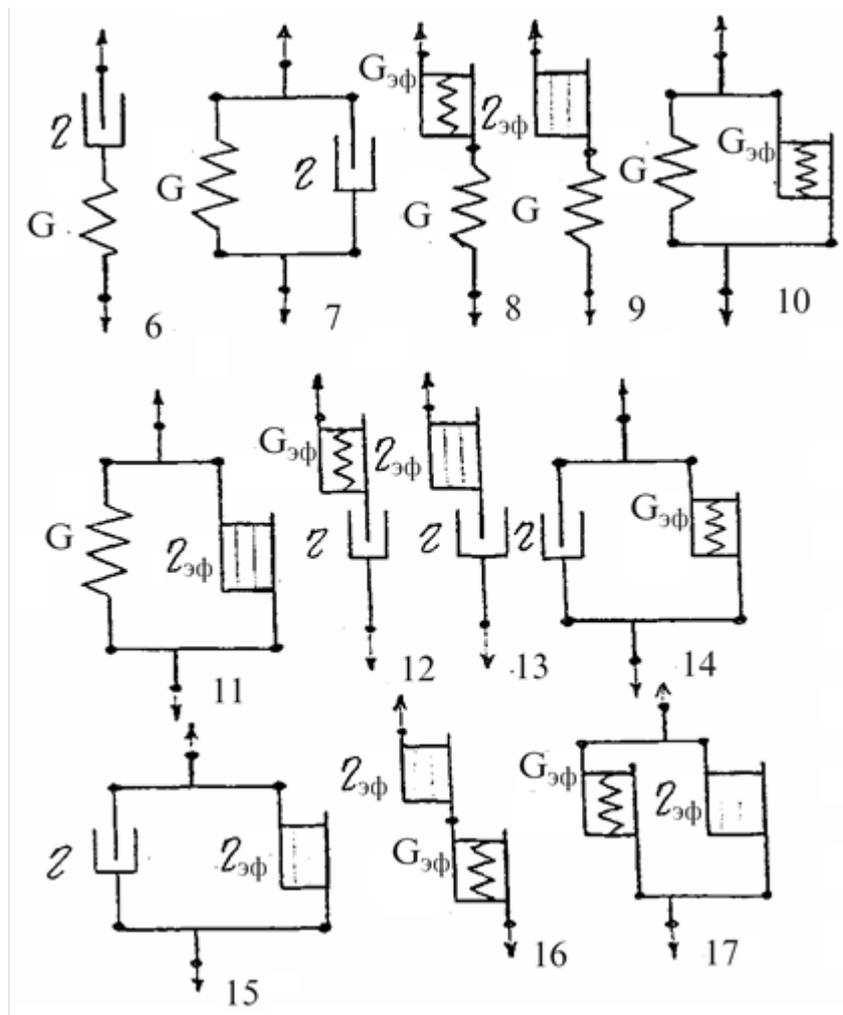


Рис. 3.3. Двухэлементные механические модели

Сложные механические модели 6, 12 и 13 изображают жидкости, так как содержат открытый вязкий элемент, остальные модели являются моделями твердых тел.

Сложная механическая модель упруговязкой жидкости 6 (см. рис. 3.3) состоит из последовательно соединенных упругого и вязкого элементов, следовательно, она сочетает в себе реологические свойства упругого тела и вязкой жидкости.

Для получения реологического уравнения состояния упруговязкой жидкости следует согласно принципу последовательного соединения элементов сложить девиаторы деформаций упругого тела и вязкой жидкости, определяемые из уравнений Гука и Ньютона, являющихся реологическими уравнениями состояния.

3.2. Практическая часть

Материалы: образцы упаковочных материалов (по заданию преподавателя).

Порядок проведения работы и обработки результатов

1. По справочным данным провести анализ физико-механических свойств полученных материалов
2. По совокупности проанализированных характеристик предложить структурно-механическую модель, наиболее полно описывающую поведения данного материала.
3. В табл. 3.1 внести характеристики выбранной модели.
4. Привести уравнение состояния модели.
5. Описать поведение модели при возмущающих воздействиях.
6. Проанализировать результаты структурно-математического моделирования и сделать выводы по работе..

Таблица 3.1

Результаты структурно-математического моделирования

Материал	Свойства материала	Структурно-математическая модель	Характеристика модели	Уравнение состояния	Поведение при возмущающем воздействии

3.3. Контрольные вопросы

1. Основные характеристики сплошных сред. Деформационные характеристики. Понятие о тензоре деформации и его компонентах. Виды деформаций сдвига.
2. Кинематические характеристики сплошной среды. Тензор скоростей деформаций. Инварианты тензора скоростей деформаций.
3. Характеристики напряженного состояния сплошных сред. Тензор напряжений и его составляющие. Интенсивность касательных напряжений. Определение касательных напряжений. Определение касательных напряжений при различных видах деформации и течения среды.
4. Общая характеристика методов исследования реологических процессов. Принципы и особенности физического и математического моделирования. Деформационные и силовые входные и выходные сигналы. Классификация входных сигналов.
5. Сущность метода моделирования реологических процессов посредством синтеза их механико-математических моделей. Виды элементарных механических моделей и их реологические уравнения состояния.
6. Принципы получения реологических уравнений состояния для сложных сред путем синтеза их структур из элементарных моделей.

7. Классификация сложных реологических моделей по количественному и качественному признакам. Привести примеры двух-трех и более элементарных моделей и качественно охарактеризовать их свойства.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторной работы предусмотрена работа с оборудованием, работающим от сети переменного тока напряжением 220 В, поэтому при несоблюдении элементарных требований техники безопасности может возникнуть угроза здоровью и жизни выполняющего лабораторную работу. В связи с этим необходимо строго соблюдать следующие условия:

1) Перед началом работы пройти инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, что фиксируется подписью в журнале регистрации инструктажей по ТБ.

2) Внимательно ознакомиться с рекомендациями данного пособия по проведению лабораторной работы.

3) Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации лабораторного оборудования, на котором проводятся испытания, и неукоснительно ей следовать.

4) Проведение действий и экспериментов, не предусмотренных регламентом лабораторной работы, категорически запрещено.

5) При работе на установке, запитанной от электрической сети, запрещается прикасаться к электропроводам и без необходимости производить включение – отключение установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефремов Н.Ф. Технология упаковочного производства: учеб. пособие / Н.Ф. Ефремов, М.Г. Колесниченко. – М.: МГУП, 2011. – 350 с.
2. Ефремов Н.Ф. Надежность и испытание упаковки: учебное пособие / Н.Ф. Ефремов, И.К. Корнилов, Ю.М. Лебедев. - М.: МГУП, 2004. – 112 с.
3. Шах В. Справочное руководство по испытаниям пластмасс и анализу причин их разрушения. / Пер. с англ. под ред. Малкина А.Я. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009. – 732 с.
4. Крыжановский В.К. Технология полимерных материалов: Учеб. пособие для вузов / В.К. Крыжановский. - СПб.: Профессия, 2008. – 534 с.
5. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. -СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
6. Фляте Д.М. Технология бумаги: учебник для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1988. – 440 с.
7. Упаковка на основе бумаги и картона / М. Дж. Кирван (ред.) ; под науч. ред. Э. Л. Акима, Л. Г. Махотиной. – СПб.: Профессия, 2008. – 487 с.
8. Физико-химические основы переработки полимеров [Текст] : учебное пособие / Н. Л. Медяник, В. В. Ананьев, А. И. Суворова, О. В. Ершова ; МГТУ. – Магнитогорск : МГТУ, 2005. – 110 с.
9. Технические свойства полимерных материалов/ В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
10. ГОСТ 13648.6-86. Бумага и картон. Методы определения сопротивления расслаиванию. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 6 с.
11. Практикум по химии и физике полимеров: Учеб. Изд./ Н.И. Аввакумова, Л.А. Бударина, С.М. Дивгун и др.: Под ред. В.Ф. Куренкова. – М.: Химия. 1990. – 304 с.
12. Примаков С.Ф. Производство бумаги. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 224 с.
13. Стеблянко В.Л., Медяник Н.Л., Родионова Н.И. Механико-математические модели реологических свойств сплошных сред. Монография. – Магнитогорск: ООО Мини Тип, 2007.
14. Рейнер М. Реология. – М.: Наука, 2005.
15. Коларов Д., Балтов А., Бончева Н. Механика сплошных сред (реологические модели пластических сред). – М.: Мир, 2004.

Учебное текстовое электронное издание

**Пономарев Антон Павлович
Тарасюк Елена Владимировна
Медяник Надежда Леонидовна
Бессонова Юлия Александровна**

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ
УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Практикум

Ответственность за содержание возлагается на авторов
Издается полностью в авторской редакции

0,64 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2022 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра химии
Библиотечно-информационный комплекс
e-mail: bik@magtu.ru