

ИСПЫТАНИЯ ТАРЫ И УПАКОВКИ



Тамбов
2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет»

Факультет «Магистратура»

П.С. Беляев,
А.А. Букин, Д.Л. Полушкин

ИСПЫТАНИЯ ТАРЫ И УПАКОВКИ
Лабораторный практикум

Утверждено Методическим советом ТГТУ
в качестве методических указаний для студентов
магистратуры, обучающихся по направлению 261700.68
«Технология полиграфического и упаковочного
производства»



Тамбов
2014

Рецензенты:

Ведущий технолог ОАО "Картон-тара" Егорова Л.Ю.
Инженер - конструктор ОАО "Картон-тара", к.т.н. Гуреев С.С.
К.п.н., доцент кафедры "ТиТПН" Попов А.И.

Испытания тары и упаковки:
Лабораторный практикум/Сост.: Беляев П.С., Букин
А.А., Полушкин Д.Л., Тамбов: ТГТУ, 2014. – 118 с.

Утверждено Методическим советом ТГТУ
(протокол № ____ от _____)

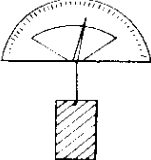
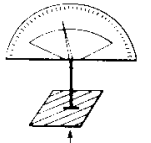
ЧАСТЬ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

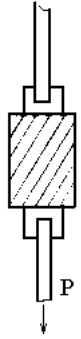
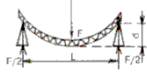
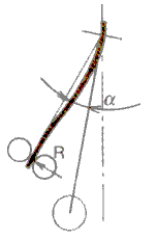
1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАРТОННОЙ И БУМАЖНОЙ ТАРЫ.

К общим техническим показателям картонных и бумажных материалов относят: массу 1 м^2 , толщину, прочность на разрыв, жесткость, сопротивление торцевому сжатию, сопротивление продавливанию, прочность при многократных перегибах, прочность при сжатии до разрушения гофров (для гофрированного картона), прочность при расслаивании, влажность, поверхностную водопоглощаемость (табл. 1).

Выбор конкретного упаковочного материала чаще всего производят исходя из эксплуатационного предназначения тары и требований к её прочностным показателям.

Таблица 1. Методы испытаний материалов

Характеристика	Формула расчёта	Схема испытания	Методика испытания. Нормативная документация
Масса картона площадью 1 м^2 , т, [т] (для гофрированного картона определяется масса 1 м^2 составляющих слоёв)	$m = \frac{M}{S} \times 1000$ <i>M</i> - масса образца, <i>S</i> ;		Взвешивание образца определённой площади. ДСТУ 2297-93, (ГОСТ 13199-94)
Толщина, <i>D</i> , (мм)			Определяется толщиной номером с площадью контакта измерительных поверхностей $2,0 \pm 0,1 \text{ см}^2$ ($10,0 \pm 0,2 \text{ см}^2$ для гофрированного картона) замером в разных точках материала. ГОСТ 27015-86, ГОСТ 22186-93

<p>Прочность на разрыв (прочность при растяжении), S [кН/м]</p>	$S = \frac{F}{W},$ <p>F - разрушающее усилие, Н; W - ширина образца, мм; S - толщина образца, мм</p>		<p>Разрушающее усилие определяется по шкале разрывной машины для укрепленного между зажимами образца при определенной скорости перемещения нижнего зажима до разрыва образца. ДСТУ 3370-96 (ГОСТ 30436-96)</p>
<p>Жесткость при изгибе, S [мН/м]</p>	$S = \frac{FL^3}{48db},$ <p>F - сила изгиба, Н; L - длина изгиба, мм; b - ширина образца, мм; d - стрела прогиба</p>		<p>Производится отсчёт прогиба под действием изгибающей силы. ДСТУ 2907-94 (ГОСТ 30271-96)</p>
<p>Сила сопротивления изгибу, F [мН]</p>	$F = \frac{R}{L},$ <p>R - изгибающий момент, мН×см; L - длина образца, см</p>		<p>Закрепленный одним концом образец изгибается от исходного положения до достижения заданного угла α, после чего определяется сила изгиба F, ДСТУ 3369-96 (ГОСТ 9582-96)</p>

<p>Предел прочности при торцевом сжатии, q [Н/м]</p>	$q_{сж} = \frac{F}{l}$ <p>F- разрушающее усилие, H l – длина образца, m</p>		<p>Для гофрированного и плоского склеенного картона определяется разрушающее усилие при сжатии образца, поставленного на торец. ГОСТ 20683-75</p> <p>Для картона толщиной не более 0,7 мм определяется разрушающее усилие при сжатии образца в виде кольца. ГОСТ 10711-74</p>
<p>Сопротивление продавливанию, P [кПа]</p>	<p>Определение давления, при котором происходит разрушение образца</p>		<p>Фиксирование плавно нарастающего давления на приборе гидравлического типа с резиновой диафрагмой на образец, зажатый между двумя кольцами, до его разрушения. ГОСТ 13525.8-86</p>
<p>Прочность на излом при многократных перегибах (для картона толщиной до 1,4 мм)</p>	<p>Определение числа двойных перегибов до излома</p>		<p>Установленный в зажимах образец перегибается в две стороны при помощи качающегося зажима до излома образца. ГОСТ 13525.2-80</p>
<p>Сопротивление плоскостному сжатию до разрушения, $\sigma_{сж}$ [Н/см²] (для двухслойного и</p>	$\sigma_{сж} = \frac{F}{S}$ <p>F- разрушающее усилие при сжатии, H</p>		<p>Образец устанавливается между двумя плитами, одна из которых передвигается вниз до разрушения образца. ГОСТ 20681-75</p>

трёхслойного гофрированного картона)	S – площадь образца, $см^2$		
Прочность при расслаивании картона, σ_p [кПа] (для картона с сопротивлением расслаиванию до 300Н)	$\sigma_p = \frac{F}{S}$, F – разрушающее усилие при расслаивании, H S – площадь образца, $см^2$		Образец закрепляется между пластинами в зажимах разрывной машины. При растяжении проводят испытание до расслаивания образца. ГОСТ 13648.6-86
Прочность при расслаивании гофрокартона, σ_p [кПа] (для гофрированного картона)	$\sigma_p = \frac{F}{l}$, F – разрушающее усилие при расслаивании, H l – общая длина линий склейки, равная 40 см		Образец устанавливается в приспособление, обеспечивающее расслаивание картона по месту склейки гофрированного и плоского слоёв. Растягивающее усилие передаётся образцу через гребёнки, вставленные в гофры. ГОСТ 22981-78
Влажность, W [%]	$W = \frac{g_1 - g_2}{g_1} \times 100$, g_1 , g_2 – масса образца до и после высушивания, $г$	-	Взвешенный образец высушивается в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре $103 \pm 2^\circ C$. ГОСТ 13525.19-71

Поверхностная впитываемость воды, G [г]	$G = 100(M_2 - M_1)$ M_1 - масса воздушно-сухого образца, г; M_2 - масса образца после испытания, г	-	Взвешенный образец площадью (10×10) см ² соприкасается одной стороной поверхности с водой в течение установленного времени, после чего определяется масса поглощенной воды для картона площадью 1 м ² . ГОСТ 12605-82
---	---	---	---

В таблицах 2 и 3 приведены характеристики типов и классификация гофрированного картона.

Таблица 2. Характеристика типов профилей гофрированного картона

Тип	Наименование	Высота гофра h , мм	Шаг гофра t , мм	Сопротивление плоскостному сжатию, МПа	Применение
А	Крупный	От 4,4 до 5,5	От 8,0 до 9,5	0,2227 – 0,248	Для упаковывания хрупких изделий, требующих повышенной защиты от ударов, толчков и других нагрузок
В	Мелкий	От 2,2 до 3,2	От 4,5 до 6,4	0,352 – 0,374	Для упаковывания продукции, не требующей амортизационной защиты (консервные банки, продукция в потребительской таре, мелкие бытовые приборы, мебель)
С	Средний	От 3,2 до 4,4	От 6,5 до 8,0	0,284 – 0,310	Для хрупких изделий, мягкой и жесткой продукции, требующей защиты поверхности
Е	Микро	От 1,1 до 1,6	От 3,2 до 3,6	0,61	Для упаковывания товаров народного потребления, пищевых продуктов, бытовых приборов, посуды

Таблица 3. Классификация гофрированного картона

Тип	Класс	Марка	Назначение
Д	---	Д	Изготовление вспомогательных упаковочных средств (прокладки, решетки и др.)
Т	1	T11, T12, T13, T14, T15	Изготовление тары и вспомогательных упаковочных средств для упаковывания продукции и изделий, способных воспринимать нагрузки штабеля
Т	2	T21, T22, T23, T24, T25, T26, T27	Изготовление тары и вспомогательных упаковочных средств для упаковывания продукции и изделий, не способных воспринимать нагрузки штабеля
П	3	П35, П36, П37	
П	3	П31, П32, П33, П34	Изготовление крупногабаритной высокопрочной, жесткой тары, контейнеров

В таблицах 4, 5, 6 приведены нормы показателей качества для некоторых видов картона.

Таблица 4. Нормы показателей качества гофрированного картона

Показатель	Д	T11 – T15	T21 – T27	П31 – П37
Сопротивление продавливанию (абсолютное), МПа	0,2	1,1 – 2,0	0,7 – 1,7	1,1 – 2,8
Удельное сопротивление разрыву с приложением разрушающего усилия вдоль гофров по линии рилёвки после выполнения одного двойного перегиба на 180°, кН/м, не менее	–	8 – 16	4 – 11	7 – 21
Сопротивление торцевому сжатию вдоль гофров, кН/м, не менее	–	3,0 – 4,0	2,2 – 7,0	5,0 – 7,0
Сопротивление расслаиванию, кН/м, не менее	–	0,2	0,2	–
Влажность, %	6 – 12	6 – 12	6 – 12	6 – 12

Таблица 5. Нормы показателей качества некоторых видов картона

Показатель	Хромовый, хром-эрзац	Коробочный
Масса картона площадью 1м ² , г	170 – 850	170 – 2500
Толщина, мм	0,3 – 1,5	0,3 – 3,0
Жесткость при статическом изгибе в поперечном направлении, Н×см, для картона массой 1м ² , г: 170 – 850 600 - 2500	1,6 – 30,0 -----	0,1 – 15,0 0,9 - 100
Сопротивление расслаиванию, Н	90 – 150	60 – 120
Предел прочности при расслаивании, кПа	140 – 180	130 – 170
Влажность, %	5 – 12	5 – 12

Таблица 6. Нормы показателей качества некоторых видов картона

Показатель	Хром-эрзац коробочный склеенный по ГОСТ 7933-89	Тип картона по ГОСТ 9421-80		
		КС	КС - 1	КС - 2
Масса картона площадью 1м ² , г	600 - 2500	1650	1650	1000 - 1250
Толщина, мм	1,0 – 3,0	Не менее 2,2	Не менее 2,2	1,4 – 1,8
Жесткость при статическом изгибе в поперечном направлении, Н×см	0,9 – 100	---	---	---
Сопротивление расслаиванию, Н	60 – 150	176	147	

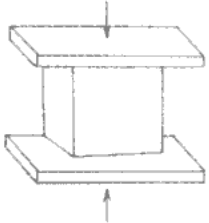

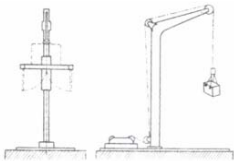

Сопротивление продавливанию (абсолютное), МПа	---	1,96	1,57	0,75 – 1,08
Сопротивление торцевому сжатию в поперечном направлении, кН/м, не менее	4,9	4,9	---	---
Впитываемость при одностороннем смачивании за 60 с, г, не более	30	30	---	---
Сопротивление расслаиванию, Н	6 - 14	12	12	12

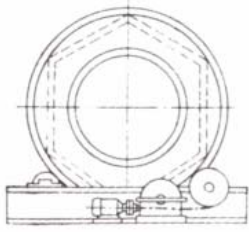
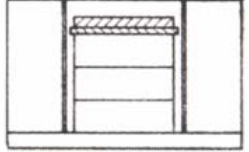
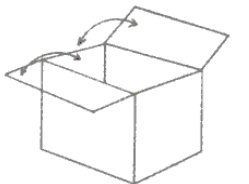
Для готовой тары из картона и бумаги также существуют нормированные эксплуатационные характеристики и методы испытания, определёнными ГОСТами для каждого конкретного вида тары с учётом типа картона из которого она изготовлена. Некоторые методы определения качества картонной тары приведены в таблице 7.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ КАРТОННОЙ И БУМАЖНОЙ ТАРЫ

Основные методы определения качества готовой картонной и бумажной тары приведены в таблице 7.

Таблица 7. Методы определения качества картонной и бумажной тары.

Характеристика	Схема испытания	Методы испытания, стандарт	Примечание
Прочность при штабелировании		Измерение деформации тары после нагружения в течение заданного времени грузом, поставленным на платформу (ГОСТ25014-81)	Для транспортной тары
Прочность при сжатии под воздействием внешних сил		Измерение нагрузки, при которой тара разрушается, теряет свою устойчивость или при которой деформация тары превышает предельное значение. Образец тары без продукции устанавливается по одной из трёх осей между плитами, скорость сближения которых 10 мм/мин. Началом отсчёта деформации является достижение нагрузки 196Н (ГОСТ18211-72)	Для транспортной тары
Прочность при воздействии динамических нагрузок при свободном падении*		Определение количества образцов тары с продукцией, не разрушившихся и не получивших повреждений (влияющих на сохранность продукции) при сбрасывании с заданной высоты (ГОСТ 18425-73)	Для транспортной тары
Прочность тары при воздействии		Определение количества ударов, которые выдерживает образец тары или грузопакета	Для грузопакетов и транспорт-

транспортных нагрузок		без повреждений при скатывании на тележке по наклонной плоскости и соударении с плитой	ной тары
Прочность тары при воздействии случайного удара (при погрузочно-разгрузочных работах)**		Определение числа оборотов испытательного барабана, после которых происходит повреждение тары с продукцией или её эквивалентом. Скорость вращения барабана 1-20 об/мин (ГОСТ 21136-90)	Для транспортной тары, массой брутто не более 250 кг
Вибропрочность		Определение количества образцов тары, выдержавших испытание на вибростенде (ускорение 0,5 – 1,1 g, частота 3 – 4 Гц, время 1ч) или при перевозке по булыжникам или грунтовым дорогам автомобильным транспортом на расстояние 250 км со скоростью 30-40 км/ч (ГОСТ 21136-90)	Для транспортной тары
Устойчивость клапанов тары к перегибам		Определение количества двойных перегибов на 180° откидных крышек и клапанов ящиков, коробок, пачек и т.д., при которых в картоне не возникают трещины (ГОСТ 12301-81, ГОСТ 9142-90)	Для тары с откидными крышками и клапанами
Устойчивость к воздействию водяных брызг		Испытание тары с продукцией или её имитацией в камере воздействием водяных брызг в течение заданного времени при постоянной температуре. Устанавливается целостность тары и продукции (ГОСТ 18119-72)	Для транспортной тары

*Для примера можно привести нормативы для ящиков из гофрокартона (таблица 8). Для ящиков из тарного плоского склеенного картона минимальное число падений – 7.

Таблица 8. Высота сбрасывания ящиков для определения числа ударов при свободном падении.

Масса продукции в ящике, кг.	Высота сбрасывания, мм.
7,6 – 10	1000
11 – 15	800
16 – 20	700
21 – 25	650
26 – 30	600
31 – 35	550
36 – 40	500

** Для ящиков из гофрокартона частота вращения барабана при испытании должна быть следующей: при перевозках внутригородских (автотранспортом) – 3, междугородних (автотранспортом) – 4, прямых железнодорожных – 6, железнодорожных с перевалкой – 7, смешанных – 9.

3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОЛИМЕРНОЙ ТАРЫ

К полимерной таре и полимерным упаковочным материалам предъявляются самые различные требования. Соответственно этим требованиям устанавливаются критерии оценки качества и методы испытания. Все методы испытания можно условно разделить на следующие три группы:

методы, с помощью которых получают характеристики полимерных упаковочных материалов;

методы определения качества тары как конечного изделия (оценка надежности конструкции, формы, оформления и т. д.);

методы оценки свойств промежуточных продуктов и изделий в процессе их изготовления (приемно-сдаточные испытания, технический нормоконтроль).

Первая группа методов чаще всего применяется с целью выбора полимерных материалов, наиболее пригодных для изготовления конкретных видов полимерной тары, с учетом ее назначения и особенностей конструкции. Оценка свойств, проведенная по этим методам,

позволяет предсказать с известным приближением поведение материала в различных условиях эксплуатации. Эти методы являются общими при изучении свойств полимерных материалов. Они в большинстве своем стандартизованы и получили широкое распространение.

Вторая группа методов, несмотря на широкие исследования в области качественной оценки полимерной упаковки, разработана недостаточно и мало стандартизована. Многие отрасли народного хозяйства, отдельные производители и потребители разрабатывают свои критерии оценки качества, свои методы испытаний. В этой группе методов отсутствуют единые показатели, характеризующие различные свойства однотипной полимерной тары. Так как отечественных стандартных методик оценки свойств полимерной тары мало и они не охватывают большинства показателей, эта группа методов на основе анализа отечественного и зарубежного опыта рассмотрена наиболее подробно.

Третья группа методов оценки свойства тары в процессе ее изготовления (полуфабрикатов, исходного сырья) выбирается обычно в зависимости от условий производства, наличия оборудования и приборов, технологических факторов и других специфических условий каждого отдельного предприятия.

3.1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТАРЫ.

3.1.1. ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ

Формоустойчивость характеризует способность тары противостоять значительной деформации и течение гарантийного срока хранения упакованного продукта. Проверка тары на формоустойчивость может проводиться без нагрузки и под нагрузкой. В первом случае испытания осуществляют на цилиндрических флаконах емкостью около 0,5 л при отношении диаметра к высоте, равном 1:3 (цилиндрическая форма легче деформируется) или на образцах проверяемой тары, при заполнении их продуктом и выдержке без нагрузки при комнатных условиях в течение гарантийного срока хранения товара.

Испытание под действием статической нагрузки проводится, как правило, на образцах проверяемой тары. Для проведения испытаний изготавливают тару с различной толщиной стенок. При изготовлении тары из жесткого поливинилхлорида или полистирола

разность в толщине обычно составляет 100—150 мкм, начиная с минимальной толщины 100 мкм; для более эластичных материалов, таких как полиэтилен, пластикаты на основе ПВХ, минимальная толщина выбирается не ниже 500 мкм с последующей разностью и толщине 200—300 мкм.

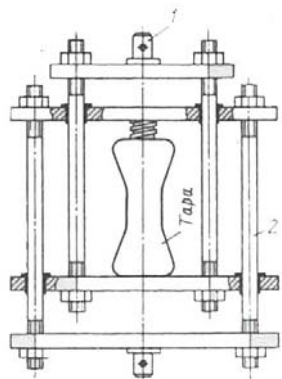


Рис.1 Испытание
формоустойчивости
полимерной тары под
нагрузкой

Образцы тары заполняют продуктом, герметично укупоривают и устанавливают в транспортную тару (ящики из гофрированного картона, бумажные пакеты, пакеты из термоусадочной пленки). При двух- и трехрядной укладке применяют горизонтальные прокладки из обычного или гофрированного картона между рядами. Сверху на ящик устанавливают плиту с грузом, масса которого выбирается эквивалентной массе штабеля при складировании ящиков друг на друга. Испытания проводят не менее, чем на трех образцах. Периодичность осмотра 1—2 раза в месяц, продолжительность наблюдения

соответствует гарантийному сроку хранения товара. Тара считается выдержавшей испытания, если не наблюдается необратимой деформации образцов, растрескивания, образования микротрещин, изломов, смятия горловины или углов и других дефектов.

Определение формоустойчивости под нагрузкой может быть проведено также по методике, разработанной на основе рекомендаций по стандартизации СЭВ №3927 и международного стандарта ИСО № 2272. В этом случае тара подвергается сжатию под воздействием нагрузки, создаваемой плитой испытательного пресса. Схема испытания представлена на рисунке 1. Расположение образцов на плите не регламентируется, но расстояние их до края плиты должно быть не менее 10 мм. Плита должна быть плоской и жесткой, скорость ее подачи должна составлять 10 ± 3 мм/мин. Точность измерения деформации ± 1 мм.

Испытания транспортной тары проводятся по ГОСТ 18211.

3.1.2. ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

Определение виброустойчивости основано на воспроизведении в лабораторных условиях вибрационных нагрузок, испытываемых тарой при транспортировании. Частота, амплитуда колебаний, нагрузка выбираются в зависимости от вида транспорта, используемого при перевозке грузов (табл. 9).

Таблица 9. Зависимость параметров испытания тары на вибростойкость от вида транспорта

Вид транспорта	Высота штабеля,	Амплитуда колебаний		Частота колебаний,	
		горизонтальное направление	вертикальное направление	горизонтальное направление	вертикальное направление
Железнодорожный	2,5	20	30	90	200
Автомобильный	2,0	15		200	
Авиационный	1,0	0,2	0,3	100	3000

Продолжительность испытаний зависит от условий транспортирования и составляет обычно не менее 1 ч. В качестве испытательного устройства могут служить вибростенды грузоподъемностью не менее 150 кг, позволяющие устанавливать и регулировать частоту колебаний в пределах от 1 до 80 Гц и создавать максимальное ускорение от 0,5 до 10 g. При испытаниях мелкую потребительскую тару укладывают в транспортную тару (ящики из гофрированного картона, деревянные ящики, пакеты из термоусадочной пленки), которую затем помещают на рабочую площадку стола. Транспортную тару устанавливают непосредственно на плиту стола. При необходимости испытания проводят с установкой на тару дополнительного груза, имитирующего высоту штабеля. Образец и дополнительный груз обычно не крепят к плите, но фиксируют (для предотвращения смещения) при помощи блокирующих стенок. Количество отбракованной тары должно быть средней величиной десяти параллельных испытаний. Тара считается выдержавшей испытания, если все десять образцов не имеют нарушений герметичности, видимых необратимых деформаций или других дефектов. Общие условия проведения испытаний регламентируются ГОСТ 21136, ГОСТ 19089, рекомендациями СЭВ 3930 и международным стандартом ИСО 2000.

3.1.3. СОПРОТИВЛЕНИЕ УДАРУ

Различают три вида ударных нагрузок на тару: удар при свободном падении тары на жесткое основание, удары тары друг о друга (возникающие при формировании поездов, перегрузках кранами, вручную), удары при падении на тару твердых тяжелых предметов. Следует отметить, что наиболее чувствительна к ударным нагрузкам тара из полистирола, жесткого поливинилхлорида, полиакрилонитрила, а также из пленочных материалов, поэтому особое значение приобретают методы испытания на удар упаковки из этих материалов. Исходя из характера ударных нагрузок, все виды испытания на сопротивление удару можно разделить на три группы: при свободном падении, при испытании на наклонной плоскости, при ударе па пробой.

Испытания на сопротивление удару при свободном падении являются наиболее распространенными и поэтому включены в целый ряд зарубежных и отечественных стандартов: ГОСТ 17000, ОСТ 6-15-608, ГОСТ 18424, ГОСТ 18425, DIN 14452, DIN 16904, ScG4(J—07, BS 3897, AS 6163, AS 2798. При проведении испытаний тара сбрасывается с высоты 0,8—1,3 м. При этом удар может прийтись по дну, крышке, боковой поверхности, сварному шву, либо по другому наиболее опасному участку конструкции. Испытания проводятся при 20°C, а также при пониженных (до —25°C) и повышенных (до 50°C) температурах. При испытаниях тару заполняют продуктом, для упаковывания которого она предназначена, либо водой или другой жидкостью с эквивалентной массой. Коэффициент заполнения составляет 0,8—0,9. В настоящее время для определения сопротивления удару при падении наибольшее распространение получили следующие три метода:

1. Кумулятивный метод, при котором каждый образец испытывают до повреждения с постоянно возрастающей высотой. При этом интервал между высотами падения должен сохраняться постоянным. Затем строится график в координатах высота падения — кумулятивный процент повреждения. Высоту (в метрах), при падении с которой сохраняется 50% не разрушенной тары, принимают в качестве нормы сопротивления удару.

2. Метод выборочного испытания (ступенчатый), при котором образец сбрасывают однократно с различной высоты, начиная от оптимальной (например, 1,2 м). При этом каждый следующий образец сбрасывают с высоты, которая на определенную величину (например, на 0,2 м) меньше или больше - в зависимости от того, поврежден или не

поврежден предыдущий. Затем по специальным формулам рассчитывают среднюю норму сопротивления удару:

$$H_{cp}=(H_1+H_2)/2; \quad H_1=(\sum hN_1)/(\sum N_1); \quad H_2=hN_2/\sum N_2.$$

По методу отдельного падения разное число образцов однократно сбрасывают с различной высоты. За норму принимают высоту, при падении с которой разрушилось меньше 50% образцов.

Кумулятивный метод применен, например, в ГОСТ 1700 «Тара потребительская из полимерных материалов для технических масел и смазок». Метод отдельного падения для испытания полимерной тары для упаковки товаров бытовой химии применен на отдельных предприятиях. Институтом ВНИИХИМПроект на основании сравнительных испытаний тары по трем описанным методам разработана «Методика испытаний объемной полимерной тары на сопротивление удару при падении». В основу ее для расчета нормы сопротивления удару положен метод выборочного испытания. Из партии полимерной тары отбирают 50 флаконов, наполняют их водой до номинального объема, плотно укупоривают и кондиционируют при температуре 20°C в течение 12 ч. Затем, начиная с высоты 1,2 м, сбрасывают флакон; если он не разрушился, следующий сбрасывают с высоты на 0,2 м большей, если разрушился, на 0,2 м меньшей. Сбрасывание флаконов производится на специальном стенде (рис. 2).

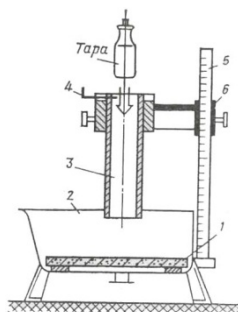


Рис. 2 Стенд для определения сопротивления тары удару при падении.

1 — плита; 2 — поддон; 3 — направляющая труба; 4 — заслонка; 5 — штатив; 6 — кронштейн.

Вторым этапом испытаний является проверка средней нормы сопротивления удару. Эта методика может применяться также самостоятельно при техническом контроле качества изготовления тары. Она заключается в сбрасывании 50 флаконов, подготовленных по ранее

описанному способу, с высоты $h_{\text{ср}}$. Норма считается приемлемой, если ее выдерживают не менее 90% испытанных образцов.

На сопротивление полимерной тары удару в основном влияют: ударная вязкость исходного полимерного материала, толщина стенки и емкость тары, ее форма и конструкция.

При обосновании нормы сопротивления удару следует исходить из того, что в реальных условиях эксплуатации падение тары возможно при погрузочно-разгрузочных операциях, на фасовочно-упаковочных операциях, при выкладке товаров в торговле. Вероятность падения полимерной тары при указанных условиях вряд ли превысит 1-2 раза. Высота падения при фасовке и упаковке, исходя из габаритов существующего оборудования, составляет 0,7—0,9 м. При пользовании тарой высота падения находится в пределах 0,8-1,0 м, при выкладке товаров на прилавки и полки в магазинах - 1,2-1,5 м. Таким образом, в большинстве случаев максимальная высота падения тары не превышает 1,2 м. Считают, что при средней норме $h_{\text{ср}} = 0,9—1,2$ м возможность повреждения серийной тары в реальных условиях эксплуатации практически исключена. Поэтому следует стремиться к тому, чтобы полимерная потребительская тара имела норму сопротивления удару не ниже 0,9—1,2 м.

При испытаниях сопротивления удару на наклонной плоскости используется устройство, изображенное на рис.3. Угол наклона плоскости, по которой скатывается тележка, обычно не превышает $10 \pm 1^\circ$ к горизонту. Если по наклонной плоскости спускается груз без тележки, например поддон с термоусадочной упаковкой грузов или групповая термоусадочная упаковка, величина угла наклона увеличивается до $30 - 45^\circ$. У нижнего конца наклонной плоскости располагается опорная стенка, жесткость которой должна обеспечить минимальную деформацию (до 0,25 мм при нагрузке 16 МПа).

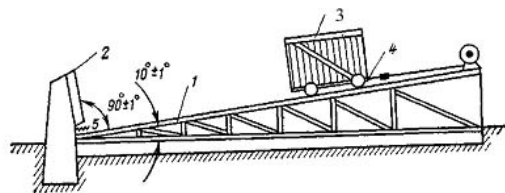


Рис. 3. Стенд для испытания тары на удар при движении по наклонной плоскости.

1 — направляющие пути; 2 — опорная стенка; 3 — груз;
4 - тележка; 5 — амортизаторы

Условия проведения испытания такие же, как и при определении виброустойчивости. Испытания транспортной тары на удар проводятся в соответствии с ГОСТ 18425.

Сопротивление удару на пробой определяют двумя методами: методом падающего бойка и методом падающего шарика. Сущность первого метода заключается в определении энергии, вызывающей разрушение тары или упаковочного материала (пленки, листа) при свободном падении на нее тела определенной массы и заданных геометрических размеров (при постоянной высоте изменяется масса бойка). По второй методике определяется энергия удара (высота падения груза при постоянной его массе), не вызывающая разрушения тары или материала. Значение этих показателей зависит от конкретных условий эксплуатации упаковки.

3.1.4. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ

Прочность сварных швов материала характеризует надежность готовой тары из этого материала. Этот показатель можно определить на разрывной машине любого типа, путем оценки прочности при раслаивании сварного шва (аналогично методу определения адгезионной прочности). В этом случае образец для испытания вырезают таким образом, чтобы сварной шов располагался в средней части образца. Результаты определения могут быть выражены предельной величиной нагрузки, отнесенной к ширине образца. Прочность сварных швов выражают также в процентах от прочности основного полимерного термопластичного материала, подвергаемого термической сварке, т.е. относят нагрузку, вызывающую раслаивание сварного шва, к нагрузке, полученной при определении разрушающего напряжения при растяжении.

Прочность сварных швов можно оценить и путем измерения максимального избыточного давления воздуха, нагнетаемого внутрь пакета из полимерного или комбинированного материала со сварными швами, не вызывающего нарушения герметичности пакета. Этот показатель выражают в Па. Для проведения испытаний в открытый пакет с двумя или тремя сварными швами из полимерного материала (обычно размер пакета 150×100 мм) через отверстие (диаметр 6—8 мм) в одну из стенок вводят специальный патрубок, герметично закрепленный на стенке с помощью шайбы и резиновых прокладок.

После установки патрубка пакет герметично сваривают с открытой стороны и через трубку патрубка нагнетают в пакет воздух, постепенно повышая давление со скоростью 2—3 Па в мин. При нарушении герметичности пакета фиксируют значение избыточного давления по манометру на насосе или ресивере.

Испытание проводят на трех пакетах, отмечая характер нарушения герметичности: «по шву», «по материалу», «вблизи шва» и т. д.

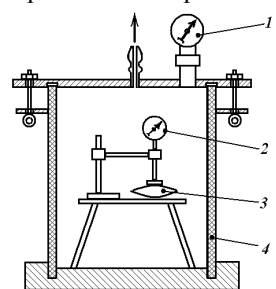
3.2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ТАРЫ

3.2.1. ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ТАРЫ

Герметичность тары проверяется путем создания в ней избыточного давления (ГОСТ 17000). Для этого горловину тары плотно закрывают крышкой с патрубком для подвода воздуха, погружают в воду и создают избыточное давление около 20 кПа. Появление пузырьков воздуха свидетельствует о негерметичности тары. За рубежом разработан специальный автомат для проверки герметичности тары без погружения её в воду. Нарушение герметичности определяют по резкому падению давления.

По другой методике тару наполняют водой па 0,9 ее объема, плотно закрывают укупорочным элементом и укладывают в горизонтальном положении на расстоянии 100 мм друг от друга. Сверху помещают деревянную планку длиной 550 мм и шириной 70мм, на которую устанавливают гирю массой 10 кг (так, чтобы нагрузка распределялась равномерно) и выдерживают в течение 5 мин. Тара считается герметичной, если при испытаниях не происходит утечки воды.

ВНИИХИМПроект разработал метод испытания тары на герметичность под вакуумом. Для испытаний применяется цилиндр из прозрачной пластмассы с толщиной стенки 4—5 мм, позволяющей создавать вакуум до 25—40 Па. По центру цилиндра расположен стержень с двумя пластинами. Нижняя пластина закреплена на расстоянии 30-40 мм от дна цилиндра, верхняя подвижна. Цилиндр герметично закрывается металлической крышкой с вакуумметром и



штуцером для вакуумирования. Цилиндр наполняют водой на 0,5 его объема. Укупоренную тару помещают между двумя пластинами так, чтобы она была полностью погружена в воду. После этого в цилиндре в течение 5—7 мин создают вакуум 13,3 Па и выдерживают тару 1 мин. При появлении пузырьков воздуха цилиндр выдерживают еще 3—5 мин, после чего вакуум снимается.

Рис. 4 Установка для вакуумного испытания полимерной тары

1-вакуумметр, 2- индикатор, 3- испытуемый пакет, 4-пакет.

Тара считается герметичной, если после вакуумирования в ней отсутствуют капли воды.

Герметичность пленочной тары можно определить по изменению объема пакетов под вакуумом на установке, показанной на рис. 4. Пакет с упакованным товаром укладывают под стеклянный колокол так, чтобы пята индикатора часового типа касалась поверхности пакета. Под пята помещают полиэтиленовую пластинку толщиной 0,5 мм. Фиксируют показания индикатора и систему вакуумируют до 0,04 Па. Под давлением воздуха, находящегося внутри пакета, объем его резко увеличивается. Если этого не происходит, пакет сразу отбраковывается. По достижении заданного вакуума отмечают время и вновь фиксируют показания индикатора, которые не должны изменяться в течение 5-7 мин.

Герметичность полимерной тары и упаковки можно проверить, создавая в ней избыточное давление или разрежение вне ее, а также создавая избыточное давление столбом жидкости, находящейся в таре. При этом в тару помещают окрашенную жидкость, а тару устанавливают так, чтобы содержимое находилось у места герметизации (рис.5). Различные варианты такой методики предусматривают свободную утечку жидкости (рис. 5,а), испытания под нагрузкой (рис. 5,б) и с использованием вибростенда или встряхивателя (рис. 5,в). Под горловину укладывают несколько слоев фильтровальной бумаги. Тара считается негерметичной, если при испытании в течение 10-12 ч в ней возникнет течь или будет установлена значительная потеря продукта (выявляют взвешиванием).

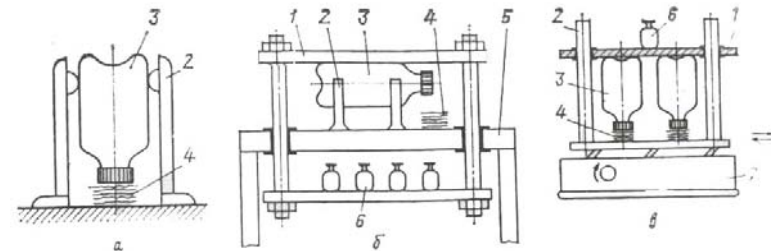


Рис. 5. Испытание на герметичность тары при создании давления столбом жидкости.

3.2.2. ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ

При упаковывании в полимерную тару агрессивных продуктов может происходить разрушение полимерного материала (химическая деструкция), вымывание отдельных компонентов, набухание материала. Кроме того, полимерные материалы обладают

определенной проницаемостью, которая в зависимости от химической природы полимера и содержимого тары колеблется в довольно больших пределах. При установлении возможности применения полимерной тары из отдельных полимерных материалов для упаковывания агрессивных продуктов следует принимать во внимание потери продукта, изменение массы тары, изменение прочностных свойств, вида материала и тары, ароматопроницаемость, изменение продукта после хранения в полимерной таре.

В России применяются различные методы определения химической стойкости тары, которые предусматривают проведение испытаний на стандартных образцах в виде цилиндрических флаконов емкостью 0,05-0,1 л. Для испытания пленочных материалов изготавливаются пакеты.

Лабораторные флаконы или полимерные пакеты с препаратом хранятся при нормальных условиях (температура 20-25 °С, относительная влажность 50—70%) и взвешиваются с периодичностью 3; 7; 14; 28 суток; 2; 3; 6 мес. По результатам взвешиваний рассчитывают скорость переноса вещества через стенки тары. Под скоростью переноса понимают количество вещества, проходящего в единицу времени через единицу поверхности, расположенную перпендикулярно направлению движения потока. Годовые потери препарата (в %) рассчитывают по формуле:

$$X = X_n + (PS(365 - \tau) \cdot 100) / G\delta$$

где X_n — потери препарата до наступления постоянной скорости переноса; τ — время наступления постоянной скорости переноса; P — скорость переноса в момент наступления стационарного состояния; S — площадь поверхности тары; G — исходная масса препарата; δ — толщина стенок тары.

Годовые потери X_p препарата в реальной таре, т. е. в таре, в которую будет упаковываться данный препарат, рассчитывают по формуле:

$$X_p = X \cdot ((S_i \delta_0 V_0) / (S_0 \delta_i V_i))$$

где S_0 , δ_0 , V_0 , S_i , δ_i , V_i — площадь поверхности, толщина стенок и объем испытываемой и реальной тары соответственно.

Годовые потери препарата при хранении его в полимерной таре, являющиеся определяющим показателем, не должны превышать 3 — 5%, в противном случае полимерная тара не может рекомендоваться для упаковывания.

Изменение массы тары, ее прочностных свойств, а также свой-

ства упакованного товара определяют после 1, 2, 3, 6 месяцев хранения. Тару освобождают от препарата и взвешивают. Изменение массы тары (в %) рассчитывают по формуле:

$$Y = ((Q_1 - Q) / Q) \cdot 100$$

где Q — первоначальная масса тары; Q₁ — масса тары после испытаний.

Величина Y может быть как положительной (при набухании упаковочного материала), так и отрицательной (при вымывании удельных компонентов). В последнем случае требуется проведение более детальных исследований химической стойкости материала.

Полимерный материал можно рекомендовать для изготовления тары, если его физико-механические показатели после проведения испытаний на химическую стойкость (адгезионной прочности для комбинированных пленок) изменяются не более чем на 20%. Изменение внешнего вида тары (формы, цвета, целостности) в процессе хранения под влиянием агрессивных продуктов определяется периодически при ее осмотре; изменение ароматопроницаемости — органолептически; изменение химического состава и свойств продукта - по соответствующим условиям и стандартам.

3.2.3. СТОЙКОСТЬ К РАСТРЕСКИВАНИЮ

В ГОСТ 12020 и ГОСТ 13518 приведены стандартные методики определения стойкости упаковочного материала к растрескиванию. Но эти методики не дают окончательного ответа о поведении тары при воздействии агрессивных сред. Возникающие в процессе изготовления тары внутренние напряжения ускоряют процесс растрескивания. На величину этого показателя существенное влияние оказывает форма и объем тары, укупорки, некоторые технологические факторы. Поэтому этот показатель может быть количественно оценен только при проведении испытаний непосредственно на реальных образцах тары. Практический опыт применения полиэтиленовой тары для упаковывания жидких и пастообразных моющих средств, шампуней, смазочных масел, показывает что, растрескиванию подвергается прежде всего тара для продуктов, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ). Сравнительные исследования позволили установить, что наиболее быстрое разрушение наступает при контакте тары с неионогенными ПАВ, в частности с синтамидом-5. На основании проведенных исследований ВНИИХИМПроектом разработана

ускоренная методика определения стойкости тары к растрескиванию. Испытания проводятся не менее, чем на десяти образцах реальной тары при $50 \pm 1^\circ\text{C}$. В качестве модельной среды применяют 30%-ный раствор синтамида-5.

Изучение разрушения полимерной тары показало, что почти всегда оно происходит при хранении и перевозке транспортной тары и приходится большей частью на нижние ряды ящиков. Исходя из этого, нагрузка в пересчете на один флакон принимается равной 30 - 50 Н. В процессе испытаний фиксируется время разрушения, 50 и 100% случаев разрушения (F_1 , F_{50} , F_{100}). Для тары, различающейся по форме, объему, технологическим параметрам изготовления, отношение $F_{20^\circ\text{C}}/F_{50^\circ\text{C}}$ практически постоянно и зависит только от упаковочного материала. Поэтому, задавшись коэффициентом ($K = 100 \div 200$) и проводя ускоренные испытания при 50°C , можно прогнозировать время разрушения тары с агрессивными средствами в условиях реального хранения при 20°C , используя указанное выше соотношение.

3.2.4. СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЖИДКИХ СРЕД

Этот способ основан на наблюдении за проникновением подкрашенной жидкости в материал.

Способ позволяет просто и быстро получить данные о стойкости, водостойкости, спиртостойкости и т. д. полимерных пленок. По этому способу на поверхность материала наносят жидкость, подкрашенную красителем, хорошо в ней растворимым, контрастирующим с цветом поверхности материала. Через определенные промежутки времени жидкость удаляют с поверхности материала, поверхность промывают такой же жидкостью, но неокрашенной. Отсутствие на поверхности материала окрашенного пятна свидетельствует об устойчивости его к действию данной жидкости за испытываемый отрезок времени. Это время может, меняться (например, при определении жидкостойкости) от 5-10 минут (для полиэтилена низкой плотности) до многих тысяч часов (для целлофана и полиамида). Принято считать материалы полностью устойчивыми к действию данной жидкой среды, если окрашенное пятно не появляется на поверхности материала в течение 24 ч.

Указанный способ может быть использован для определения сплошности полимерных покровных слоев комбинированных и полимерных многослойных материалов. В этом случае на поверхность

материала кистью носят подкрашенную жидкость, не действующую на покровный материал, но активно впитываемую подложкой. После удаления с поверхности материала окрашенной жидкости яркоокрашенные пятна и точки обнаружат места несплошности покровного слоя) так как в этих местах подкрашенная жидкость впитана подложкой. Этим способом можно легко обнаружить несплошности полиэтиленового покрытия на бумаге или целлофане, а также лакового слоя на целлофане (с помощью подкрашенной воды), жиростойких покрытий на полиэтилене (с помощью подкрашенного растительного масла) и др.

3.2.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВЫМЫВАЕМЫХ ВЕЩЕСТВ

Определение количества вымываемых веществ имеет большое значение при определении качества упаковки, так как эти вещества, мигрируя в пищевые продукты, воздух, могут оказывать неблагоприятное воздействие на организм человека. В связи с этим органы здравоохранения для полимерных упаковочных материалов устанавливают предельно допустимые концентрации соответствующих мономеров, стабилизирующих добавок, красителей и других химических веществ, входящих в состав полимерного материала. Для определения некоторых из них имеются стандартные методики. Так, ГОСТ 11544 регламентирует содержание мономера стирола в полистирольных материалах, ГОСТ 11237 — содержание фенола в фенолоформальдегидных смолах и др. Представляют интерес методы идентификации и количественного определения очень малых концентраций химических веществ, поглощаемых пищевыми продуктами. Для этих целей используются «тонкие» инструментальные методы химического анализа. Например, для определения в полимерных упаковочных материалах таких канцерогенных веществ, как 3,4-бензпирен и других производных полициклических углеводородов, используется люминесцентный анализ. ВНИИГИНТОКС разработал метод определения содержания малых количеств мономера винилхлорида (до 1 мг/кг) в упаковочных материалах на основе поливинилхлорида с использованием газожидкостной хроматографии. С помощью газохроматографического метода определяется содержание бензола, этилбензола, изопропилбензола, стирола, *o*-метилстирола, *o*-ксилола в образцах

полистирола общего назначения (блочного), ударопрочного марок УПМ и УПС, вспенивающегося марки ПСВ.

Наиболее перспективными методами, с помощью которых определяются малые количества химических веществ в упаковочных материалах, являются хроматография и массо-спектрометрия. Образцы для исследований чаще всего получают экстракцией органическими растворителями водных вытяжек или сред, имитирующих пищевые продукты, а также вымораживанием веществ, выделяющихся из испытуемых образцов при нагревании их в вакууме. Температура нагревания определяется экстремальными условиями эксплуатации тары. Перед нагреванием систему вакуумируют до остаточного давления 0,1-0,2 Па. Общая продолжительность нагревания составляет 6-7 ч. Через каждый час нагревания выделяющиеся продукты вымораживаются в ловушку жидким азотом. Полученный концентрат анализируют хроматографическим или масс-спектрометрическим методом.

3.3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ

В техническую документацию часто вносят показатели, характеризующие состояние поверхности тары. При гладкой наружной поверхности полимерная тара приобретает повышенный блеск и более эстетичный вид. Кроме того, состояние поверхности тары является важным фактором при решении некоторых технических вопросов, в том числе выбора способа полиграфического оформления тары, способа «активирования» поверхности, типа фасовочно-упаковочных автоматов, способа сварки, долговечности печатных форм. В связи с этим возникает необходимость определения таких показателей, как шероховатость поверхности, степени активации поверхности, коэффициент скольжения.

3.3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ

Определение шероховатости поверхности предусматривает замер неровностей на некоторых участках поверхности (ГОСТ 2789). Испытания могут проводиться на профилографе-профилометре. В качестве образца применяется тара цилиндрической формы с сухой чистой поверхностью. На полученной профилограмме выбирается базовая длина и подсчитывается среднее арифметическое отклонение

профиля поверхности. По данным нескольких параллельных измерений в соответствии с ГОСТ 2789 определяется класс шероховатости.

Шероховатость поверхности может также определяться при помощи двойного микроскопа Линника МИС-П (ОСТ 6-15-608). На контролируемую поверхность направляется узкая полоса света и фиксируется отклонение линии пересечения световой плоскости с поверхностью тары. Критерием оценки шероховатости является величина R_z — сумма средних арифметических значений абсолютных отклонений точек пяти наименьших минимумов (H_{\min}) и пяти наибольших максимумов (H_{\max}) профиля в пределах базовой длины (0,8 мм), которая рассчитывается по формуле

$$R_z = 1/5(\sum H_{i\max} + \sum H_{i\min})$$

Образцы для испытаний вырезаются из тары в виде прямоугольника размером 40×20 мм. Из-за большой погрешности прибора замеры производятся не менее чем в трех точках на каждом образце. Степень «активности» поверхности характеризует качество обработки поверхности пластмасс перед полиграфическим оформлением. Существует несколько способов определения качества обработки. Самым простым из них является испытание гуммированным ярлыком. Обычный гуммированный ярлык прикладывается на 1 мин к испытываемой поверхности. Если поверхность не обработана, то ярлык легко удаляется, если же поверхность обработана, то при отделении от нее ярлык рвется или отслаивается. По другому методу измеряют силу, которую нужно приложить для отслаивания липкой ленты от поверхности полимера; большая сила отслаивания соответствует более высокому качеству обработки поверхности.

Используются способы испытания с применением растворов красителей. Например, испытуемый образец погружают на 5с в смесь, состоящую из растворов 5,9 г карбол-фуксина в 180 мл этанола и 90 мл фенола в 1710 мл воды. При наличии сплошной равномерной окраски после высушивания образца в вертикальном положении, поверхность считается достаточно хорошо обработанной.

Одной из основных характеристик поверхности, определяющих адгезию к печатным краскам, является смачиваемость. Величина смачиваемости поверхности определяется по краевому углу, образованному каплей жидкости с поверхностью, на которую она нанесена, или по углу скатывания капли дистиллированной воды или

другого растворителя с поверхности исследуемого материала.

Применяют два основных способа измерения краевого угла (угла смачивания): проектирование контура капли и измерение с помощью горизонтального оптического микроскопа. По первому способу на экран проектируется увеличенное изображение капли воды, помещенной на испытываемую поверхность и освещаемой дуговой лампой. Для измерения угла контакта капли с поверхностью проводят касательные к изображению капли по истечении 10 с после ее нанесения. Испытание проводят при 23 °С и относительной влажности 50%.

Для измерения угла скатывания на небольшой испытуемый образец материала, вырезанный из стенки тары, наносят каплю жидкости объемом до 0,02 мл (с помощью медицинского шприца с укороченной иглой). Образец предварительно закрепляют на специальной площадке, которая может поворачиваться с постоянной скоростью вокруг своей оси. Образец наклоняется до тех пор, пока капля не начнет скользить по поверхности. Чем лучше обработана поверхность образца, тем больше угол скатывания капли. Установлено, что максимальная адгезия печатных красок к полимерной таре достигается при угле скатывания, равном $55 \pm 70^\circ$. При определении углов смачивания и скатывания в качестве смачивающего агента используется дистиллированная вода.

При качественном контроле обработки поверхности смачивающими агентами служат различные смеси формамида с этиленгликолем, характеризующиеся различным поверхностным натяжением. По этой методике пленку жидкости наносят кистью на вертикальную поверхность испытываемого изделия. Пленка должна удерживаться на ней в течение 2 с. Если пленка удерживается дольше, то наносится следующая смесь с более низким поверхностным натяжением. Считается, что поверхностное натяжение пленки соответствует натяжению смачивания исследуемой поверхности, если пленка удерживается на этой поверхности 2 с.

3.3.2. АДГЕЗИЯ ПЕЧАТНЫХ КРАСОК.

Адгезия печатных красок к поверхности полимерной тары может быть оценена различными способами. Например, с использованием липкой ленты, степенью истирания печатных красок, методом решетчатых надрезов, отслаиванием слоя краски при перегибе окрашенной поверхности.

При проведении испытаний по первому способу, полосу липкой ленты определенных размеров плотно наклеивают на поверхность тары с нанесенной печатью, после чего срывают одним рывком. При визуальном контроле на липком слое ленты не должны обнаруживаться частицы краски. Результаты этого испытания мало-воспроизводимы вследствие влияния различных факторов, из которых основными являются скорость и угол обрыва ленты.

Для определения адгезии печатных красок к поверхности полимера, выражаемой степенью истирания, на образцы полимерной тары наносят слой краски толщиной 10 мкм и сушат при комнатной температуре в течение 20 мин. Истирание краски проводят на специальном приборе с помощью мелкозернистой наждачной бумаги. Степень истирания краски определяют по разности коэффициентов ее яркости на поверхности полимерной тары до их истирания, отнесенной к коэффициенту яркости краски до истирания (в %).

Испытания нанесением решетчатых надрезов проводят с помощью прибора, на котором закреплено шесть лезвий. На поверхности тары выполняются крестовые надрезы, образующие сетку с 25 квадратами. Расстояние между надрезами составляет 10 мм при толщине слоя краски до 60 мкм или 20 мм - при толщине слоя свыше 60 мкм. Качество схватывания краски с поверхности определяется характером кромок среза (гладкие или отскочившие).

Степень адгезии красочного покрытия к поверхности пленочной полимерной тары может также характеризоваться числом двойных изгибов пленки до наступления отслаивания покрытия от материала. Образец испытуемого материала в виде полоски шириной 15 мм и толщиной 250 мкм под действием нагрузки 10Н на специальном приборе попеременно изгибается в разные стороны до появления следов отслоения покрытия. Фиксируется число циклов двойных перегибов.

ЧАСТЬ 2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие требования безопасности к условиям проведения учебных лабораторных работ в высших учебных заведениях установлены системой государственных стандартов безопасности труда.

Все проводимые в учебной лаборатории работы должны быть организованы так, чтобы полностью исключить образование взрывоопасных концентраций газо-, паро-, и пылевоздушных смесей в объеме всего помещения и в отдельных рабочих зонах.

Температура поверхностей оборудования и трубопроводов, к которым возможны прикосновения людей при проведении лабораторных работ, не должна превышать 45°C.

Системы вентиляции и отопления в лабораторном помещении должны обеспечивать параметры микроклимата в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.005-76.

Допустимый уровень вибрации на рабочих местах в учебной лаборатории должен соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.012-78.

Защитные системы (зануление, защитное заземление, защитное отключение и др.) должны обеспечивать напряжение прикосновения не выше:

— 42 В — в помещениях без повышенной опасности и с повышенной опасностью;

— 12 В — в особо опасных помещениях.

Питание лабораторного электрооборудования должно осуществляться от сети напряжением не более 380 В. В электроустановках должны быть предусмотрены разделительный трансформатор и защитно-отключающее устройство.

Сопротивление изоляции токоведущих частей электроустановок до первого аппарата максимальной токовой защиты (предохранителя, автомата и др.) должно быть не менее 0,5 МОм, а сопротивление между заземляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью изделия, которая может оказаться под напряжением, — не более 0,1 Ом.

Площадь помещений учебной лаборатории на одного студента должна быть не менее 4,5 м². Помещение лаборатории должно быть оборудовано автоматическими извещателями системы пожарной сигнализации.

Конструкции и элементы лабораторного оборудования и аппаратуры, которые могут быть источником опасности, должны быть обозначены сигнальными цветами, а в опасных зонах помещения лаборатории установлены знаки безопасности по ГОСТ 12.4.026-76. В помещении учебной лаборатории должны быть средства оказания первой медицинской помощи с постоянно обновляемыми в установленные сроки медикаментами.

Размещение оборудования в помещении учебной лаборатории должно

обеспечивать удобство и безопасность выполнения всех видов рабочей деятельности при проведении лабораторных работ. Планировка помещений учебной лаборатории должна обеспечивать освещение рабочих мест студентов естественным светом.

Хранение материалов и веществ, используемых при проведении лабораторных работ, должно обеспечиваться с учетом их физических и химических свойств и требований пожарной безопасности. Оборудование, применяемое в учебных лабораториях, должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003-74 и ГОСТ 12.2.049-80. При выполнении лабораторных работ следует неукоснительно соблюдать правила безопасной работы на конкретном оборудовании. Преподавательский состав, проводящий лабораторные занятия, и учебно-вспомогательный персонал, обслуживающий оборудование в лаборатории, должен проходить обучение, инструктаж и проверку знаний правил безопасного выполнения лабораторных работ

При выполнении лабораторных работ предусмотрена работа с едкими и агрессивными химическими веществами, механизмами работающими 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 строгое соблюдение следующих условий.

- 1) Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по безопасности труда и пожарной безопасности в лаборатории в целом и на каждом рабочем месте, что фиксируется росписью в журнале регистрации инструктажей по ТБ.
- 2) Внимательно ознакомится с рекомендациями данного пособия по проведению лабораторной работы.
- 3) Ознакомится с инструкцией по эксплуатации лабораторного оборудовании, на котором проводятся испытания, и неукоснительно им следовать.
- 4) Работа с химическими веществами проводится в спецодежде (халат, резиновые перчатки).
- 5) Все операции с химическими веществами производятся аккуратно, не допуская разбрызгивания, разлива и просыпания на стол, пол и одежду.
- 6) Проведение действий и экспериментов, не предусмотренных регламентом лабораторной работы, категорически запрещено.
- 7) При работе на установках, имеющих вращающиеся части, необходимо внимательно следить, чтобы части одежды не зацепились за них.
- 8) При работе на установках, запитанных от электрической сети запрещается прикасаться к электропроводам, и без необходимости производить включение – отключение установки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Определительные испытания упаковочного и

полиграфического оборудования на надежность

Продолжительность - 4- часа

1.1. Цель работы

Приобретение практических навыков в планировании, проведении (моделировании на ЭВМ) определительных испытаний на надежность и статистическом анализе полученных результатов.

Исходные данные для планирования определительных испытаний приведены в табл. 1.1 и задаются студентам в виде кода, содержащего четыре цифры, например 3596. Первой цифре кода соответствует вид показателя надежности: 1- среднее время между отказами \bar{t}_0 , 2 - среднее время восстановления $\bar{t}_в$. Вторая цифра определяет значение величины $\delta_{в,н}$. Третья - заданное значение уровня значимости α . Четвертая - требуемое (расчетное или прогнозируемое) значение показателя надежности \bar{t}_0 или $\bar{t}_в$.

В табл. 1.1 коду 3596 соответствуют следующие исходные данные для планирования определительных испытаний: цифре 3 - показатель надежности \bar{t}_0 - среднее время между отказами; цифре 5 - значение $\delta_{в,н} = 1,90$; цифре 9 - значение $\alpha = 0,10$; цифре 6 - значение $\bar{t}_0 = 90$ ч.

1.2. Определение объема наблюдений.

Используя формулу (1.3) и таблицу значений квантилей

$\chi^2_{\alpha, f}$ -распределения [3], определить объем наблюдений $n = \frac{f}{2}$.

Определение значения r рассмотрим на примере. Пусть $\delta_{в,н} = 2,25$ и $\alpha = 0,10$. Для этих значений по таблице χ^2 -распределения находим значение f , при котором удовлетворяется неравенство (1.3):

$$\frac{\chi^2_{0,05}(f)}{\chi^2_{0,09}(f)} = \frac{48,602}{21,664} = 2,24 < 2,25 = \delta_{в,н}.$$

Этому отношению квантилей соответствует $f = 34$, т.е. при испытаниях необходимо зафиксировать $r = \frac{f}{2} = 17$ отказов.

1.3. Моделирование испытаний на ЭВМ.

1.4. Статистический анализ результатов испытаний:

- расчет точечных значений числовых характеристик \hat{K} и $S(R)$;
- вычисление коэффициента вариации V_R ;
- проверка гипотезы о принадлежности последнего (максимального) члена вариационного ряда к рассматриваемой совокупности наблюдений;
- определение точности точечной оценки показателя надежности;
- определение интервальной оценки истинного значения показателя надежности;
- проверка однородности теоретической и статистической дисперсии;
- проверка гипотезы об однородности R и \hat{K} .

1.4. Принятие решения о соответствии объекта заданным требованиям на надежность.

1.5.Содержание отчета

Таблица 1.1 Расшифровка кода задания:

Показатель	Код	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
надежности	\bar{t}_0, \bar{t}_B	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1
$\delta_{в,н}$		2,2	2,3	2,4	2,50	1,9	1,85	1,8	2,05	2,1	2,15
α		0,05	0,2	0,1	0,2	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05
Значение показателей надежности	$\bar{t}_0, ч$	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	$\bar{t}_B, ч$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

- вид показателя надежности \bar{t}_0 или \bar{t}_B ;
- числовое значение показателя надежности для генеральной совокупности;
- относительная доверительная погрешность $\delta_{в,н}$;
- уровень значимости α .

1.5.2. Определение объема наблюдений:

- математическая модель планирования определительных испытаний;
- зависимость для определения объема испытаний;
- расчет объема испытаний α .

1.5.3. Вариационный ряд результатов испытаний (моделирования).

1.5.4. Статистический анализ результатов наблюдений:

- определение точечных оценок показателя надежности среднего значения \bar{R} и среднеквадратического отклонения $S(R)$;
- расчет коэффициента вариации $\sqrt{\bar{R}}$ и вывод о законе распределения показателя надежности R ;
- проверка гипотезы о принадлежности последнего члена вариационного ряда к полученной выборке;
- определение точности вычисленной точечной оценки и вывод о точности расчета \bar{R} ;
- определение интервальной оценки истинного значения показателя надежности R ;

- проверка гипотезы об однородности теоретической и статистической дисперсии;
- проверка гипотезы об однородности R и R_c ;
- вывод о соответствии объекта испытания заданным требованиям на надежность.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Виды испытаний на надежность и их назначение.
2. Вид математической модели определительных испытаний.
3. Понятия «доверительная вероятность», «уровень значимости», «относительная доверительная погрешность».
4. χ^2 - распределение, число степеней свободы f .
5. Понятие квантили распределения. Графическое представление квантили.
6. Порядок планирования определительных испытаний на надежность.
7. Моделирование результатов испытаний на ЭВМ.
8. Виды оценок показателей надежности.
9. Статистический анализ результатов определительных испытаний на надежность.
10. Распределение Стьюдента.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Контрольные испытания упаковочного и испытательного оборудования на надежность.

Одноступенчатый контроль

Продолжительность - 6 часов

2.1. Цель работы

Приобретение практических навыков в планировании и проведении (моделировании на ЭВМ) испытаний на надежность упаковочного, полиграфического и испытательного оборудования по методу одноступенчатого контроля и статистический анализ его результатов.

2.2. Теоретическое обоснование

2.2.1. Общие сведения о контрольных испытаниях

Цель контрольных испытаний - установление соответствия или несоответствия фактических значений показателей надежности указанным в технической документации. Подобное суждение может быть вынесено в результате сравнения значений показателей надежности, полученных при выполнении контрольных испытаний, с некоторыми пороговыми значениями этих показателей, которые могут быть выражены размерными или безразмерными единицами приемочной константы (контрольного норматива).

Контрольные испытания по сравнению с определительными характеризуются значительно меньшей длительностью проведения, однако качество получаемой информации о значениях показателей надежности ниже.

Контрольным испытаниям должна подвергаться каждая изготовленная полиграфическая машина. Необходимое условие проведения контрольных испытаний - стабильность технологических процессов изготовления полиграфических машин и оборудования.

Контрольные испытания проводят для проверки значений показателей безотказности и ремонтпригодности. Подвергают контролю такие показатели безотказности, как вероятность безотказной работы $P(t)$ или вероятность отказа $q(t)$, средняя наработка на отказ \bar{t}_0 и параметр потока отказов $\omega(t)$. Показателями ремонтпригодности служат среднее время восстановления $\bar{t}_в$ и вероятность восстановления

$q_v(t)$.

Важнейшие понятия контрольных испытаний – план контроля и его оперативная характеристика.

План контроля включает выбор вида (метода) контроля и построение математической модели. Для контроля показателей надежности используют различные методы, однако наиболее часто применяют одноступенчатые и последовательные планы контроля.

Одноступенчатым называется метод контрольных испытаний, если решение о соответствии изделия заданным требованиям к надежности принимается по результатам однократных испытаний заданного объема (длительности). Одноступенчатый контроль является самым длительным методом, но наиболее простым с точки зрения организации.

Оперативная характеристика плана контрольных испытаний представляет собой зависимость значений контролируемого показателя надежности R от вероятности принятия положительного решения о качестве контролируемого объекта $P(R)$. Графики оперативной характеристики различных планов одноступенчатого контроля представлены на рис. 2.1-2.3. Оперативная характеристика используется для получения математической модели, вид которой определяется контролируемой характеристикой, законом ее распределения, методом испытаний и другими факторами.

Математическая модель необходима для определения объема (длительности) контроля и значения контрольного норматива K .

Контрольные испытания на надежность являются выборочными, поэтому решения, принимаемые по их результатам, всегда характеризуются определенной достоверностью и точностью. При этом, как и в случае определительных испытаний, длительность испытаний зависит от характеристик, достоверности и точности принимаемых решений.

Достоверность суждений о принимаемых решениях по результатам контрольных испытаний оценивается значениями рисков изготовителя (поставщика) α и потребителя (заказчика) β . Риск изготовителя α - это вероятность того, что поступившее на испытания изделие с приемочным уровнем показателя надежности R_α , будет оценено по результатам контрольных испытаний отрицательно. Риск потребителя β – вероятность того, что изделие, поступившее на испытания с браковочным уровнем надежности R_β , по результатам контрольных испытаний будет оценено положительно.

Точность принимаемых решений в случае, когда при

планировании испытаний в нормативно-технической документации задаются два уровня контролируемого показателя, например R_α и R_β ,

выражается в виде отношения этих уровней $\sigma_{\alpha,\beta} = \frac{R_\alpha}{R_\beta}$.

2.2.2. Планирование испытаний

Цель планирования испытаний - установление значений контрольного норматива K и объема контроля, выраженного в единицах времени или числом отказов, которое будет зафиксировано при испытаниях.

В случае показательного закона распределения контролируемых показателей надежности вид модели контрольных испытаний определяется видом контролируемой характеристики. В лабораторной работе рассматриваются три случая, когда контролируются:

- 1) вероятность безотказной работы $P(t)$;
- 2) среднее время между отказами \bar{t}_0 ;
- 3) среднее время восстановления $\bar{t}_в$.

Биномиальные планы одноступенчатого контроля.

Биномиальные планы используют для контроля вероятности безотказной работы $P(t)$, а вернее вероятности отказа

$q(t) = 1 - P(t)$. Значение времени t , для которого задается и обеспечивается вероятность безотказной работы, целесообразно принять равным 1 ч, т.е.

$$q(1) = 1 - P(1).$$

В этом случае модель одноступенчатого контроля имеет вид:

$$\alpha = \text{Вер}\{r > C \text{ при } q_\phi = q_\alpha\};$$

$$\beta = \text{Вер}\{r < C \text{ при } q_\phi = q_\beta\}. \quad (2.1)$$

где α и β - риски изготовителя и заказчика; n - число отказов, фиксирующихся при испытании заданного объема (длительности); $C = K$ – значение контрольного норматива, т.е. допустимое число отказов, при котором объект удовлетворяет заданным требованиям по безотказности; q_α и q_β - приемочное и браковочное значение вероятности отказа.

Такой план контроля называется биномиальным. Для него является характерным неслучайное (детерминированное) значение длительности испытаний и случайное значение числа отказов r , зафиксированных при n циклах испытаний, каждое из которых имеет

заданную длительность t_q , равную, например 1 ч.

Взаимозависимость между величинами, входящими в уравнение (2.1), определяется оперативной характеристикой, вид которой приведен на рис. 2.1.

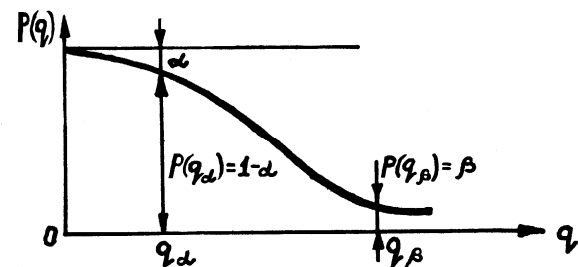


Рис. 2.1. Оперативная характеристика биномиальных планов контроля

Значение контрольного норматива C определяется из соотношения

$$\frac{x_{\alpha;f}^2}{x_{1-\beta;f}^2} \leq \frac{q_{\beta}}{q_{\alpha}}, \quad (2.2)$$

где $x_{\alpha;f}^2$ и $x_{1-\beta;f}^2$ - квантили случайной величины χ^2 , соответствующие вероятностям α и $1-\beta$ и числу степеней свободы $f=2C+2$; $q_{\alpha} = q_{\alpha}(1)$ и $q_{\beta} = q_{\beta}(1)$ - вероятности отказов за один час работы, соответствующие рискам α и β .

По заданному значению $\delta_{в,н} = \frac{q_{\beta}}{q_{\alpha}}$ и значениям рисков α

и β с использованием таблиц случайной величины χ^2 (см. раздел 1.2.2) или персонального компьютера начисляют C по формуле

$$C = \frac{f-2}{2}. \quad (2.3)$$

Длительность испытаний n , выраженная в часах, вычисляется по формулам:

$$t(q_\alpha) = \frac{2a_\alpha - q_\alpha(a_\alpha - c)}{2q_\alpha}; \quad (2.4)$$

$$t(q_\beta) = \frac{2a_\beta - q_\beta(a_\beta - c)}{2q_\beta}. \quad (2.5)$$

где $a_\alpha = \frac{1}{2} \chi_{\alpha;f}^2$; $a_\beta = \frac{1}{2} \chi_{1-\beta;f}^2$.

Принимается вариант с большим объемом испытаний. В этих планах контроля риски α и β принимают значения: 0,05; 0,1; а величина $\delta_{\alpha,\beta} = 4,0 - 6,0$.

Рассмотрим следующий пример. Необходимо спланировать контрольные испытания упаковки, если задано:

$$\alpha = \beta = 0,10; P_\alpha(1) = 0,98; P_\beta(1) = 0,90.$$

По таблице для χ^2 -распределения [2] по значениям α и β и отношению $\sigma_{\alpha,\beta} = \frac{q_\alpha}{q_\beta}$ определяем $f = 2C + 2$. Результаты решения задачи приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

	$\chi_{0,9,f}^2$	χ	$\chi_{0,1,f}^2 / \chi$
	1,0 64	7 ,78	7,31
	2,2	1 0,64	4,89

С учетом неравенства (2.2) принимаем $f = 6$, тогда по формуле (2.3) $C = 2$.

Используя формулы (2.4) и (2.5), определим объем контрольных испытаний:

$$t(q_\alpha) = \frac{2 \cdot 2,20 - 0,02(1,10 - 2)}{2 \cdot 10,64 - 0,10(5,32 - 2)} \approx 54 \text{ ч.}$$

$$t(q_\beta) = \frac{2 \cdot 10,64 - 0,10(5,32 - 2)}{2 \cdot 10,64} \approx 52 \text{ ч.}$$

Принимаем $t = 54$ ч.

Одноступенчатый контроль размерных показателей надежности. Математические модели планов контроля в общем виде при контроле показателя безотказности \bar{t}_0 :

$$\alpha = \text{Вер} \left\{ \bar{t}_0 < K \text{ при } \bar{t}_{0\phi} = \bar{t}_{0,\alpha} \right\};$$

$$\beta = \text{Вер} \left\{ \bar{t}_0 > K \text{ при } \bar{t}_{0\phi} = \bar{t}_{0,\beta} \right\}. \quad (2.6)$$

При контроле показателя ремонтпригодности

$$\alpha = \text{Вер} \left\{ \bar{t}_B < K \text{ при } \bar{t}_{B\phi} = \bar{t}_{B,\alpha} \right\};$$

$$\beta = \text{Вер} \left\{ \bar{t}_B > K \text{ при } \bar{t}_{B\phi} = \bar{t}_{B,\beta} \right\}. \quad (2.7)$$

Здесь K – значение контрольного норматива.

Вид оперативных характеристик представлен на рис. 2.2 и

2.3.

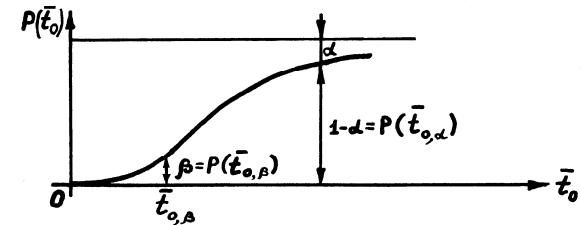


Рис. 2.2. Оперативная характеристика при контроле величины \bar{t}_0

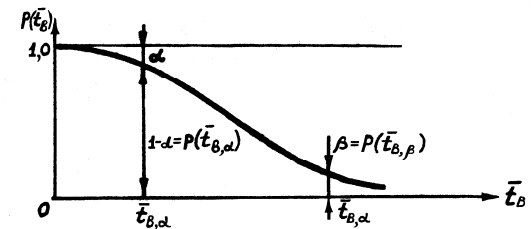


Рис. 2.3. Оперативная характеристика при контроле величины \bar{t}_B

Такие планы контроля характеризуются фиксированными значениями числа отказов n и случайной длительностью испытаний t . В случае размерных характеристик надежности задачей планирования испытаний является определение числа отказов n и значения

контрольных нормативов $K = \bar{t}_{0,k}$ и $K = \bar{t}_{b,k}$.

По заданному значению

$$\sigma_{\alpha,\beta} = \frac{\bar{t}_{0,\alpha}}{\bar{t}_{0,\beta}} \quad \text{или} \quad \sigma_{\alpha,\beta} = \frac{\bar{t}_{b,\beta}}{\bar{t}_{b,\alpha}} \quad (2.8)$$

и значениям рисков α и β с использованием таблиц случайной величины χ^2 или персонального компьютера определяют значения r из соотношений

$$\frac{\chi_{\alpha,f}^2}{\chi_{1-\beta,f}^2} \leq \frac{\bar{t}_{0,\alpha}}{\bar{t}_{0,\beta}} = \sigma_{\alpha,\beta}; \quad \frac{\chi_{\beta,f}^2}{\chi_{1-\alpha,f}^2} \leq \frac{\bar{t}_{b,\beta}}{\bar{t}_{b,\alpha}} = \sigma_{\alpha,\beta}, \quad (2.9)$$

где $\chi_{\alpha,f}^2$; $\chi_{1-\alpha,f}^2$; $\chi_{\beta,f}^2$; $\chi_{1-\beta,f}^2$ - квантили распределения χ^2 с числом степеней свободы

$$f = 2n.$$

Значения контрольных нормативов $\bar{t}_{0,k}$ и $\bar{t}_{b,k}$ определяют по формулам:

$$\bar{t}_{0,k} = \frac{\bar{t}_{0,\alpha} \cdot \chi_{1-\alpha,f}^2}{2n}; \quad (2.10)$$

$$\bar{t}_{b,k} = \frac{\bar{t}_{b,\alpha} \cdot \chi_{\alpha,f}^2}{2n}, \quad (2.11)$$

где $f = 2r$.

Применение приведенных выше зависимостей рассмотрим на примере.

По данным конструкторской документации при проектировании печатной машины обеспечено расчетное значение средней наработки на отказ $\bar{t}_0 = 200$ ч. Спланировать контрольные испытания этой машины, если задано $\bar{t}_{0,\alpha} = 210$ ч и $\bar{t}_{0,\beta} = 42$ ч, риски $\alpha = \beta = 0,10$.

По формуле (2.9) определяем предельное число отказов n , которое необходимо зафиксировать при испытаниях. По таблице квантилей χ^2 - распределения [2] и условию (2.9) определяем $f = 2r$.

Данные расчета сведены в табл. 2.1.

$$\text{При отношении } \frac{\chi_{0,1;f}^2}{\chi_{0,9;f}^2} = 4,89, \quad f = 6, \text{ следовательно, } r = 3.$$

Значение контрольного норматива $\bar{t}_{0,k}$ определяем по формуле (2.10):

$$\bar{t}_{0,k} = \frac{210 \cdot 2,2}{6} = 77 \text{ ч.}$$

2.2.3. Проведение испытаний

Контрольным испытаниям на надежность должен подвергаться каждый вновь изготовленный или капитально отремонтированный объект полиграфического оборудования на заводах полиграфического машиностроения, ремонтных заводах или в типографиях.

При проведении испытаний по контролю показателей безотказности фиксируют, например наработки t_{0i} , предшествующие каждому из n отказов, а для показателей ремонтпригодности, например время восстановления $t_{вi}$ после каждого (в том числе и последнего) отказа.

При контроле \bar{t}_0 испытания заканчиваются в момент возникновения последнего из определенного выше числа отказов n , а при контроле $\bar{t}_в$ - после выполнения восстановительных работ, следующих за последним отказом.

В том случае, когда результаты натурных испытаний отсутствуют, «наблюдения» моделируют с помощью таблиц равномерно распределенных случайных чисел [2] или на ЭВМ.

Для моделирования на ЭВМ процесса возникновения отказов в ходе контрольных испытаний необходимо знать закон распределения контролируемых величин. Для большинства объектов полиграфического оборудования указанные выше характеристики распределяются по показанному закону, для которого необходимо знать номинальное значение случайной величины. Номинальные значения контролируемых характеристик приведены в табл. 2.3.

Модели контрольных испытаний в случае биномиальных планов при контроле вероятности отказов $P(1)$ и контроле размерных характеристик \bar{t}_0 и $\bar{t}_в$ различны.

Таблица 2.3

Вид контрольных характеристик	Код	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Характеристика	2	3	3	2	3	1	2	2	1	3
$\sigma_{\alpha,\beta}$		4	4,2	4,4	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	6
Риски α, β	α	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05
	β	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,05	0,1	0,05	0,1	0,1
Номинальн	q_α	0,006	0,008	0,01	0,012	0,009	0,007	0,01	0,015	0,008	0,015

ые значения характерист ики	$\bar{t}_{0,\alpha}$	80	90	100	110	120	140	150	160	120	160
	$\bar{t}_{в,\beta}$	0,8	0,9	1,0	1,3	1,5	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7

Моделирование процесса возникновения отказов в случае биномиальных планов контроля. Такой план контроля характеризуется фиксированной длительностью испытаний t , выраженной в часах, а число отказов n является случайной величиной. Следовательно, моделирование числа отказов должно продолжаться до тех пор, пока сумма времен между отказами не превысит установленной длительности контроля. Как только $\sum_{i=1}^r t_{0,i}$ превысит длительность контроля t , моделирование прекращают и последний отказ исключают.

При моделировании контрольных испытаний в случае биномиальных планов используют значение $\bar{t}_{0,\alpha}$, определенное из соотношения $\bar{t}_{0,\alpha} = \frac{1 \text{ ч}}{q_\alpha}$.

Моделирование процесса отказов и восстановлений для получения \bar{t}_0 и $\bar{t}_в$. По заданным значениям $\bar{t}_{0,\alpha}$ и $\bar{t}_{0,\beta}$ и полученному числу отказов r или числу восстановлений $r_в$ с использованием персонального компьютера вырбатывают r или $r_в$ случайных чисел, характеризующих времена между отказами или времена восстановления.

По полученным при статистическом моделировании данным вычисляют оценки \bar{t}_0 и $\bar{t}_в$ по формулам:

$$\bar{t}_0 = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_{0,i};$$

$$\bar{t}_в = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r t_{в,i}.$$

2.2.4. Принятие решения о соответствии изделия установленным требованиям на надежность

Для решения этой задачи необходимо информацию, полученную при моделировании, сопоставить со значениями контрольных нормативов.

При контроле вероятности безотказной работы $q(1)$, если

зафиксированное число отказов будет не больше контрольного норматива C , т.е. $r \leq C$ объект оценивается положительно.

При контроле средней наработки на отказе \bar{t}_0 объект оценивается положительно, если $\bar{t}_0 \geq \bar{t}_{0,k}$.

При контроле среднего времени восстановления \bar{t}_b объект соответствует заданным требованиям на надежность, если $\bar{t}_b \leq \bar{t}_{b,k}$.

2.3. Порядок выполнения работы

2.3.1. Код задания и его расшифровка. Исходные данные для планирования определительных испытаний приведены в табл. 2.3 (см. выше) и задаются каждому студенту в виде кода, содержащего четыре цифры. Первая цифра кода определяет вид контролируемой характеристики. При этом цифрой 1 обозначена характеристика $q(1)$, цифрой 2 - \bar{t}_0 , цифрой 3 - \bar{t}_b . Вторая цифра кода определяет значение характеристики точности контроля $\delta_{\alpha,\beta}$. Этот показатель изменяется от 4,0 до 6,0. Третья цифра устанавливает значения рисков α и β , которые принимают значения 0,05 или 0,10. Четвертая - определяет заданные (прогнозируемые) значения контролируемых показателей. В качестве последних принимаются их значения, соответствующие риску α для $q(1)$ и \bar{t}_0 , т.е. q_α и $\bar{t}_{0\alpha}$, и риску β для \bar{t}_b , т.е. $\bar{t}_{b,\beta}$. Эти величины необходимы для моделирования процесса контрольных испытаний.

Получение исходных данных рассмотрим на примере, когда кодом задания является 2148. Первой цифре кода 2 соответствует характеристика под цифрой 3, т.е. \bar{t}_b ; второй цифре 1 соответствует значение $\delta_{\alpha,\beta} = 4,0$; третьей цифре 4 - $\alpha = 0,10$ и $\beta = 0,10$; четвертой цифре 8 - $\bar{t}_{b,\beta} = 1,5$.

2.3.2. Планирование испытаний. Методические указания по планированию испытаний в зависимости от вида контролируемой характеристики надежности и выбранной математической модели приведены в разделе 2.2.2. Эту задачу можно решать на персональных ЭВМ.

2.3.3. Моделирование результатов испытаний на ЭВМ.

2.3.4. Принятие решения о соответствии изделия установленным

требованиям на надежность.

2.4. Содержание отчета

2.4.1. Расшифровка кода задания:

- вид показателя надежности;
- относительная доверительная погрешность $\delta_{\alpha,\beta}$;
- значения рисков α и β ;
- номинальное значение показателя надежности.

2.4.2. Оперативная характеристика и математическая модель выбранного плана испытаний.

2.4.3. Определение длительности испытаний $n(q)$ или объема испытаний r для \bar{t}_0 и \bar{t}_B

2.4.4. Результаты испытаний (моделирования).

2.4.5. Вывод о соответствии объекта испытания заданным требованиям на надежность.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель контрольных испытаний.
2. Сущность одноступенчатого контроля.
3. Математическая модель одноступенчатого контроля вероятности отказа $q(l)$.
4. Модель одноступенчатого контроля средней наработки на отказ \bar{t}_0
5. Модель одноступенчатого контроля среднего времени восстановления \bar{t}_B .
6. Понятие контрольного норматива.
7. Понятие оперативной характеристики.
8. Исходные данные для планирования одноступенчатого контроля.
9. Моделирование контрольных испытаний объектов при контроле $q(l)$.
10. Моделирование контрольных испытаний при контроле \bar{t}_0 и \bar{t}_B
11. Принятие решения о соответствии (несоответствии) контролируемых объектов требованиям на надежность по результатам контрольных испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
Контрольные испытания упаковочного и
испытательного оборудования на надежность.
Последовательный контроль
Продолжительность - 6 часов

3.1. Цель работы

Приобретение практических навыков в планировании и анализе результатов испытаний полиграфического оборудования по методу последовательного контроля безразмерных и размерных показателей надежности.

3.2. Теоретическое обоснование

3.2.1. Общие сведения о последовательном контроле

Сущность данного метода заключается в том, что контроль качества полиграфических машин и их элементов осуществляется в несколько последовательных этапов. Информация после каждого этапа контроля учитывается при принятии решения на последующих этапах. При этом область принятия решений разбивается на три подобласти: прекращение контроля в результате положительного решения о надежности изделия, прекращение контроля в связи с отрицательным решением и продолжение контроля в связи с невозможностью принять какое-либо решение. Подобласти принятия решения разделяются разграничительными линиями. На рис. 3.1 приведен график последовательного контроля показателей безотказности технических систем.

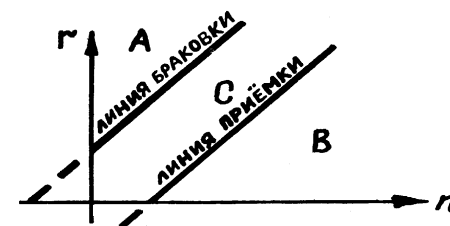


Рис. 3.1. График последовательного контроля

Планирование последовательных испытаний заключается в отыскании областей соответствия, несоответствия и продолжения испытаний. Для решения этой задачи используют понятие отношения

правдоподобия γ_n , которое определяют по формуле:

$$\gamma_n = \frac{P(r, n, R_\beta)}{P(r, n, R_\alpha)}, \quad (3.1)$$

где $P(r, n, R_\alpha)$ и $P(r, n, R_\beta)$ - вероятности возникновения отказов при испытаниях длительностью n , если на контроль поступают объекты со значениями приемочного и браковочного уровней показателя надежности соответственно R_α и R_β .

Характеристика объема испытаний n выражается числом единичных испытаний. Продолжительность единичного испытания равна времени, за которое рассчитывается вероятность безотказной работы $P(t)$. Для $P(t=1 \text{ ч})$ объем (длительность) единичного испытания равен 1 ч, тогда $n = t_{исп}$, где $t_{исп}$ - продолжительность испытаний.

В зависимости от полученного значения γ_n могут быть приняты следующие решения:

а) если $\gamma_n \geq A$, где $A = \frac{1-\beta}{\alpha}$, справедлива гипотеза

$H_1 : R_\phi : R_\beta$, т.е. изделие в отношении контролируемого показателя надежности R оценивается отрицательно и испытания прекращаются, что соответствует области A над линией несоответствия (браковки) на рис. 3.1;

б) если $\gamma_n \leq B$, где $B = \frac{1-\alpha}{\beta}$, то принимается нулевая гипотеза

$H_0 : R_\phi : R_\alpha$, т.е. изделие в отношении контролируемой характеристики надежности R оценивается положительно и испытания прекращаются – область B под линией соответствия (приемки) на рис. 3.1.

с) если $A < \gamma_n < B$, то ни одна гипотеза H_0 и H_1 не может быть принята из-за недостатка информации о надежности изделия и испытания должны быть продолжены – область C на рис. 3.1.

Метод последовательного контроля в сравнении с одноступенчатым, дает возможность принять решение о надежности изделия при меньшем объеме испытаний.

Рассмотрим планы последовательных испытаний при контроле вероятности безотказной работы $P(t)$ и среднего времени между отказами \bar{t}_0 .

3.2.2. Биномиальные планы последовательного контроля

Биномиальные планы последовательных испытаний используются для контроля вероятности безотказной работы $P(t)$. Для упрощения зависимостей вместо $P(t)$ удобно рассматривать величину $q(t) = 1 - P(t)$, а вместо величины γ_n ее натуральный логарифм $\ln \gamma_n$.

Для построения областей решения получим зависимости, представляющие уравнения двух прямых (линии соответствия и несоответствия).

В случае биномиальных планов вероятности $P(r, n, q_\alpha)$ и $P(r, n, q_\beta)$ определяют по формулам:

$$P(r, n, q_\alpha) = C_n^r q_\alpha^r (1 - q_\alpha)^{n-r}; \quad (3.2)$$

$$P(r, n, q_\beta) = C_n^r q_\beta^r (1 - q_\beta)^{n-r}. \quad (3.3)$$

После подстановки (3.2) и (3.3) в (3.1) и логарифмирования (3.1) получим условия положительных решений:

$$r \leq \frac{\ln B - n \ln \frac{1 - q_\alpha}{1 - q_\beta}}{\ln \frac{q_\beta}{q_\alpha} - \ln \frac{1 - q_\alpha}{1 - q_\beta}}, \quad (3.4)$$

а условия отрицательных решений

$$r \geq \frac{\ln A - n \ln \frac{1 - q_\alpha}{1 - q_\beta}}{\ln \frac{q_\alpha}{q_\beta} - \ln \frac{1 - q_\alpha}{1 - q_\beta}}, \quad (3.5)$$

где $A = \frac{1 - \beta}{\alpha}$ и $B = \frac{\beta}{1 - \alpha}$.

Планирование последовательного контроля рассмотрим на следующем примере.

Дано: $q_\alpha = 0,02$; $\sigma_{\alpha,\beta} = 3$; $\alpha = \beta = 0,10$.

Определим величины, входящие в формулы (3.4) и (3.5):

$$q_{\beta} = q_{\alpha} \cdot \sigma_{\alpha, \beta} = 0,02 \cdot 3 = 0,06;$$

$$\ln A = \ln \frac{1-0,1}{0,1} = 2,197;$$

$$\ln B = \frac{0,1}{1-0,1} = -2,197; \quad \ln \frac{q_{\beta}}{q_{\alpha}} = \ln \frac{0,6}{0,02} = 1,0986;$$

$$\ln \frac{1-q_{\alpha}}{1-q_{\beta}} = \ln \frac{1-0,02}{1-0,06} = 0,039.$$

Найдем уравнения линий приемки по формуле (3.4), предварительно заменив знак неравенства на знак равенства:

$$r = -1,934 + 0,0342 n, \quad (3.6)$$

а уравнение линии браковки по формуле (3.5)

$$r = 1,934 + 0,0342 n. \quad (3.7)$$

Для расчета $P(t=1 \text{ ч})$ имеем $t=1 \text{ ч}$.

График оперативной характеристики для этого случая приведен на рис. 3.2.

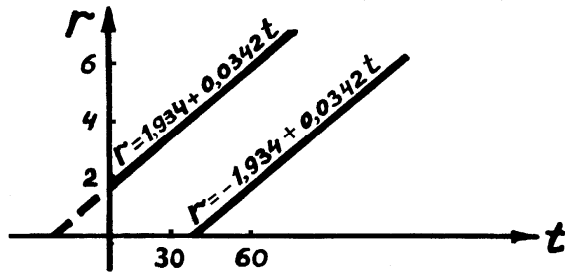


Рис. 3.2. График последовательного контроля $q(1)$ в случае распределения числа отказов по биномиальному закону.

3.2.3. Последовательный контроль средней наработки на отказ \bar{t}_0

Время между отказами t_0 сложных технических систем, как правило, описывается экспоненциальным распределением, поэтому отношение правдоподобия в этом случае записывается в виде

$$\ln \gamma_n = \ln \prod_{i=1}^r \frac{1}{t_{o,\beta}} \cdot e^{-\frac{t}{t_{o,\beta}}} \frac{1}{t_{o,\alpha}} \cdot e^{-\frac{t}{t_{o,\alpha}}} \quad (3.8)$$

или

$$\ln \gamma_n = r \ln \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{t_{o,\beta}} - n \cdot t_{\Sigma} \left(\frac{1}{t_{o,\beta}} - \frac{1}{t_{o,\alpha}} \right),$$

где $t_{\Sigma} = t$ - суммарная наработка объекта к моменту получения r отказов (объем испытаний).

Сопоставляя полученное значение $\ln \gamma_n$ с пороговыми значениями $\ln \frac{\beta}{1-\alpha}$ и $\ln \frac{1-\beta}{\alpha}$ имеем:

- Уравнение линии приемки (соответствия)

$$\frac{t_{\Sigma}}{t_{o,\alpha}} = \frac{\bar{t}_{o,\beta}}{t_{o,\alpha} - \bar{t}_{o,\beta}} \left(n \cdot \ln \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{t_{o,\beta}} - \ln \frac{1-\beta}{\alpha} \right); \quad (3.9)$$

- Уравнение линии браковки (несоответствия)

$$\frac{t_{\Sigma}}{t_{o,\alpha}} = \frac{\bar{t}_{o,\beta}}{t_{o,\alpha} - \bar{t}_{o,\beta}} \left(n \cdot \ln \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{t_{o,\beta}} - \ln \frac{\beta}{1-\alpha} \right). \quad (3.10)$$

График плана последовательных испытаний, построенный по зависимостям (3.9) и (3.10), будет иметь вид, аналогичный графикам, приведенным на рис. 3.1 и 3.2.

Заменяя знаки равенства в уравнениях (3.9) и (3.10) знаками неравенства, получим:

- Условие положительных решений (приемки):

$$\frac{t_{\Sigma}}{t_{o,\alpha}} \geq \frac{\bar{t}_{o,\beta}}{t_{o,\alpha} - \bar{t}_{o,\beta}} \left(r \cdot \ln \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{t_{o,\beta}} - \ln \frac{1-\beta}{\alpha} \right).$$

- Условие отрицательных решений (браковки):

$$\frac{t_{\Sigma}}{t_{o,\alpha}} = \frac{\bar{t}_{o,\beta}}{t_{o,\alpha} - \bar{t}_{o,\beta}} \left(r \cdot \ln \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{t_{o,\beta}} - \ln \frac{\beta}{1-\alpha} \right).$$

Рассмотрим пример планирования последовательных испытаний

при контроле t_o печатной машины, для которой даны: $\bar{t}_{o,\alpha} = 200$ ч;
 $\sigma_{\alpha,\beta} = 2$; $\alpha = \beta = 0,10$.

Для получения уравнений (3.9) и (3.10) определяем величины, входящие в эти формулы:

$$\bar{t}_{o,\beta} = \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{\sigma_{\alpha,\beta}} = \frac{200}{2} = 100; \quad \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{\bar{t}_{o,\alpha} - \bar{t}_{o,\beta}} = \frac{100}{200 - 100} = 1;$$

$$\ln \frac{\bar{t}_{o,\alpha}}{\bar{t}_{o,\beta}} = \ln \frac{200}{100} = 0,69; \quad \ln \frac{1-\beta}{\alpha} = \ln \frac{1-0,1}{0,1} = 2,193;$$

$$\ln \frac{\beta}{1-\alpha} = \ln \frac{0,1}{1-0,1} = 2,193.$$

Следовательно, уравнение линии приемки будет иметь вид:

$$\frac{t_{\Sigma}}{\bar{t}_{o,\alpha}} = 2,193 + 0,639r,$$

а уравнение линии браковки:

$$\frac{t_{\Sigma}}{\bar{t}_{o,\alpha}} = -2,193 + 0,639r$$

График последовательного контроля для печатной машины 2ПС-А3 приведен на рис. 3.3.

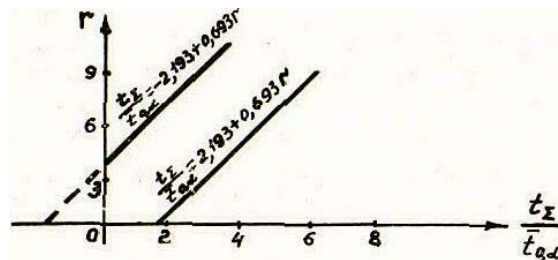


Рис. 3.3. График последовательного контроля показателя t_o печатной машины

Из формулы (3.11) и (3.12) и графика на рис. 3.3 следует, что минимальный объем испытаний для принятия положительного решения при $r=0$ составит $t_{\Sigma,\min} = 2,197 \cdot \bar{t}_{o,\alpha} = 493,4$ ч.

3.2.4. Проведение испытаний

Порядок проведения натуральных испытаний изложен в [2]. В случае отсутствия результатов натуральных испытаний «наблюдения» моделируют с помощью таблиц равномерно распределенных случайных чисел или на персональных ЭВМ. Блок-схема алгоритма моделирования последовательных испытаний приведена на рис. 3.4.

Для моделирования на ЭВМ процесса возникновения отказов и принятия решений в ходе последовательного контроля необходимо знать:

1. Закон распределения времени между отказами t_0 . Для сложных технических систем, какими являются полиграфические машины, t_0 распределено по показательному закону, числовой характеристикой для которого является математическое ожидание времени между отказами $\bar{t}_{0,\alpha}$. Для биномиальных планов контроля

$$\bar{t}_{0,\alpha} = \frac{1 \text{ ч}}{q_\alpha}.$$

2. Условия принятия решений, выраженные формулами (3.4) и (3.5) для $P(t)$ и формулами (3.11) и (3.12) для t_0 . Моделирование последовательных испытаний на ЭВМ состоит из t шагов, t заранее неизвестно и определяется в ходе испытаний, на каждом i -ом шаге осуществляется следующая процедура:

1) случайным образом выбирают t_{0i} ;

2) фиксируют суммарное количество отказов n и длительность испытаний t_{ucn} :

$$r = i; \quad t_{ucn} = \sum_{k=1}^i t_{0k}$$

3) проверяют условия принятия решений и делают вывод о прекращении или продолжении испытаний;

4) прекратив испытания, оценивают надежность объекта и выводят на печать результаты испытаний: r и t_{ucn} .

В случае продолжения испытаний повторяют приведенную выше процедуру на $(i+1)$ шаге, т.е. $i = i+1$.

3.3. Порядок выполнения работы

3.3.1. Код задания и его расшифровка. Исходные данные приведены в табл. 3.1 и каждому студенту задаются в виде кода,

содержащего четыре цифры. Первой цифре кода соответствует вид контролируемого показателя надежности: 1 – вероятность отказа $q(1)$, 2 – среднее время между отказами \bar{t}_0 . Вторая цифра кода определяет значение характеристики точности контроля $\sigma_{\alpha,\beta}$. Третья цифра устанавливает значения рисков α, β . Четвертая определяет заданные (прогнозируемые) значения контролируемых показателей; принимаем их значения, соответствующие риску α , т.е. $\bar{t}_{0,\alpha}$ и q_α .

Таблица 3.1 Исходные данные

Контролируемые показатели надежности	Код	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Показатели	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$\sigma_{\alpha,\beta}$		1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,7	3,0	3,2
α,β	α	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05
	β	0,05	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05
Номинальные значения показателей	q_α	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,03	0,06	0,01	0,03	0,04
	$\bar{t}_{0,\alpha}$, ч	200	250	300	150	200	250	300	350	250	200

3.3.2. Составление уравнений линии приемки и браковки.

3.3.3. Построение графика оперативной характеристики последовательного контроля.

3.3.4. Определение условий приемки и браковки изделия.

3.3.5. Моделирование результатов испытаний на ЭВМ. Блок-схема алгоритма моделирования приведена на рис. 3.4. Результаты моделирования испытаний на ЭВМ представлены выборкой $t_{0,i}$.

3.3.6. Принятие решения о надежности изделия. Последовательно для

каждого $t_{0,i}$ определить набегающим итогом $t_\Sigma = \sum_{k=1}^i t_{0,k}$ и $r=i$

и нанести r и t_Σ на график оперативной характеристики для $q(1)$

или $\frac{t_\Sigma}{\bar{t}_{0,\alpha}}$ и r на график для \bar{t}_0 . Проверить условия принятия

решений и сделать вывод о продолжении испытаний. В случае окончания испытаний сделать вывод о надежности объекта, записать итоговые значения $t_{исп} = t_\Sigma$ и r .

3.4. Содержание отчета

3.4.1. Расшифровка кода задания:

- вид показателя надежности $q(t)$ или \bar{t}_0 ;
- относительная доверительная погрешность $\sigma_{\alpha,\beta}$;
- риски α и β ;
- номинальные значения показателей q_α или $\bar{t}_{0,\alpha}$.

3.4.2. Уравнения линий приемки и браковки.

3.4.3. Условия приемки и браковки.

3.4.4. Выборка результатов моделирования t_{0i} на ЭВМ.

3.4.5. Этапы принятия решения о надежности изделия.

Последовательный расчет $t_{\Sigma_i} \left(\frac{t_{\Sigma_i}}{t_{0,\alpha}} \right)$ и r_i и проверка условий принятия

решений.

3.4.6. График оперативной характеристики с нанесенными этапами принятия решений.

3.4.7. Вывод о надежности изделия.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность последовательного контроля.
2. Условия принятия решения о надежности объекта по результатам последовательного контроля.
3. Графическое представление последовательного контроля.
4. Биномиальный план последовательного контроля вероятности отказа $q(t)$.
5. График последовательного контроля $q(t)$.
6. Математическая модель последовательного контроля наработки на отказ \bar{t}_0 .
7. График последовательного контроля \bar{t}_0 .
8. Исходные данные для планирования последовательного контроля.
9. Моделирование контрольных испытаний в случае последовательного контроля.
10. Принятие решения о соответствии (несоответствии) контролируемых объектов требованиям к надежности по результатам одноступенчатого контроля.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Продолжительность - 10 часов

**4.1. КРАТКИЙ АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР
4.1.1. МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ В
ПРОСТЕЙШЕМ СЛУЧАЕ ДВУМЕРНОГО
ПРОСТРАНСТВА (НА ПЛОСКОСТИ). УРАВНЕНИЕ
РЕГРЕССИИ**

По полученным в ходе исследования данным необходимо построить парные зависимости типа $y = f(x)$. К так называемым парным зависимостям типа $y = f(x)$ относится подавляющее большинство всех формул, используемых в естественнонаучных и технических дисциплинах. По результатам экспериментов такие формулы обычно строили, применяя метод наименьших квадратов, однако только в последнее время с появлением новейших ЭВМ, пригодных для выполнения расчетов очень большого объема, удается построить парные зависимости оптимальной формы.

Сама по себе процедура линейного парного регрессионного анализа (метода наименьших квадратов на плоскости) очень проста, и для ее выполнения достаточно ПК. Эту процедуру можно выполнять и вручную.

Пусть имеется n пар наблюдений значений функции отклика y_i , полученных при фиксированных (в смысле записанных) значениях независимой переменной фактора x_i . Для графического изображения этих пар наблюдений в виде экспериментальных точек с координатами x, y на плоскости применяется система декартовых координат.

Задача линейного регрессионного анализа (метода наименьших квадратов) состоит в том, чтобы, зная положение точек на плоскости, так провести линию регрессии, чтобы сумма квадратов отклонений Δ_i^2 вдоль оси Oy (ординаты) этих точек U от проведенной прямой была минимальной.

Для проведения вычислений по классическому методу наименьших квадратов (для проведения регрессионного анализа) к выдвигаемой гипотезе (к форме уравнения регрессии) предъявляется такое требование: это уравнение должно быть линейным по параметрам или допускать возможность линеаризации. Так, например, процедура проведения регрессионного анализа одинакова для уравнений $y = b_0 + bx$ и $y = b_0 + bz^2$, так как подстановка $x = z^2$ приводит второе уравнение к первому. Для простоты предположим, что при проведении парного линейного регрессионного анализа имеем дело

только с уравнением прямой линии.

$$y = b_0 + b_1 x, \quad (4.1)$$

где b_0, b_1 – постоянные числа, геометрическая интерпретация которых дана ниже. Учитывая это, задачу метода наименьших квадратов аналитически можно выразить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_i)]_{\min}^2, \quad (5.2)$$

где $y_i - (b_0 + b_1 x_i) = \Delta_i$ или

$$U = \sum_{i=1}^n \Delta_{i \min}^2, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4.3)$$

Формулы (16.2) и (16.3) словами кратко можно выразить так: сумма квадратов отклонений вдоль оси Oy должна быть минимальной (принцип Лежандра).

Построенная таким образом линия регрессии позволяет в данном случае с некоторой вероятностью предсказать в некотором интервале значений x любые значения функции y при отсутствующих в таблице значениях фактора x .

Для решения задачи, поставленной в формуле (4.2), необходимо в каждом конкретном случае вычислить значения коэффициентов b_0 и b_1 , минимизирующие сумму отклонений U . Для этого необходимо вычислить частные производные функции U по коэффициентам b_0 и b_1 и приравнять их к нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial b_0} = 0, \\ \frac{\partial U}{\partial b_1} = 0. \end{cases} \quad (4.4)$$

Решая эту систему уравнений, находим искомые значения b_0 и b_1 . Систему (4.4) называют системой нормальных уравнений. В формулу (4.4) подставляют значение U из формулы (4.2) и одновременно выполняют операцию дифференцирования:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial b_0} = \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_i)] = 0, \\ \frac{\partial U}{\partial b_1} = \sum_{i=1}^n [y_i - (b_0 + b_1 x_i)] x_i = 0. \end{cases} \quad (4.5)$$

Преобразуем полученную систему нормальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 b_0 n + b_1 \sum x_i &= \sum y_i, \\
 b_0 \sum x_i + b_1 \sum x_i^2 &= \sum (y_i x_i).
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

В формуле (4.6) и далее для краткости у знака суммы \sum опущены индексы. Систему (16.6) решаем с помощью определителей:

$$b_0 = \Theta_1 / \Theta, b_1 = \Theta_2 / \Theta,$$

где Θ – главный определитель. Имеем:

$$\Theta = \begin{vmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{vmatrix} = n \sum x^2 - (\sum x)^2,$$

$$\Theta_1 = \begin{vmatrix} \sum y & \sum x \\ \sum xy & \sum x^2 \end{vmatrix} = \sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x,$$

$$\Theta_2 = \begin{vmatrix} n & \sum y \\ \sum x & \sum xy \end{vmatrix} = n \sum xy - \sum x \sum y,$$

откуда

$$b_0 = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum xy \sum x}{n \sum x^2 - (\sum x)^2},$$

$$b_1 = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}.$$

Для y в литературе можно встретить следующие наименования: функция отклика, зависимая переменная, предикатор. X называют входной переменной, независимой переменной, фактором, регрессором.

4.1.2. Статистическое оценивание парной корреляции и регрессии

Для вычисления коэффициента парной корреляции применяется формула с использованием средних:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}.$$

Для статистического оценивания коэффициентов регрессии проверяют нуль гипотезу $H_0: b = 0$, т.е. проверяют, отличается статистически значимо оценка коэффициента регрессии от нуля. Границу значимости устанавливают на основании критерия Стьюдента

€:

$$\epsilon = \frac{|b|}{\bar{S}_b} \geq t_{n-2;p}^{\text{табл.}}$$

где $t_{n-2;p}^{\text{табл.}}$ - табличное значение критерия Стьюдента при степени свободы $n - 2$ и уровне доверия p ; \bar{S}_b - стандартное отклонение ошибок регрессии.

$$\bar{S}_b = (1/(n-2) \sum (y - b_0 - b_1 x)^2)^{0,5}.$$

Оценку значимости коэффициента парной корреляции (проверку наличия корреляции) выполняют по формуле

$$\epsilon = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \geq t_{n-2;p}^{\text{табл.}}$$

Для этой же цели можно использовать критерий – критическое значение коэффициента корреляции $r_{\text{крит.}}$, при этом значение коэффициента корреляции сравнивается с его критическим табличным значением: $\epsilon > r_{\text{крит.}}$.

Для проверки значимости уравнения регрессии в целом используют F-критерий Фишера, при этом общую дисперсию \bar{S}_y^2 сравнивают с остаточной дисперсией $\bar{S}_{y \text{ ост}}^2$. Для того, чтобы уравнение регрессии адекватно описывало результаты экспериментов, необходимо выполнения условия:

$$\epsilon = \frac{\bar{S}_y^2}{\bar{S}_{y \text{ ост}}^2} \geq F_{n-1;n-2;p}^{\text{табл.}}$$

4.1.3. Нелинейная парная регрессия

В том случае, когда по правилам гипотеза линейности может быть отброшена или когда при графическом изображении точек нелинейность явно просматривается «на глаз», есть смысл получить по экспериментальным данным нелинейную (квадратичную или высших порядков) формулу парной зависимости. При этом можно рассчитывать, что нелинейная формула даст меньшую остаточную дисперсию $S_{\text{ост}}^2$, т.е. лучше предскажет результаты опытов.

Формулу парной квадратичной регрессии можно представить в

виде

$$\hat{y} = a + bx + cx^2.$$

Аналогично запишем формулу кубической регрессии:

$$\hat{y} = a + bx + cx^2 + dx^3.$$

Коэффициенты квадратичного уравнения a , b и c можно найти, решая следующую систему нормальных уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{cases} an + b \sum x + c \sum x^2 = \sum y; \\ a \sum x + b \sum x^2 + c \sum x^3 = \sum xy; \\ a \sum x^2 + b \sum x^3 + c \sum x^4 = \sum x^2 y. \end{cases}$$

Аналогично пишутся системы уравнений для получения парной зависимости любого порядка.

Используя метод наименьших квадратов, можно построить практически любые формы нелинейной парной связи. Для этого используют линеаризующие преобразования.

В табл. 4.1 приведены часто встречающиеся парные зависимости и линеаризующие преобразования переменных.

Таблица 4.1 Часто встречающиеся парные зависимости и линеаризующие преобразования переменных

№ п/п	Функция	Линеаризующие преобразования			
		Преобразование переменных		Выражения для величин b_0 и b_1	
		y'	x'	b'_0	b'_1
1	2	3	4	5	6
1	$y = b_0 + b_1/x$	y	$1/x$	b_0	b_1
2	$y = 1/(b_0 + b_1 x)$	$1/y$	x	b_0	b_1
3	$y = x/(b_0 + b_1 x)$	x/y	x	b_0	b_1
4	$y = b_0 b_1^x$	$\lg y$	x	$\lg b_0$	$\lg b_1$
5	$y = b_0 \exp(b_1 x)$	$\ln y$	x	$\ln b_0$	b_1
6	$y = 1/(b_0 + b_1 e^{-x})$	$1/y$	e^{-x}	b_0	b_1
7	$y = a x^b$	$\lg y$	$\lg x$	$\lg b_0$	b_1
8	$y = b_0 + b_1 \lg x$	y	$\lg x$	b_0	b_1
9	$y = b_0/(b_1 + x)$	$1/y$	x	b_1/b_0	$1/b_0$
10	$y = b_0 x/(b_1 + x)$	$1/y$	$1/x$	b_1/b_0	$1/b_0$
11	$y = b_0 \exp(b_1/x)$	$\ln y$	$1/x$	$\ln b_0$	b_1
12	$y = b_0 + b_1 x^n$	y	x^n	b_0	b_1

4.1.4. Алгоритм расчёта на ЭВМ оптимальной формы связи между двумя переменными физическими величинами

1. Вычисление сумм $\sum x, \sum y, \sum x^2, \sum y^2$ и $\sum xy$ и средних значений \bar{y} и \bar{x} .
2. Вычисление промежуточных величин:
$$Q_x = \sum x^2 - (1/n)(\sum x)^2,$$
$$Q_y = \sum y^2 - (1/n)(\sum y)^2,$$
$$Q_{xy} = \sum xy - (1/n)(\sum x)(\sum y).$$
3. Вычисление коэффициентов линейной регрессии:
$$b_1 = Q_{xy} / Q_x, b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}.$$
4. Вычисление остаточной дисперсии для линейной формы:
$$\bar{S}_{ост}^2 = \sum (y - \hat{y})^2 / (n - 2).$$
5. Вычисление промежуточной величины:
$$Q_{yx} = Q_y - b_1 Q_{xy}.$$
6. Вычисление коэффициента корреляции:
$$\hat{r} = Q_{xy} / \sqrt{Q_x Q_y}.$$
7. Сравнение \hat{r} с табличным значением $r_{крит.}$. Если $\hat{r} > r_{крит.}$, то имеется статистически значимая линейная связь между величинами y и x . Не выполняться это условие может по двум причинам: 1) между изучаемыми переменными нет связи; 2) связь есть, но нелинейная, тогда переходят к п. 9 для расчета коэффициентов нелинейных моделей.
8. Проверка адекватности линейной модели (сравнение \hat{F} с $F^{табл.}$). Если модель неадекватно описывает процесс, то переходят к п. 9 для расчета коэффициентов нелинейных моделей.

9. Расчет по уравнениям коэффициентов квадратичной, кубической и т.д. форм связи до тех пор, пока $S_{ост}^2$ не начнет увеличиваться.
10. Проверка функций по таблицам (вычисление коэффициентов и остаточных дисперсий).
11. Выбор оптимальной формы связи по минимальной остаточной дисперсии.

4.1. Цель работы: ознакомится с корреляционно-регрессионным анализом с помощью электронных таблиц Excel, используя данные экспериментов, проведенных в предыдущих лабораторных работах.

4.2. Порядок выполнения работы

Определение параметров линейной связи

Будем определять параметры линейной парной регрессии вида $Y=a + bX$.

Рассмотрим разнообразные возможности решения этого вопроса, которые могут потребоваться в зависимости от ситуации.

2.1. Для установки параметров (коэффициентов) линейной связи введем данные рядов X и Y – наблюдаемую статистику независимой и зависимой переменной, в ячейки, адреса которых представлены на рис. 4.6.

2.2. В ячейке С3 подсчитаем среднее значение ряда X . Для этого вызовем функцию СРЗНАЧ (Мастер функций – Статистические – СРЗНАЧ) и на появившейся панели функции введем адрес диапазона ряда X – А2:А10 (рис. 4.1).

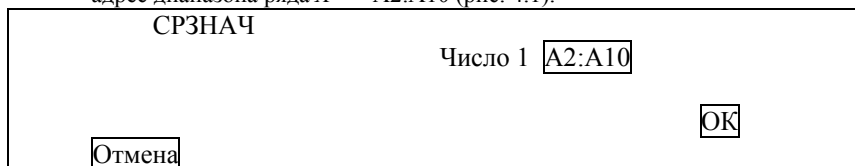
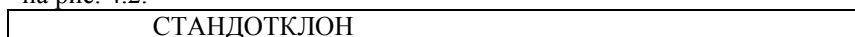


Рис. 4.1. Упрощенная панель функции СРЗНАЧ

2.3. В ячейку D4 введем среднее значение ряда Y , проделав аналогичную операцию, введя на панели функции СРЗНАЧ адрес ряда Y – В2:В10.

2.4. В ячейке С6 подсчитаем стандартное отклонение ряда X , вызвав функцию СТАНДОТКЛОН и введя диапазон ряда X , как это показано на рис. 4.2.



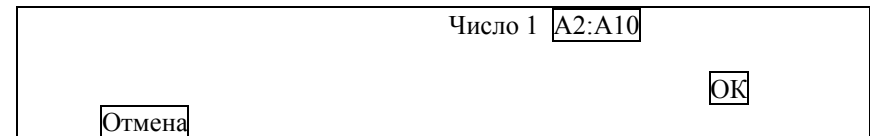


Рис. 4.2. Упрощенная панель функции СТАНДОТКЛОН

В ячейку D6 введем стандартное отклонение ряда Y, проделав аналогичную операцию.

2.5. В ячейке C8 подсчитаем коэффициент корреляции. Для этого существует функция КОРРЕЛ, в окнах панели которой необходимо ввести адреса диапазонов как ряда X, так и ряда Y (рис. 4.3).

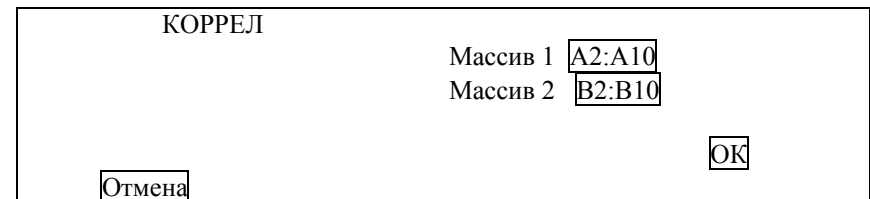


Рис. 4.3. Панель функции КОРРЕЛ

2.6. Угловой коэффициент связи (параметр b) подсчитывается по формуле

$$b = r \cdot \sigma_y / \sigma_x,$$

где r – коэффициент корреляции; σ_y , σ_x – стандартные отклонения соответственно независимой и зависимой переменных.

Параметр a устанавливается по формуле:

$$a = \bar{y} - b\bar{x},$$

где \bar{y} , \bar{x} – средние значения зависимой и независимой переменной.

Тогда параметры b и a , учитывая адреса показателей, установим по формулам:

$$=C8*D6/C6$$

$$=D3-C11*C3$$

Результат представлен на рис. 4.6.

Параметры линейной парной регрессии можно рассчитать и сразу. Для этого в Excel существуют функции НАКЛОН и ОТРЕЗОК. Функция НАКЛОН служит для определения углового коэффициента связи b , а функция ОТРЕЗОК – для определения свободного члена уравнения a . На панели соответствующих функций необходимо ввести адреса диапазонов Y и X (рис. 4.4 и 4.5).

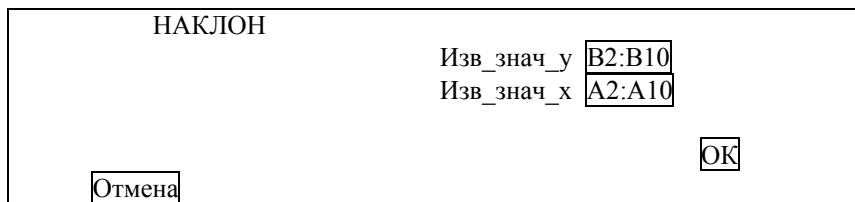


Рис. 4.4. Панель функции НАКЛОН – углового коэффициента связи (параметра b)

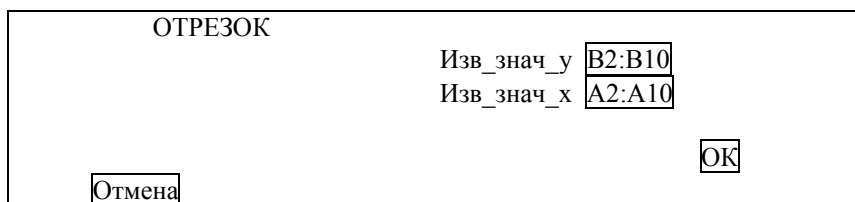


Рис. 4.5. Панель функции ОТРЕЗОК – свободного члена уравнения (параметра a)

Построение точечного графика фактических данных и линии регрессии

2.6. Кроме перечисленных возможностей, существует еще и следующая. Построим график по имеющимся данным. Для чего выделим область данных X и Y в таблице, вызовем «**Мастер диаграмм (шаг 1 из 4)**», выберем тип диаграммы «**Точечная**». После щелчка левой кнопкой по команде «**Далее**» попадаем на панель «**Мастера диаграмм (шаг 2 из 4): источник данных диаграммы**». Так как наши данные расположены в таблице по столбцам, то отмечаем «ряды в столбцах». По команде «**Далее**» переходим на панель «**Мастера диаграмм (шаг 3 из 4): параметры диаграммы**». Здесь на панели «**Заголовки**» можно дать названия диаграммы, осей X и Y , на панели «**Линии сетки**» выбрать основные и промежуточные оси, на панели «**Легенда**» добавить легенду и разместить ее в нужном месте диаграммы. После щелчка левой кнопкой мыши по команде «**Далее**» попадаем на панель «**Мастера диаграмм (шаг 4 из 4): размещение диаграммы**». На этой панели мы можем разместить диаграмму или на этом листе, или на отдельном листе.

Щелкнув правой кнопкой мыши по области построения диаграммы мы увидим команды для входа на рассмотренные панели «**Мастера диаграмм**», с помощью которых можем откорректировать

параметры диаграммы. Кроме того, мы можем войти на панель «**Формат области построения**». С помощью этой панели можно установить вид рамки (обычная, невидимая, другая); тип линии, ее цвет и толщину; вид заливки (обычная, прозрачная) и способ заливки.

Щелкнув дважды левой кнопкой по одной из осей, можно войти на панель «**Формат оси**», на которой можно настроить параметры оси.

На построенной диаграмме выделим график функции, щелкнув по одной из точек графика левой кнопкой мыши. Выделение обозначается светлыми маркерами на функции. Нажав правую кнопку мыши, выведем контекстно-зависимое меню: **Формат рядов данных ... ; Тип диаграммы ... ; Исходные данные ... ; Добавить линию тренда ... ; Очистить**.

Выберем опцию «**Добавить линию тренда**». В панели линии тренда во вкладке «**Тип**» надо выбрать тип функции (по умолчанию выбирается «**Линейная**»).

Во вкладке «**Параметры**» введем название тренда (теоретической кривой) и установим флажки «**показывать уравнение на диаграмме**» и «**поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)**», т. е. коэффициент детерминации.

В результате на диаграмме появится вид теоретической кривой - тренда, ее параметры и коэффициент детерминации (рис. 4.7).

	A	B	C	D
1	X	Y	Среднее значение	
2	2	6	X _{ср}	Y _{ср}
3	4	8	21	15,33333333
4	7	12	Стандартное отклонение	
5	11	7	S _x	S _y
6	16	18	17,3060683	8,5732141
7	26	11	Коэффициент корреляции	
8	31	25	0,88209348	
9	41	21	y=a+bx	
10	51	30	b	a
11			0,436978297	6,156789093

Рис. 4.6. Расчет параметров линейной парной регрессии

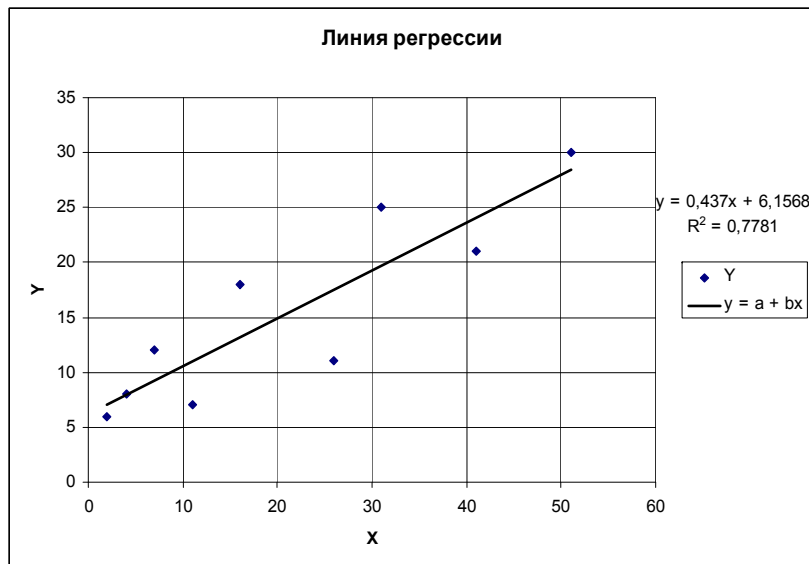


Рис. 4.7. График фактических данных и линии регрессии с уравнением регрессии и коэффициентом детерминации

Установление статистической значимости и общего качества уравнения линейной регрессии в Excel

2.7. Рассчитаем сначала коэффициент детерминации и рассмотрим его понятие. Для этого в столбце F рассчитаем вариацию $(y_i - y_{cp})^2$ – в ячейку F2 впишем формулу $(B2 - \$D\$3)^2$ и скопируем формулу в ячейки F3:F10 (рис. 4.8). В ячейке F11 просуммируем ячейки F2:F10. В столбце G посчитаем вариацию остатков $(y_i - a - bx_i)^2$, в ячейке G11 его сумму, а в столбце H – вариацию регрессии $(a + bx_i - y_{cp})^2$, в ячейке H11 – его сумму.

Обозначим $\sum (y_i - y_{cp})^2$ через *TSS* (total sum of squares) – вся дисперсия; $\sum (y_i - a - bx_i)^2$ – как *ESS* (error sum of squares) – необъясненная дисперсия; $\sum (a + bx_i - y_{cp})^2$ – как *RSS* (regression sum of squares) – объясненная часть всей дисперсии.

Тогда можно записать: $TSS = ESS + RSS$.

Коэффициент детерминации будет равен $R^2 = 1 - ESS/TSS = RSS/TSS$ и представляет собой долю объясненной дисперсии. Он по данной формуле рассчитан в ячейке F16. А в ячейке F17 коэффициент детерминации определен с использованием функции КВ ПИРСОН.

	E	F	G	H
1		$(Y-Y_{cp})^2$	$(Y-a-bx)^2$	$(a+bx-Y_{cp})^2$
2		87,11111	1,0624367	68,93296162
3		53,77778	0,0090817	55,1845593
4		11,11111	7,7526764	37,42620631
5		69,44444	15,709731	19,09500322
6		7,11111	23,537617	4,773750805
7		18,77778	42,487255	4,773750805
8		93,44444	28,056977	19,09500322
9		32,11111	9,44271	76,38001288
10		215,1111	2,4252386	171,855029
11	Сумма	588	130,48372	457,5162771
12		TSS	ESS	RSS
13			S²	
14				
15		R²		
16		0,778089	1-G11/F11	
17		0,778089	КВ ПИРСОН	

Рис 4.8. Определение коэффициента детерминации

2.8.Перейдем к расчету показателей статистической значимости. Проведем предварительные вычисления, показанные на рис. 4.9, которые потребуются для дальнейших вычислений.

	J	K	L	M
1	a+bx	Y-a-bx	(X-X_{cp})²	X²
2	7,030746	-1,030746	361	4
3	7,904702	0,0952977	289	16
4	9,215637	2,7843628	196	49
5	10,96355	-3,96355	100	121
6	13,14844	4,8515582	25	256
7	17,51822	-6,518225	25	676
8	19,70312	5,2968837	100	961
9	24,0729	-3,072899	400	1681
10	28,44268	1,5573178	900	2601
11		Сумма	2396	6365

Рис. 4.9. Предварительные вычисления

На рис 4.10 представлены результаты расчетов показателей статистической значимости. Стандартное отклонение остатков регрессии определено с помощью функции СТАНДОТКЛОН к ряду остатков регрессии, рассчитанной в ячейках K2:K11.

Стандартное отклонение ошибок регрессии определяется по формуле:

$$S = (1/(n - 2) \sum (y_i - a - bx_i)^2)^{0,5}.$$

Для этого в ячейке M14 введена формула $= (1/(9-2)*G11)^{0,5}$. Для расчета стандартного отклонения ошибок регрессии применима также функция СТОШУХ.

Дисперсия параметра b равна:

$$\sigma_b^2 = \frac{S^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}.$$

Для расчета дисперсии параметра b в ячейке M16 введена формула $G11/L11/(9 - 2)$, можно также $-(M14^2)/L11$.

В ячейке M17 рассчитано стандартное отклонение параметра b , как корень квадратный из дисперсии.

	J	K	L	N	O	P
12	Формула=					
13	Станд.отк. остатков регрессии		4,0386217			
14	Станд.отк. ошибок регрессии		4,3174682			
15						
16	Дисперсия параметра b		0,0077799	G11/L11/(9-2)		
17	Стандартное отклонение b		0,0882035	M16^0,5		
18	t-статистика параметра b		4,9542067	C11/M17		
19	Дисперсия параметра a		5,5020861	G11*M11/L11/9/(9-2)		
20	Стандартное отклонение a		2,3456526	M19^0,5		
21	t-статистика параметра a		2,624766	D11/M20		
22	Критическое значение					
23	t-статистики		2,3646243	СТЬЮДРАСПРОБР(0,05;7)		
24						
25	Вероятность b		0,0016484	СТЬЮДРАСП(M18;7;2)		
26			0,9983516	1-СТЬЮДРАСП(M18;7;2)		
27	Вероятность a		0,0341716	СТЬЮДРАСП(M21;7;2)		
28			0,9658284	1-СТЬЮДРАСП(M21;7;2)		
29	F-статистика		24,544164	(9-2)F16/(1-F16)		

30	Критическое значение			
31	F-статистики	5,5914478	FRASПОБР(0,05;1;7)	
32	Значимость F	0,0613495	FRASP(M29;1;7)	
33	Вероятность F	0,9386505	1-M32	

В ячейке M17 рассчитана t-статистика параметра b как отношение величины параметра к его стандартному отклонению: =C11/M17.

В ячейке M19 рассчитана дисперсия параметра a по формуле:

$$\sigma_b^2 = \frac{S^2 \sum x_i^2}{n \sum (x_i - \bar{x})^2}.$$

В ячейках M20 и M21 аналогично рассчитаны стандартное отклонение и *t-статистика* параметра a .

Критическое значение *t-статистики* рассчитано в ячейке M23 с помощью функции СТЬЮДРАСПОБР, в панели которой (рис. 4.11) вводятся значения пороговой значимости (вероятность) 0,05 и степени свободы ($n - m - 1$), где m – количество независимых переменных.

Рис. 4.10. Расчет показателей статистической значимости СТЬЮДРАСПОБР

Вероятность

Степени свободы

ОК Отмена

Рис. 4.11. Упрощенная панель функции обратного распределения Стьюдента

СТЬЮДРАСП

X

Степени свободы

Хвосты

ОК Отмена

Рис. 4.12. Упрощенная панель функции распределения Стьюдента

FRASПОБР

Вероятность

Степени_свободы 1

Степени_свободы 2

ОК Отмена

Рис. 4.13. Упрощенная панель функции обратного распределения Фишера

FRASP	
X	M29
Степени_свободы 1	1
Степени_свободы 2	7
ОК	Отмена

Рис. 4.14. Упрощенная панель функции распределения Фишера

Вероятность распределения *t-статистики* за пределами пороговой значимости можно установить с помощью функции СТЬЮДРАСП, на панели которой в качестве X необходимо установить адрес ячейки с расчетом величины *t-статистики*, степени свободы ($n-m-1$) и учет порогов (хвостов) распределения с двух сторон – 2 (рис. 4.12).

Тогда вероятность распределения *t-статистики* в пределах указанной вероятности (0,95) устанавливается как (1 – СТЬЮДРАСП), что сделано для параметра *b* в ячейке M26, а для параметра *a* – в ячейке M28.

Необходимо отметить, что проверка значимости коэффициента парной линейной регрессии (параметра *b*) эквивалентна проверке значимости коэффициента корреляции.

Показатель *F-статистики* рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \frac{n-m-1}{m},$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

Для расчета *F-статистики* в ячейке M29 введена формула =(9-2)F16/(1-F16). Критическое значение *F-статистики* устанавливается с помощью функции FRASПОБР, в панели которой устанавливается пороговая значимость – 0,05, степени свободы – ($n-m-1$), в нашем примере она равна 7, и *m* равен 1 (рис. 5.13). Вероятность *F-статистики* можно установить с помощью функции FRASP (рис. 4.14).

Установка параметров нелинейной регрессии

Параметры нелинейных регрессий в Excel можно устанавливать несколькими методами.

Во-первых, регрессию можно привести к линейному виду, а затем установить параметры регрессии с помощью функций, перечисленных выше.

Например, степенную функцию можно прологарифмировать, а затем установить параметры.

Основные возможности заложены в опции «**Линия тренда**». В данной опции, кроме линейной функции, предусмотрены возможности установления параметров логарифмической, полиномиальной, степенной, экспоненциальной функций. Чтобы воспользоваться этой опцией, необходимо построить диаграмму, активизировать график функции, правой кнопкой мыши открыть контекстно-зависимое меню и выбрать команду «**Вставить линию тренда**», в меню «**Тип**» выбрать вид функции, в меню «**Параметры**» установить флажки «**показывать уравнение на диаграмме**» и «**поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации R^2** ».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Исследование сопротивления упаковочных материалов продавливанию

Продолжительность - 6- часов

5.1. Цель работы

Овладение методикой и практическими навыками контроля упаковочных материалов и определение их характеристик

5.2. Применяемое оборудование и инструмент

1. Машина для определения сопротивления продавливанию KTS-300
2. Толщиномер микрометрический типа МН-2 с точностью измерений 0,001 мм.
3. Режущий инструмент для вырезания круглых образцов из исследуемого материала.

5.3. Задание и порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы для испытаний на продавливание из картона коробочного, гофрокартона и фольги.
2. Закрепить исследуемый образец на столе реверсора машины KTS-300.
3. Установить и зафиксировать индентор машины KTS-300 в верхней точке.
- 4.
5. Довести индентор машины на расстояние 10-15 мм от поверхности образца при помощи винтового механизма машины KTS-300.
6. Произвести нагружение образца при помощи гидропривода KTS-300 и определить максимальное усилие продавливания образца индентором по манометру.
7. Рассчитать сопротивление исследуемого материала продавливанию и выполнить математическую обработку результатов измерений для каждого предложенного образца.

5.4. Методика выполнения работы

Прочность при продавливании бумаги, картона, фольги, пленочных полимерных материалов — это сопротивление, которое они оказывают постоянно увеличивающемуся давлению, приложенному к поверхности материала под прямым углом.

За показатель прочности при продавливании принимается величина давления в момент разрушения материала. Это свойство имеет важное значение для процессов механического формования и штамповки тары, горячего прессового тиснения и других.

Определение прочности материалов при продавливании принято проводить по методике испытаний бумаги по Мюллеру путем измерения давления, необходимого для продавливания диска, вырезанного из исследуемого материала.

Стандартный метод испытаний полимерных упаковочных материалов по ГОСТ 12.4.118-82 заключается в измерении усилия продавливания наконечника индентора диаметром 2,6 мм при постоянной скорости его движения через закрепленный в зажиме (патроне) диск, вырезанный из материала. При этом происходит выдавливание и вытяжка материала индентором до разрушения. Поэтому за показатель сопротивления продавливанию принято нормальное растягивающее напряжение в момент разрушения материала. Это напряжение определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{прод}} = \frac{P_{\text{разр}}}{S}, \text{ Па} \quad (1)$$

Где $P_{\text{разр}}$ — индентор в момент разрушения материала, Н; S — площадь поперечного сечения индентора, м^2 .

Согласно стандартной методике испытаний полимерных пленочных материалов на продавливание по ГОСТ 12.4.118-82 рекомендуется вырезать из исследуемого материала цилиндрическим штанцевым ножом или другим режущим инструментом 5—10 образцов — дисков диаметром $35,0 \pm 1,0$ мм. Поверхность образцов должна быть ровной без морщин.

Измерение толщины образцов производится в центре дисков, при этом отклонение толщины каждого образца не должно превышать 10% от среднего значения толщины подготовленной к испытаниям группы образцов.

Испытуемый образец помещается на стол и закрепляется в зажимным приспособлением. После этого патрон с индентором

устанавливается в верхней точке. Довести индентор машины на расстояние 10-15 мм от поверхности образца при помощи винтового механизма машины KTS-300. Произвести нагружение образца при помощи гидропривода KTS-300 и определить максимальное усилие продавливания образца индентором по манометру.

На каждом испытуемом образце должен производиться только один прокол.

Измерение максимального усилия прокола выполняется по шкале манометра. За результат испытания принимается среднее значение силы прокола всей группы образцов.



Рис. 1. Машина для определения сопротивления продавливанию KTS-300.

Данные измерений толщины образцов, усилия прокола и результаты определения среднего значения сопротивления продавливанию следует записать в табл. 1.

Таблица 1 Данные измерений и результаты опытов

Опыты	Толщина образца S_i , м	Усилие продавливания $P_{разр\ i}$, Н	Сопротивление продавливанию σ_i , Па	Среднее значение сопротивления продавливанию $\sigma_{прод}$, Па
2				
...				

...				
...				
i				
...				
...				
n				

Испытания на продавливание можно выполнять и с помощью простого прибора, предложенного профессором Кавериним В.А. Прибор, изображенный на рис. 2, представляет собой прямоугольную рамку с четырьмя стойками. В верхней части рамки расположена тарированная пружина, деформация которой при нагрузке-

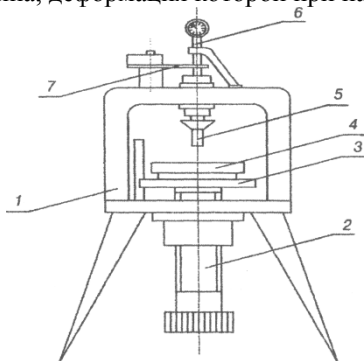


Рис. 2. Прибор для испытаний на продавливание: 1 — рамка; 2 — винт; 3 — пластина; 4 — патрон с образцом; 5 — индентор; 6 — индикатор; 7 — пружина тарированная

В нижней части расположен нагрузочный винт с круглой пластиной на конце. На этой пластине устанавливается патрон с испытываемым образцом. При вращении винта пластина, удерживаемая штифтом от вращения, поднимается вверх, образец входит в контакт с индентором, который передает воздействие на тарированную пружину. Деформация тарированной пружины измеряется индикатором в единицах силы.

Математическая обработка результатов испытаний должна включать определение среднего значения сопротивления продавливанию, среднеквадратическое отклонение, оценку точности для заданных уровня значимости и степени точности, а также интер-

вальную оценку показателя сопротивления исследуемого материала продавливанию.

5.5. Оформление отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать краткое обоснование необходимости проведения испытаний упаковочных материалов на продавливание. Следует представить описание применяемого испытательного оборудования и методики проведения испытаний, данные измерений и результаты математической обработки этих данных. В заключение должны быть сделаны выводы о пригодности исследуемого упаковочного материала для изготовления тары на формовочном, штамповочном и прессовом полиграфическом оборудовании.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается необходимость испытаний полимерных и других упаковочных материалов на сопротивление продавливанию?
2. Какое испытательное оборудование используется при испытаниях полимерных упаковочных материалов на продавливание?
3. Каким показателем характеризуется сопротивление полимерных упаковочных материалов продавливанию?
4. Как влияет сопротивление материала продавливанию на его пригодность для изготовления тары на формующем и штамповочном оборудовании?
5. Как готовятся образцы полимерных упаковочных материалов к испытаниям на продавливание?
6. В какой последовательности и с какими требованиями проводятся испытания на продавливание согласно стандартной методике?
7. Как измеряется и рассчитывается показатель сопротивления упаковочных материалов продавливанию?
8. Как производится измерение толщины образцов для испытаний на продавливание?
9. В чем заключается и как выполняется математическая обработка результатов испытаний на продавливание?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Исследование характеристик гофрокартона

Продолжительность - 8 часов

6.1. Цель работы

Овладение методикой и практическими навыками определения предела прочности при торцевом сжатии, сопротивления плоскостному сжатию до разрушения, прочности при расслаивании для гофрокартона.

6.2. Применяемое оборудование и инструмент

1. Машина для проведения испытаний KTS-500
2. Толщиномер микрометрический типа МН-2 с точностью измерений 0,001 мм.
3. Режущий инструмент для вырезания прямоугольных образцов из исследуемого материала.

6.3. Задание и порядок выполнения работы

6.3.1. Определение предела прочности при торцевом сжатии.

1. Подготовить образцы для испытаний размером 120×40 мм.
2. Установить образец в специальное приспособление, обеспечивающее вертикальную фиксацию.

Схема испытания представлена на рис.6.1

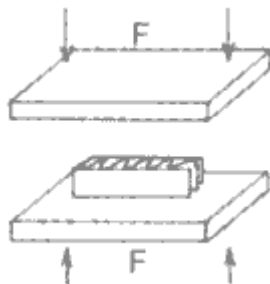


Рис. 6.1. Схема испытания для определения прочности при торцевом сжатии

3. Установить на дисплее прибора выбранные единицы измерения (Н/м^2)
4. Запустить пресс и зафиксировать показания прибора в момент начала разрушения образца.
5. Повторить испытания необходимое количество раз (число необходимых испытаний определяется по методике, изложенной в лабораторной работе №2)
7. Выполнить математическую обработку результатов измерений для каждого предложенного образца. Учитывая расчётную

формулу:

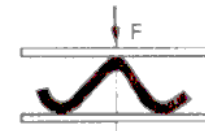
$$q_{сж} = \frac{F}{l}, [\text{Н/м}]$$

где F-разрушающее усилие, Н, l – длина образца, м

6.3.2. Определение сопротивления плоскостному сжатию до разрушения.

1. Подготовить образцы для испытаний размером 120×80 мм.
2. Установить образец на столе прессы в специальном приспособлении.

Схема испытания представлена на рис.6.2



3. Установить на дисплее прибора выбранные единицы измерения (Н/м²)

4. Запустить пресс и зафиксировать показания прибора в момент начала разрушения образца.

5. Повторить испытания необходимое количество раз (число необходимых испытаний определяется по методике, изложенной в лабораторной работе №2)

7. Выполнить математическую обработку результатов измерений для каждого предложенного образца. Учитывая расчётную формулу:

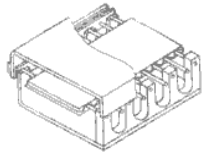
$$\sigma_{сж} = \frac{F}{S}, [\text{Н/см}^2]$$

где F-разрушающее усилие при сжатии, Н; S – площадь образца, см²

6.3.2. Определение прочности при расслаивании гофрокартона.

1. Подготовить образцы для испытаний размером 120×80 мм.
2. Установить образец на столе прессы в специальном приспособлении (гребёнке) Растягивающее усилие передаётся образцу через гребёнки, вставленные в гофры.

Схема испытания представлена на рис.2



3. Установить на дисплее прибора выбранные единицы измерения (Н/м^2)
4. Запустить пресс и зафиксировать показания прибора в момент начала разрушения образца.
5. Повторить испытания необходимое количество раз (число необходимых испытаний определяется по методике, изложенной в лабораторной работе №2)
7. Выполнить математическую обработку результатов измерений для каждого предложенного образца. Учитывая расчётную формулу:

$$\sigma_p = \frac{F}{l}, [\text{кПа}]$$

где F-разрушающее усилие при расслаивании, Н; l – общая длина линий склейки, равная 40 см



Рис. 6.4, Машина для определения сопротивления продавливанию KTS-300.

6.4. Оформление отчета

Отчет о выполнении лабораторной работы должен содержать краткое обоснование необходимости проведения испытаний упаковочных материалов на продавливание. Следует представить описание применяемого испытательного оборудования и методики проведения испытаний, данные измерений и результаты математической обработки этих данных. В заключение должны быть сделаны выводы о пригодности исследуемого упаковочного материала для изготовления тары на формовочном, штамповочном и прессовом полиграфическом оборудовании. Полученные данные занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 Данные измерений и результаты опытов

Опыты	Толщина образца S_i , м	Усилие продавливания $P_{разр\ i}$, Н	Сопротивление продавливанию σ_i , Па	Среднее значение сопротивления продавливанию $\sigma_{прод}$, Па
2				
...				
...				
i				
...				
n				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается необходимость испытаний гофрокартона на предел прочности при торцевом сжатии, сопротивление плоскостному сжатию до разрушения, прочность при расслаивании?

2. Какое испытательное оборудование используется при испытаниях на предел прочности при торцевом сжатии, сопротивление плоскостному сжатию до разрушения, прочность при расслаивании?

3. Какими показателем характеризуются предел прочности при торцевом сжатии, сопротивление плоскостному сжатию до разрушения, прочность при расслаивании?

4. Как влияют предел прочности при торцевом сжатии, сопротивление плоскостному сжатию до разрушения, прочность при расслаивании на его пригодность для изготовления тары?

5. Как измеряются и рассчитываются показатели предела прочности при торцевом сжатии, сопротивления плоскостному сжатию до разрушения, прочность при расслаивании?

6. В чем заключается и как выполняется математическая обработка результатов испытаний на продавливание?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Исследование прочности и жесткости полимерных упаковочных материалов на растяжение

Продолжительность работы – 6 часов

7.1. Цель работы

Овладение методикой и практическими навыками определения пригодности полимерных упаковочных материалов для применения на упаковочном и полиграфическом оборудовании.

7.2. Применяемое оборудование и инструменты

1. Разрывная машина типа РМ-30-1, оборудованная специальными широкими зажимами для пленочных образцов.
2. Микрометр настольный стрелочный типа МН-2 с ценой деления 0,01 мм.
3. Приспособление с динамометром для исследования релаксации напряжений полимерного упаковочного материала.
4. Режущий инструмент для вырезания образцов.
5. Прибор-релаксометр.

7.3. Задание и порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы материала для испытаний на растяжение и релаксацию напряжений.
2. Произвести нагружение образцов на разрывной машине и выполнить измерения растягивающей нагрузки и деформации образцов.
3. Построить диаграмму растяжения исследуемого материала «Нагрузка-деформация».
4. По результатам измерений определить показатели прочности и жесткости материала с оценкой точности и достоверности результатов измерений.
5. Выполнить исследование релаксации напряжений материала.

7.4. Методика выполнения работы

Прочность материалов на растяжение характеризуется пределом прочности σ_b — максимальным напряжением, которое материал выдерживает без разрушения (разрыва).

$$\sigma_b = \frac{P_{\max}}{F}, \quad (7.1)$$

где P_{\max} — максимальная растягивающая нагрузка до появления ползучести (текучести) материала, Н; F — площадь поперечного сечения образца до деформации, м².

В пределах малых (упругих) деформаций для большинства материалов справедлив закон Гука, согласно которому в зоне упругих деформаций напряжения прямо пропорциональны деформациям:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (7.2)$$

где E -модуль упругости материала, Па; ε - относительная деформация образца

Модуль упругости при растяжении — модуль упругости первого рода (модуль Юнга), является физической константой материала, характеризующей его жесткость и способность к вытяжке, и имеет размерность напряжения.

Относительное удлинение материала при растяжении определяется как отношение абсолютной деформации Δl к начальной длине деформируемого образца l :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}. \quad (7.3)$$

Абсолютная деформация в пределах действия закона Гука очевидно равна:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF}. \quad (7.4)$$

При удлинении образца в продольном направлении одновременно происходит сужение его в поперечном направлении. Отношение поперечной деформации к продольной называется коэффициентом Пуассона:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\text{попер}}}{\varepsilon_{\text{прод}}}. \quad (7.5)$$

Коэффициент Пуассона μ также характеризует упругие свойства материалов. Для всех металлов он находится в пределах 0,25 — 0,35. Для растяжимых полимерных пленок $\mu = 0,5$.

Определение величины показателей прочности и жесткости материалов осуществляется путем испытания образцов на разрывных машинах, применяемых в лабораториях сопротивления материалов.

Согласно ГОСТ 14236-81 для испытаний на прочность и жесткость следует вырезать из исследуемого материала отдельно в продольном и поперечном направлениях 50—100 образцов шириной $15,0 \pm 0,1$ мм длиной $300 \pm 1,0$ мм. Закрепить в зажимах разрывной машины одновременно (стопкой) 5-10 образцов при расстоянии между зажимами $l = 200,0 \pm 1,0$ мм и произвести нагружение растягивающей нагрузкой со скоростью $250,0 \pm 10,0$ мм/мин. Суммарную толщину

образцов измерить микрометром.

Произвести измерения растягивающей нагрузки и соответствующие ей деформации образцов Δl через небольшие интервалы до момента текучести и разрушения материала образцов.

Испытания рекомендуется проводить при температуре окружающей среды $23,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50,0 \pm 5,0\%$. Данные измерений необходимо записать в таблицу 6.1.

Данные измерений и результаты испытаний

(материал)
направление

(продольное, поперечное)

Таблица 7.1

Измерения	Суммарная толщина образцов S, мм	Длина образцов L, мм	Ширина многолойдного образца, мм	Растягивающая нагрузка P, Н	Абсолютная деформация Δl , мм	Относительная деформация,	Напряжение растяжения, σ , Па	Модуль Упругости, E, Па
1								
2								
...								
...								
...								

Примечание: при обрыве 1...2 полосок в зажимах машины на расстоянии менее 5 мм от зажима их следует исключить из результатов измерений.

По данным измерений строится диаграмма растяжений исследуемого материала «Нагрузка-деформация», посредством которой определяются показатели прочности и жесткости материала.

Типичные диаграммы «нагрузка-деформация» для пластичных металлов, пластмасс, а также для хрупких материалов представлены на рис. 6.1.

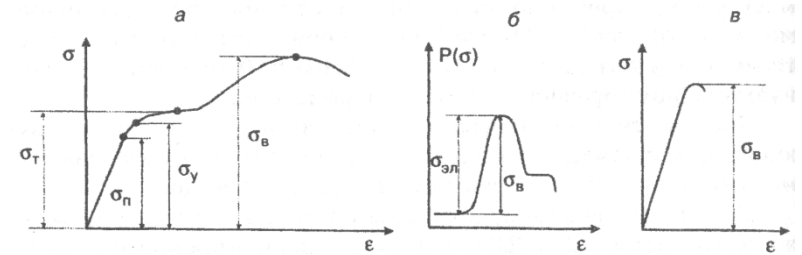


Рис. 7.1. Типичные диаграммы растяжения: а) металлов; б) пластмасс; в) хрупких материалов

Характерные точки диаграммы пластичных металлов представлены на рисунке 1а. Наибольшее напряжение, до которого материал подчиняется закону Гука, называется пределом пропорциональности — $\sigma_{\text{п}}$. Упругие свойства материала сохраняются до напряжения, называемого пределом упругости σ_{y} . Предел упругости — это такое наибольшее напряжение, до которого материал не получает остаточных деформаций $\sigma_{\text{п}}$ и σ_{y} очень трудно поддаются точному измерению, поэтому эти показатели в справочные данные по свойствам материалов обычно не включаются.

Более определенной характеристикой является предел текучести σ_{T} — это напряжение, при котором начинается рост деформации без заметного увеличения нагрузки. Предел текучести легко поддается определению и является одной из основных характеристик материалов.

Максимальное напряжение, которое способен выдержать образец без разрушения, называется временным сопротивлением или пределом прочности σ_{B} . Типичная диаграмма растяжения вяз-коупрутих полимерных материалов изображена на рисунке 1 б. На этой диаграмме имеет место линейная зависимость между нагрузкой (напряжением) и деформацией растяжения. Однако, коэффициент пропорциональности (модуль упругости) в отличие от металлов, не является постоянной величиной, а зависит от времени и температуры:

$$\sigma = E(t, T)\epsilon \quad (6)$$

Модуль упругости $E(t, T)$ у одних и тех же полимерных материалов может принимать значения от 10^3 мПа до нуля в зависимости от скорости прилагаемой нагрузки и температуры. Поэтому стандартом на проведение испытаний строго регламентированы скорость деформации и температура окружающей среды.

Характерно, что начиная с определенного уровня напряжения, называемого пределом эластичности (вынужденной) $\sigma_{\text{эл}}$, дальнейшее незначительное увеличение напряжения вызывает непропор-

циональный рост деформации. Это явление называется ползучестью материала. Чем выше температура, тем быстрее нарастает деформация ползучести. Дальнейшим развитием и проявлением ползучести является релаксация напряжений — самопроизвольное изменение во времени напряжений при неизменной деформации. Ползучесть и релаксация объясняются сочетанием упругих и вязких свойств полимерных материалов.

Предел вынужденной эластичности полимерного материала определяет и его предел прочности σ_b .

Пластичность материалов — способность материалов получать большие остаточные деформации без разрушения измеряется удлинением δ при разрыве. Чем больше этот показатель, тем более пластичным является материал. Хрупкие материалы в отличие от пластичных разрушаются без образования заметных остаточных деформаций (рис. 1в). Для хрупких материалов величина удлинения при разрыве δ не превышает 2-5%, а у многих хрупких материалов составляет доли процента.

Для полимерных упаковочных материалов, применяемых в полиграфическом и упаковочном оборудовании, при значительных скоростях обработки и повышенных температурах весьма важным оказываются исследования показателей ползучести и релаксации напряжений. Созданы и применяются достаточно простые приборы, различающиеся лишь по способу поддержания постоянной деформации испытуемого образца. Это может быть непрерывное регулирование силы по мере релаксации напряжения в образце, приложение большей, чем нужно, силы с ограничителем деформации. Измерения в этом приборе производятся через определенные интервалы времени с тщательной балансировкой силы так, чтобы величина деформации не превышала предельной. И, наконец, деформирование жесткой пружины, соединенной последовательно с образцом.

Устройство для исследования релаксации напряжений полимерных образцов схематично изображено на рисунке 6.2.

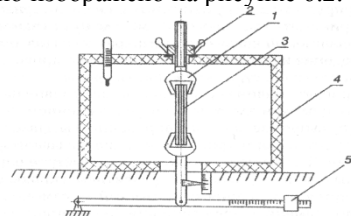


Рис.7.2. Схема релаксометра напряжений пленочных полимерных материалов:

1 — зажим; 2 — шайба регулировочная; 3 — образец; 4 — термокамера; 5 — нагрузочное приспособление

При нагружении образца постоянной нагрузкой и измеряя его деформацию при некоторой фиксированной температуре через интервалы времени можно построить так называемые диаграммы последствия — зависимость деформации от времени при различных значениях напряжения и температуры. При повышенной температуре нарастание деформации происходит значительно быстрее. Для примера эта диаграмма или кривая ползучести изображена на рисунке 3. При нагружении образец получает мгновенную деформацию, очень быстро возрастающую от нуля до некоторой величины (отрезок ОА). В дальнейшем при постоянной нагрузке полная деформация возрастает по линии АВСД.

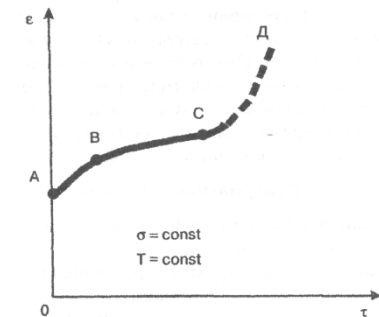


Рис. 7.3. Кривая ползучести полимерного материала

Процесс ползучести и релаксации состоит из трех периодов:

- первый (переходный) период ползучести (участок АВ) характеризуется убыванием скорости деформации;
- второй период (квазивязкого течения) — участок ВС представляет процесс ползучести, протекающий во времени с практически постоянной скоростью, которая зависит от напряжения и температуры;
- третий период — разрушение, которое может быть хрупким (в точке С), либо вязким, характеризующимся ускоренным нарастанием ползучести (участок СД).

Результаты исследований релаксации можно использовать при установлении оптимальных технологических режимов работы упаковочного, в частности термоформовочного, термоусадочного и полиграфического оборудования. На основании этих результатов определяется пригодность полимерных материалов для применения в упаковке и в упаковочном оборудовании.

7.5. Оформление отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать обоснование необходимости испытаний полимерных упаковочных

материалов. Должно быть дано описание экспериментальной установки для испытаний на растяжение и методики испытаний, представлены результаты измерений, их математическая обработка и построение диаграммы растяжения — «Нагрузка-деформация», объяснение влияния измеренных показателей прочности и жесткости на степень пригодности материала в упаковочном и полиграфическом оборудовании. Следует представить описание явления ползучести и релаксации напряжений, описание прибора, методики и результатов исследований релаксационных процессов, значение этих результатов для установления оптимальных технологических режимов работы упаковочной техники.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем вызвана необходимость входного контроля и испытаний полимерных упаковочных материалов?
2. Какими показателями характеризуется прочность полимерных упаковочных материалов при растяжении?
3. Какими показателями характеризуется жесткость и упругость полимерных упаковочных материалов при растяжении?
4. Как производится отбор и подготовка образцов упаковочного полимерного материала для испытания на растяжение?
5. Каковы режимы стандартных испытаний полимерных упаковочных материалов на растяжение?
6. Как строится диаграмма растяжения — зависимость «Нагрузка-деформация» ?
7. Каковы различия типичных диаграмм растяжения пластичных металлов, пластмасс и хрупких материалов?
8. Как влияет вязкая составляющая свойств полимерных материалов на характер зависимости деформаций от нагрузки?
9. Как влияет температура и время на показатели прочности и жесткости полимерных упаковочных материалов?
10. Как определяется предел вынужденной эластичности и предел прочности полимерных упаковочных материалов?
11. С какой целью и как проводятся испытания полимерных упаковочных материалов на ползучесть и релаксацию напряжений?
12. Как протекает процесс ползучести и релаксации и какими кривыми он может быть представлен?
13. Как практически могут быть использованы результаты испытаний полимерных упаковочных материалов на ползучесть и релаксацию?

**Исследование прочности полимерных
упаковочных материалов на раздир.**

Продолжительность работы – 6 часов

8.1 Цель работы

Овладение методикой и практическими навыками исследований и входного контроля свойств упаковочных материалов, определение пригодности полимерных упаковочных материалов для изготовления тары и упаковки.

8.2. Применяемое оборудование и инструмент

1. Разрывная машина типа РМ-30-1 или универсальное приспособление с фиксацией измеряемой нагрузки.
2. Приспособление для вырезания образцов типа А.
3. Штамп для штамповки образцов типа Б.
4. Микрометр толщиномер тип МН-2 с точностью измерений до 0,001 мм.
5. Режущий инструмент (нож, скальпель) для вырезания образцов и выполнения надрезов.
6. Лупа с 8* увеличением.

8.3. Задание и порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы соответствующего типа для исследуемого материала.
2. Закрепить исследуемый образец в зажимах испытательного устройства, произвести нагружение и выполнить измерения усилия раздира.
3. Построить диаграмму «Нагрузка-деформация».
4. По результатам измерений и построения диаграммы «Нагрузка-деформация» определить прочность исследуемого материала на раздир.
5. Выполнить оценку точности и достоверности полученного результата исследования.
6. Дать заключение о пригодности исследуемого материала для изготовления мешков, пакетов, оберточной и термоусадочной упаковки.

8.4. Методика выполнения работы

Прочность на раздир — показатель, имеющий важное значение с точки зрения определения пригодности упаковочных материалов для изготовления такой транспортной тары, как мешки, термоусадочной, оберточной и других видов тары и упаковки, у которых требуется, чтобы раздир не распространялся даже от небольших надрывов и проколов, возникающих при транспортировке.

Прочность на раздир при испытаниях бумаги принято определять по Эльмендорфу. По этому методу измеряется энергия, затрачиваемая на распространение раздира через определенную длину пленки. Этот показатель, измеряемый при помощи маятникового копра, является в значительной степени условным, т.к. не сопоставим с показателями воздействий на упаковку при транспортировке.

Стандартный метод испытаний полимерных пленок на раздир (ГОСТ 26128-84) предусматривает измерение максимального усилия раздира на разрывной машине при достаточно медленных скоростях раздира. Сопротивление материала раздиру при этом характеризуется максимальной удельной нагрузкой раздира и определяется по формуле:

$$\delta_{\text{разд}} = \frac{P_{\text{max}}}{S}, \text{ Н/мм} \quad (1)$$

где P_{max} — максимальное усилие раздира образца материала, Н; S — среднее значение толщины материала, мм.

Для проведения испытаний на раздир следует вырезать из исследуемого материала по 5-10 образцов в продольном и поперечном направлениях типа А для гибких пленок, относительное удлинение которых при разрыве более 100% (рис. 1а) и типа Б для других полимерных пленок (рис. 1б).

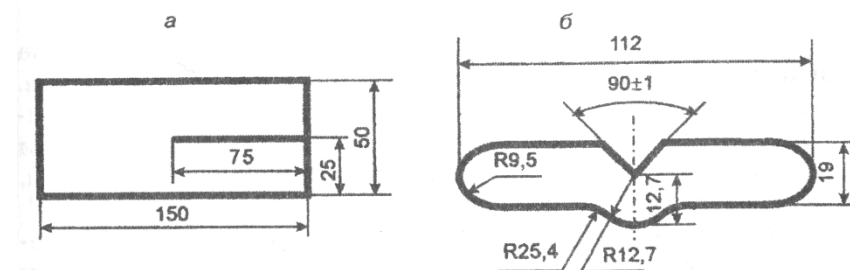


Рис. 8.1. Образцы для испытаний на раздир: а-тип А; б-тип Б

Примечание: ГОСТ 26128-84 не распространяется на армированные пленки или пленки, имеющие неровную поверхность.

Образцы должны быть вырезаны и надрезаны с ровными и гладкими краями без зазубрин и других дефектов. Для проверки качества кромок надреза рекомендуется использовать лупу.

При необходимости производится кондиционирование образцов при температуре $23,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50,0 \pm 5,0\%$.

Подготовленный к испытаниям образец типа А после измерения

толщины в 3-х равностоящих точках между вершиной надреза и концом зоны испытаний закрепляется в зажимах разрывной машины при расстоянии между зажимами 75 мм, как показано на рис.8.2.

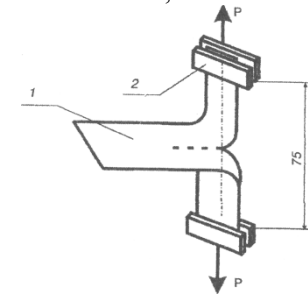


Рис.8.2. Схема закрепления и нагружения образца типа А: 1— образец; 2— зажим

Линия надреза образца должна совпадать с осью зажимов. Зона испытаний образца составляет не менее 50 мм от вершины надреза.

Измерение толщины образцов типа Б производится в одной точке зоны концентрации напряжений. Расстояние между зажимами при закреплении образца этого типа должно быть равным 50 мм, линия раздира перпендикулярна оси зажимов.

Нагружение испытуемых образцов типа А и Б растягивающей нагрузкой производится со скоростью соответственно 200 ± 20 мм/мин и $50 \pm 5,0$ мм/мин. В первом случае измерения усилия раздира выполняются через каждые 5 мм по линии раздира в зоне испытаний или 10 мм перемещения подвижного зажима. При испытании образцов типа Б измеряется усилие полного разрыва.

В протокол испытаний рекомендуется записать следующие данные: наименование и принятое обозначение исследуемого материала; число образцов, вырезанных в продольном и поперечном направлениях рулонного материала; условия кондиционирования образцов или температуру и влажность окружающей среды; данные измерений толщины образцов, усилий раздира; результаты оценки точности и достоверности показателей испытаний.

Результаты испытаний образцов, раздир которых произошел не по линии надреза, не учитываются и испытания повторяются на новых образцах. Если и при повторных испытаниях раздир происходит не по линии раздира, то испытания заканчиваются и в протоколе испытаний делается отметка о направлении раздира. Данные измерений и результаты расчета сопротивления материала раздиру записываются в табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Результаты испытаний материала _____ на раздир,
направление _____ (продольное, поперечное)**

Опыты	Среднее значение толщины образца S , мм	Максимальное усилие раздира P_{max} , Н	Сопротивление раздиру $\sigma_{разд.}$ Н/м
1			
2			
...			
...			
...			
...			
...			
...			
...			
...			
n			

Для построения диаграммы «Нагрузка-деформация раздира» данные измерений деформаций Δl_{ij} и соответствующих этим деформациям усилий раздира P_{ij} удобно записать в табл. 2,

Таблица 8.2 Данные измерений деформации и нагрузки раздира

Δl_i	Δl_{ij}						ΔP_{ij}					
	Δl_{i1}	Δl_{i2}	Δl_{im}	Δl_{icp}	P_{i1}	P_{i2}	P_{im}	P_{icp}
Δl_1												
Δl_2												
...												
Δl_i												
...												
...												
Δl_n												

Здесь Δl_{ij} — величина деформации в i -той точке по линии надреза в зоне испытания при j -той повторности испытания, $i = 1, 2, \dots, m$; P_{ij} — усилие, вызывающее деформацию в i -той точке при j -той повторности испытания.

При определении средней максимальной нагрузки раздира по диаграмме «Нагрузка-деформация раздира» стандартом рекомендуется не учитывать данные измерений нагрузки на первых 20 мм и последних 5 мм зоны испытания образца. Определяется средняя величина усилия волнообразной линией, как показано на рис. 3а. В этом случае для определения средней максимальной нагрузки через эту кривую проводится прямая линия, равноотстоящая от вершин волнообразной кривой. Эта линия и определяет приблизительно среднее значение $P_{\text{тяг}}$.

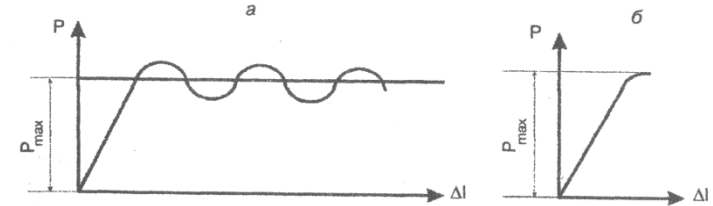


Рис. 8.3. Образцы диаграмм «Нагрузка-деформация раздира»

Полимерные материалы, представленные на испытании образцами типа Б, имеют наиболее вероятную диаграмму «Нагрузка-деформация раздира», изображенную на рис. 3б. Максимальное усилие раздира в этом случае определяется как показано на данном рисунке.

Полученные результаты испытаний практически могут использоваться при выборе соответствующей тары из полимерных материалов или ее расчетах на прочность с учетом действующих нагрузок.

8.5. Оформление отчета

В отчете о выполненной работе следует представить краткое обоснование целесообразности проведения входного контроля и испытания полимерных упаковочных материалов на раздир.

Необходимо изложить основные положения стандартной методики испытаний на раздир, краткое описание применяемого испытательного оборудования и приборов. Следует описать подготовку образцов к испытаниям и особенности процесса испытаний.

В отчете должны быть приведены данные протокола испытаний, таблицы данных измерений, построенные графические зависимости и результаты расчета показателей прочности на раздир с математической оценкой их точности и достоверности.

В завершение отчета необходимо дать заключение о возможности практического использования полученных результатов в упаковочном и полиграфическом производстве.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем обусловлена необходимость исследования сопротивления полимерных упаковочных материалов раздиру?
2. Каким показателем характеризуется сопротивление полимерного упаковочного материала раздиру?
3. Какое влияние оказывают показатели сопротивления упаковочных материалов раздиру на качество и надежность оберточной упаковки?
4. Какое влияние оказывает сопротивление полимерного упаковочного материала раздиру на качество и надежность термоусадочной упаковки?
5. Как готовятся к испытаниям на раздир образцы различных полимерных упаковочных материалов?
6. В каких случаях и с какой целью проводится кондиционирование образцов для испытаний на раздир?
7. Какие параметры внешней среды должны обеспечиваться при кондиционировании или испытаниях на раздир?
8. Как закрепляются образцы двух типов в зажимах испытательной установки?
9. Как производится измерение толщины образцов двух типов?
10. С какой скоростью должно производиться нагружение образцов при испытаниях на раздир?
11. В какой последовательности должно выполняться измерение деформации и усилия раздира?
12. Какие данные должны содержаться в протоколе стандартных испытаний на раздир?
13. Какие измерения должны производиться для построения диаграммы «Нагрузка-деформация раздира»?
14. Как определяется максимальная нагрузка раздира по диаграмме «Нагрузка-деформация раздира»?

Определение коэффициента трения упаковочных материалов

Продолжительность работы – 4 ч

9.1. Цель работы

Овладение методами входного контроля материалов, оценка пригодности упаковочного материала для применения в упаковочных и полиграфических машинах, определение коэффициента трения полимерных упаковочных материалов по различным поверхностям.

9.2. Применяемое оборудование, инструмент и материалы

1. Испытательная установка в виде наклонной плоскости с изменяемым углом наклона.
2. Нагрузочный брусок металлический.
3. Измеритель угла наклона наклонной плоскости.
4. Исследуемый полимерный упаковочный материал.
5. Материалы контактной поверхности.
6. Режущий инструмент для вырезания образцов из исследуемого материала.

9.3. Задание и порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы исследуемого упаковочного материала для закрепления на нагрузочном бруске.
2. Подготовить образцы материала для закрепления на наклонной плоскости.
3. Зафиксировать исследуемые образцы на наклонной плоскости и нагрузочном бруске,
4. Выполнить измерения угла наклона наклонной плоскости в моменты начала движения нагрузочного бруска при измерении статического коэффициента трения.
5. Выполнить измерения угла наклона наклонной плоскости в моменты остановки движения нагрузочного бруска при измерении динамического коэффициента трения.
6. Повторить эксперименты с другими контактными материалами.
7. Определить значения коэффициента трения и выполнить математическую обработку результатов измерений.

9.4. Методика выполнения работы

В технике принято различать следующие виды трения:

- трение скольжения — проявляется при скольжении тела по некоторой поверхности;
- трение качения — имеет место, когда тело катится по поверхности;

— трение покоя — проявляется в том случае, когда тело, находящееся в неподвижном состоянии, приводится в движение. Этот вид трения характеризуется статическим коэффициентом трения;

— трение движения — проявляется во время движения тела по некоторой поверхности. Это трение характеризуется динамическим коэффициентом трения, который всегда меньше статического.

Коэффициент трения скольжения определяет усилие, которое требуется для скольжения поверхности одного материала по некоторой другой поверхности. Так пленка полимерного упаковочного материала, которая легко скользит по другим поверхностям, имеет низкий коэффициент трения. Высокий коэффициент трения (0,35 — 0,5) не позволяет материалу легко скользить по формующей трубе автомата и не дает ему развивать оптимальную скорость.

Слишком низкий коэффициент трения, то есть слишком высокое скольжение, приводит к другим неудобствам — пленка оказывается слишком скользкой. Практика эксплуатации фасовочно-упаковочных автоматов показала, что оптимальным для их нормальной работы является коэффициент трения скольжения полимерных упаковочных материалов равный примерно 0,25.

Самым простым методом измерения коэффициента трения является использование наклонной плоскости (рис. 9.1).

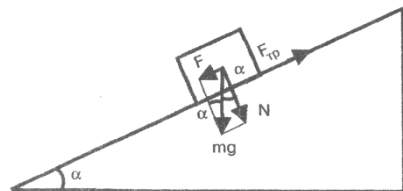


Рис 9.1. Движение тела по наклонной плоскости

Движению тела по наклонной плоскости под действием составляющей F силы тяжести mg препятствует сила трения F^{\wedge} , появляющаяся от действия второй составляющей силы тяжести N — нормального давления. Эти силы зависят от угла наклона плоскости и величины силы тяжести:

$$\begin{aligned} F &= mg \times \sin \alpha, \\ N &= mg \times \cos \alpha, \\ F_{\text{тр}} &= f \times N' \end{aligned} \quad (1)$$

где f — коэффициент трения скольжения материала тела по данной поверхности.

Тело начнет движение по наклонной плоскости при угле наклона

а, при котором сила F достигнет величины $F_{тр}$. То есть в этот момент сила трения:

$$F_{тр} = F = mg \times \sin \alpha.$$

Следовательно, коэффициент трения скольжения:

$$f = \frac{F_{мп}}{N} = \frac{mg \times \sin \alpha}{mg \times \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

Коэффициент трения равен тангенсу угла наклона плоскости и зависит от материала и состояния поверхности.

Существуют и другие методы измерения коэффициента трения.

Для определения коэффициента трения скольжения конструкционных пластмасс по стальной плоскости по ГОСТ 11629-75 используется испытательная машина 2101ТП с вращающимся в вертикальной плоскости стальным диском (контртелом), к которому прижимаются 2 — 3 испытуемых образца с удельной нагрузкой 0,3 МПа при скорости скольжения образцов относительно диска $0,3 \pm 0,05$ м/сек.

В процессе испытания измеряют силу (момент) трения. Нагрузку на образцы (нормальное давление) измеряют по величине прижимных

грузов. Коэффициент трения вычисляется по формуле: $f = \frac{F_{cp}}{P}$

где F_{cp} — среднее значение сил трения для всех испытанных образцов с учетом потерь на трение в самой машине, Н; P — нагрузка, прижимающая испытуемые образцы к контртелу (диску), Н.

Согласно международному стандарту ASTM 1894-63 для измерения коэффициента трения полимерной пленки рекомендуется использовать стол или наклонную плоскость. В качестве подвижного груза применяется металлический брусок массой 200 г, покрытый вспененной резиной толщиной 3 мм. Этот груз обматывается испытуемой полимерной пленкой и помещается на стол или наклонную плоскость, предварительно покрытые материалом, по которому определяется коэффициент трения. Стол или груз приводится в движение с постоянной скоростью 150 мм/мин. Горизонтальная сила, действующая на груз, измеряется пружинным динамометром. В момент начала движения измеряется показание динамометра F_c , соответствующее статическому коэффициенту трения:

$$f = \frac{F_c}{mg},$$

где m — масса подвижного груза, кг.

Методика измерения коэффициента трения скольжения статического и динамического по ГОСТ 10354-82 рекомендует использовать

испытательную установку в виде наклонной плоскости, изображенную на рис. 9.2.

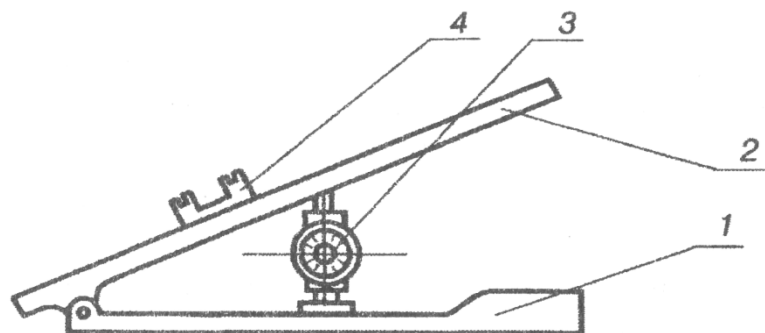


Рис. 9.2. Испытательная установка с наклонной плоскостью:

1 — плита установочная; 2 — плита наклонная; 3 — механизм подъемный со шкалой угла поворота плиты; 4 — нагрузочный брусок

Для измерений необходимо подготовить по 3 — 5 образцов размерами 100×320 мм и 60×120 мм так, чтобы длина образцов совпадала с продольным направлением материала. При определении коэффициента трения упаковочного полимерного материала по этому же материалу подготовленный образец размером 100×320 мм помещается вдоль наклонной плоскости, нижний край образца изгибается к нижней кромке плиты и фиксируется зажимами. На нагрузочном бруске двумя зажимами закрепляется образец размером 60×120 мм.

Для измерения коэффициента трения полимерной пленки по другим материалам образцы размером 100×320 мм готовятся из этих материалов. Определение коэффициента трения по стали можно выполнить непосредственно на предварительно тщательно очищенной поверхности наклонной плиты. Испытания рекомендуется проводить при температуре $23,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $50,0 \pm 5,0\%$. При отклонениях, более значительных от указанных выше перед испытаниями следует проводить кондиционирование образцов.

Перед проведением испытаний плита прибора устанавливается в горизонтальное положение по уровню, шкала угла поворота на отметку «0». На плиту помещается нагрузочный брусок, обернутый исследуемой пленкой, и медленным вращением диска плита приводится в наклонное положение. В момент начала движения бруска по наклонной плоскости по шкале фиксируется угол наклона плиты, соответствующий статическому коэффициенту трения:

$$f_{\text{СТ}} = \text{tg}\alpha.$$

За окончательный результат принимается среднее арифметическое значение полученных измерений.

Динамический коэффициент трения определяется по углу наклона плоскости, зафиксированному в момент остановки нагрузочного бруска, движущегося по наклонной плоскости, при уменьшении угла ее наклона. Данные измерений следует записать в табл. 1.

Таблица 9.1

Данные измерений коэффициента трения упаковочного материала _____ по поверхности _____ (наименование, марка) _____ (наименование)

Опы ты	Статический коэффициент трения			Динамический коэффициент трения		
	$\angle \alpha, ^\circ$	$f_{CT} = tg\alpha$	\bar{f}_{CT}	$\angle \alpha, ^\circ$	$f_D = tg\alpha$	\bar{f}_D
1						
2						
...						
...						
i						
...						
n						

Статистическая обработка данных измерений должна включать наряду с определением средних значений коэффициентов трения по каждой серии опытов также и нахождение среднего квадратического отклонения, интервальную оценку полученных результатов для заданной степени точности и уровня значимости исследуемых показателей.

9.5. Оформление отчета

Отчет о выполненной лабораторной работе оформляется согласно требованиям к отчету о научно-исследовательской работе и должен содержать обоснование необходимости выполнения исследований, основные положения теории и методы определения коэффициента трения. Описание используемой в работе испытательной установки, выполняемых подготовительных и исследовательских операций. Должны быть представлены таблица данных измерений и расчетов, статистическая обработка полученных результатов.

В заключении целесообразно сделать вывод о пригодности исследуемого материала для применения в упаковочных и полиграфических машинах.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое влияние оказывает коэффициент трения упаковочных материалов на качественную работу упаковочного и полиграфического оборудования?
2. Какие виды трения проявляются в технике?
3. Какой физический смысл имеет коэффициент трения?
4. Как теоретически определяется коэффициент трения?
5. Какие методы могут применяться для экспериментального определения коэффициента трения материалов и как по этим методам производятся измерения коэффициентов трения?
6. Какое испытательное оборудование может применяться для экспериментального определения коэффициентов трения материалов?
7. Какая методика определения коэффициента трения использовалась при выполнении лабораторной работы?
8. Как устроена и работает испытательная установка, использованная в лабораторной работе?
9. Как выполняется подготовка к проведению опытов по определению коэффициента трения?
10. Как проводятся опыты по определению статического и динамического коэффициентов трения?
11. Как обрабатываются данные измерений для получения значений коэффициентов трения?
12. В чем заключается и как выполняется статистическая обработка результатов измерения коэффициента трения?

Исследование барьерных свойств полимерных упаковочных материалов

Продолжительность работы – 8 часов

10.1. Цель работы

Овладение методикой и практическими навыками исследований и входного контроля упаковочных материалов, определение показателей паропроницаемости полимерных упаковочных материалов.

10.2. Применяемое оборудование, инструмент, материалы и реактивы

1. Приспособление для исследования паропроницаемости.
2. Прецизионные лабораторные весы (разрешение 0,1 мг).
3. Эксикатор стандартный по ГОСТ 25336.
4. Бюретка вместимостью 25 см³.
5. Инструмент режущий для вырезания образцов пленки.
6. Шаблон для вырезания образцов пленки.
7. Вода дистиллированная.
8. Раствор серной кислоты с массовой долей 55,0±1,0 %.

10.3. Задание и порядок выполнения работы

1. Вырезать образцы для исследований из испытуемого упаковочного материала.
2. Подготовить к испытанию приспособление с залитой в его емкость дистиллированной водой и закрепленным образцом.
3. Произвести взвешивание на лабораторных весах подготовленного к испытаниям приспособления и записать результат взвешивания в таблицу.
4. Поместить приспособление в эксикатор с раствором серной кислоты на $t_{\text{исп}}$ часов.
5. По окончании выдержки в эксикаторе произвести взвешивание приспособления и записать результат взвешивания в таблицу.
6. Выполнить статистическую обработку результатов измерения паропроницаемости исследуемого материала.

10.4. Методика выполнения работы

Барьерные свойства упаковочных материалов имеют исключительно важное значение при выборе наиболее подходящей упаковки для пищевых продуктов, фармацевтических, косметических и многих других товаров. Показателем барьерных свойств упаковочных материалов является проницаемость газов и паров через упаковочный материал.

Проницаемость — это процесс переноса веществ через твердое тело. Движущей силой этого процесса является разность давлений или

концентраций подобно разности температур в процессе теплопередачи.

Различаются два основных вида проницаемости:

— диффузионная, обусловленная беспорядочным движением молекул;

— капиллярная — проницаемость через поры и трещины.

В полимерных пленочных материалах проницаемость газов и паров обычно обусловлена диффузионными процессами, описываемыми первым законом Фика, согласно которому количество газов или паров dM , проходящих за время dt через элементарную поверхность пленки dF прямо пропорционально градиенту концентрации dc/dS в направлении толщины пленки S :

$$dM = -D \cdot dF \frac{dc}{dS} dt,$$

где D — коэффициент диффузии.

Коэффициент диффузии представляет собой константу, характеризующую способность данного вещества проникать в процессе диффузии в определенную неподвижную среду.

Коэффициент диффузии показывает какое количество вещества диффундирует за единицу времени через единицу поверхности при градиенте концентрации, равном единице. Размерность коэффициента диффузии:

$$[D] = \left[\frac{dM \cdot dS}{dc \cdot dF \cdot t} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг} / \text{м}^3 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сек}} \right] = \left[\frac{\text{м}^2}{\text{сек}} \right]$$

Знак минус в правой части закона Фика указывает на то, что молекулярная диффузия всегда протекает в направлении уменьшения концентрации вещества.

Значение коэффициента диффузии зависит от свойств вещества, свойств материала, через который оно проникает, температуры и давления. Обычно коэффициент диффузии возрастает с увеличением температуры и понижением давления. Определяется этот коэффициент по опытным данным или эмпирическим формулам.

Проницаемость газов и паров через полимерные пленки принято измерять непосредственно в $\text{г}/\text{м}^2$ за 24 часа. Для этой цели применяются различные методы: мембранный, весовой, манометрический и другие.

Мембранный метод заключается в определении проницаемости по скорости проникновения газов или паров через мембрану при установившемся режиме.

По манометрическому методу проницаемость газов и паров через полимерную мембрану определяется по изменению давления.

Наиболее простым и распространенным является весовой метод измерения проницаемости материала для газов и паров. Этот метод рекомендован отечественными ГОСТами на испытания полимерных пленочных материалов и используется при выполнении настоящей лабораторной работы.

Для проведения исследований паропроницаемости из полимерного материала следует вырезать по шаблону скальпелем или лезвием 5—10 образцов пленки диаметром $93,0 \pm 0,2$ мм.

В емкость приспособления, изображенного на рис. 1, наливается $25,0 \text{ см}^3$ дистиллированной воды, отмеренной бюреткой.

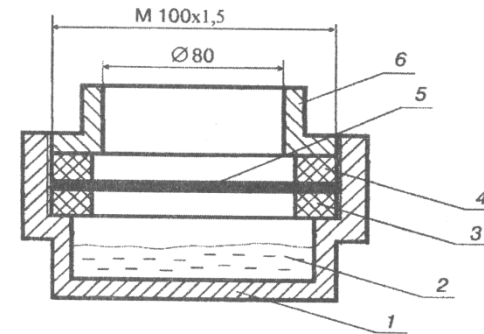


Рис. 10.1. Приспособление для исследования паропроницаемости; 1 — емкость; 2 — вода; 3, 4 — резиновые прокладки; 5 — образец пленки; 6 — гайка зажимная

Исследуемый образец помещается между резиновыми прокладками и закрепляется зажимной гайкой. Подготовленное к испытаниям приспособление взвешивается на прецизионных лабораторных весах с точностью до 3-го знака после запятой и помещается в эксикатор с раствором серной кислоты с массовой долей $55,0 \pm 1,0\%$.

Стандартной методикой рекомендуется продолжительность выдержки образцов в эксикаторе ровно 24 часа для получения результата испытаний в принятых единицах измерения г/м^2 за 24 часа. При выполнении лабораторной работы такая выдержка может оказаться трудно выполнимой. Учитывая прямо пропорциональную зависимость проницаемости от времени можно выдерживать образцы в эксикаторе минимально возможное время — t с последующей корректировкой на 24 часа.

После выдержки в эксикаторе приспособление с образцом снова взвешивается. Результаты взвешиваний, продолжительность выдержки в эксикаторе и вычисленные значения паропроницаемости записываются в табл. 10.1.

Таблица 10. 1

Результатов исследования паропроницаемости
(полное наименование материала)

Опыты	Масса приспособления с водой и образцом, начальная, m_1 , г.	Масса приспособления после выдержки, m_2 , г.	Время выдержки в эксикаторе, $t_{исп}$, час	Паропроницаемость за $t_{исп}$, Π_j^t , г/м ²	Паропроницаемость за 24 часа, Π_i , г/м ² за 24 ч
1					
2					
...					
...					
I					
...					
...					
n					

Паропроницаемость исследуемой пленки по данным взвешиваний рассчитывается по следующей формуле:

$$\Pi_i^{t_{исп}} = \frac{(m_{1i} - m_{2i})t_{исп}}{F}, \text{ г/м}^2$$

где F — площадь контакта образца пленки с паром, м².

Паропроницаемость в стандартных единицах измерения г/м² за 24 часа:

113

$$\Pi_i = \Pi_i^{t_{исп}} \times \frac{24}{t_{исп}}, \text{ г/м}^2 \text{ за 24 часа.}$$

Окончательный показатель паропроницаемости исследуемого материала рассчитывается как среднее значение результатов опытов.

Математическая обработка данных измерений паропроницаемости должна включать наряду с расчетом среднего значения также нахождение среднего квадратического отклонения данных опытов, оценку точности полученных результатов для выполненного числа опытов и интервальную оценку показателя паропроницаемости исследуемого материала для заданного уровня значимости.

10.5. Оформление отчета

Отчет о лабораторной работе может оформляться согласно требованиям к отчету о научно-исследовательской работе. Отчет должен содержать краткое обоснование необходимости исследований и входного контроля барьерных свойств упаковочных материалов, описание принятой в работе методики исследований, применяемого оборудования, полученных результатов измерений и расчетов паропрооницаемости, а также их статистической обработки. Желательно произвести сравнение полученных в работе показателей паропрооницаемости со справочными значениями этих показателей для исследуемого материала.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое значение в упаковочной технике имеют барьерные свойства упаковочных материалов?
2. Что такое проницаемость материала, что является движущей силой процесса проницаемости и какие виды проницаемости могут иметь место в упаковочных материалах?
3. Каким законом описывается процесс проницаемости и каково его математическое выражение?
4. Что характеризует коэффициент диффузии и от каких факторов он зависит?
5. Какова размерность коэффициента диффузии?
6. Какая размерность проницаемости газов и паров принята для полимерных пленочных материалов?
7. Какие методы могут применяться для измерения проницаемости газов и паров в полимерных упаковочных материалах?
8. Какой метод определения паропрооницаемости рекомендован стандартами для полимерных пленок?
9. Какие приборы и приспособления используются для определения паропрооницаемости?
10. В какой последовательности проводится исследование паропрооницаемости полимерных материалов?
11. Как рассчитывается показатель паропрооницаемости по данным испытаний?
12. В чем заключается и как выполняется статистическая обработка результатов измерений паропрооницаемости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

Исследование теплостойкости и усадки полимерных упаковочных материалов

Продолжительность работы – 8 ч

11.1 Цель работы

Овладение методикой и практическими навыками исследований и входного контроля полимерных упаковочных материалов, определение пригодности полимерных пленок для исследования в термоусадочных аппаратах.

11.2. Применяемое оборудование, приборы, приспособления, инструмент

1. Термошкаф типа СНОЛ-3,5.
2. Термометры лабораторные стеклянные типа ТЛ-2 № 4, диапазон 0 — 250 С°, цена деления 1,0 С° — 2 шт.
3. Приспособление (прибор) для испытаний на теплостойкость по Мартенсу.
4. Приспособление (прибор) для испытаний на теплостойкость по Вика.
5. Приспособление (рамка) для образцов при испытаниях на усадку.
6. Толщиномер индикаторный типа МР-25 или скоба рычажная СР-25.
7. Режущий инструмент для вырезания образцов.
8. Секундомер лабораторный СОПр-2А-3.

11.3 Задание и порядок выполнения работы

1. Подготовить образцы полимерных материалов к испытаниям на теплостойкость по Мартенсу в виде брусков прямоугольного сечения 120x15x10 мм.
2. Установить испытуемый образец в приспособление для испытаний, произвести нагружение образца изгибающим моментом, поместить приспособление в термошкаф и выполнить испытание на теплостойкость по Мартенсу.
3. Подготовить образцы полимерных материалов для испытаний на теплостойкость по Вика.
4. Установить испытуемый образец в приспособление, поместить его в термошкаф и выполнить испытания на теплостойкость по Вика.
5. Подготовить образцы термоусадочного полимерного материала для испытаний на усадку.
6. Разместить образцы на специальной рамке, поместить ее в термошкаф и выполнить испытания на усадку.
7. Выполнить статистическую обработку результатов испытаний.

8. Сравнить полученные результаты со справочными данными для соответствующих материалов.

11.4 Методика выполнения работы

Теплостойкость и усадка относятся к важнейшим теплофизическим свойствам полимерных упаковочных материалов, определяющим работоспособность и приспособленность их к термоформовочному и термоусадочному оборудованию.

Теплостойкость характеризует способность полимерных материалов сохранять свои механические свойства при непрерывном повышении температуры. Показателем теплостойкости принято считать значение температуры, при которой под действием регламентированной нагрузки, деформация испытуемого образца достигает определенного значения.

В европейских странах и в нашей стране в практике испытаний полимерных материалов применяются два метода определения теплостойкости: — по Мартенсу (T_m) и по Вика (T_v). В США принят метод по ASTM.

Метод определения теплостойкости по Мартенсу применяется для наиболее жестких и теплостойких материалов и заключается в определении температуры, при которой свободный конец образца деформируется на определенную величину в условиях консольного изгиба при заданном напряжении.

Метод определения теплостойкости по Вика основан на измерении температуры, при которой наконечник индентора под действием регламентированной нагрузки вдавливаются в образец на глубину 1 мм.

Теплостойкость по ASTM определяется путем непрерывного нагрева со скоростью 2 градуса в минуту образца, расположенного на двух опорах и нагруженного посередине изгибающей нагрузкой. Температура, при которой образец получает изгиб 0,33 мм считается теплостойкостью по ASTM.

Исследование теплостойкости по Мартенсу должно выполняться по ГОСТ 21341-75. Предварительно готовятся образцы в виде прямоугольных брусков длиной 120 ± 2 мм, шириной $15 \pm 0,5$ мм, толщиной $10 \pm 0,5$ мм.

Для проведения испытаний применяется приспособление, изображенное на рисунке 1. Исследуемый образец закрепляется в зажимах прибора в вертикальном положении. Верхний зажим снабжен консольным горизонтальным стержнем, на котором может перемещаться и фиксироваться в нужном положении груз, создающий изгибающий момент на свободном конце консольно закрепленного образца.

Действующий на образец изгибающий момент:

$$M_u = G \cdot L, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где G — вес груза со стержнем, N , вызывает в образце напряжение изгиба:

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W}, \text{ Па}$$

где W — момент сопротивления поперечного сечения образца

$$\left(W = \frac{bh^2}{6} \right), \text{ которое согласно ГОСТ должно быть равным}$$

$5,0 \pm 0,5 \text{ мПа}$.

Прибор с грузом, зафиксированным в положении, обеспечивающем указанное напряжение в образце, и индикатором для измерения деформации образца со шкалой, установленной на нулевой отметке, помещается в термощкаф с начальной температурой $25,0 \pm 2,0 \text{ C}^\circ$.

Во время испытания температура в камере должна повышаться со скоростью $5,0 \pm 1,0 \text{ C}^\circ$ за 6 минут или $50,0 \pm 5,0 \text{ C}^\circ$ за 1 час.

Для контроля температуры в камере должны применяться 2 термометра, устанавливаемые на расстоянии не более 25 мм от образца на уровне его середины.

В момент достижения образцом деформации, равной по показанию индикатора $6,0 \pm 0,1 \text{ мм}$, отмечаются показания двух термометров для измерения среднего значения температуры. Вычисленные средние значения температуры по результатам 3 — 5-ти опытов означают теплостойкость данного материала по Мартенсу.

Результаты измерений для удобства следует записать в табл. 1.

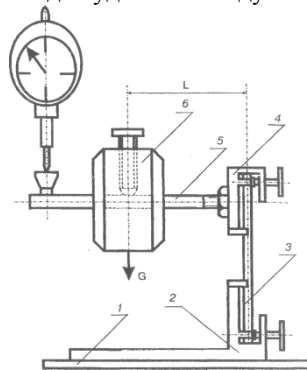


Рис. 11.1. Прибор для испытаний полимерных материалов на теплостойкость по Мартенсу:

1 — основание; 2 — зажим нижний; 3 — образец; 4 — зажим верхний; 5 — стержень; 6 — груз

Таблица 11.1

Данные измерений теплостойкости по Мартенсу упаковочного материала _____ (наименование, марка)

Опыты	Размеры образца, м			M _ц , Нм	σ _ц , Па	Деформация образца, мм	Показания термометров, С°		Среднее значение, С° $\bar{T}_i = \frac{T_{1i} + T_{2i}}{2}$
	l	b	h				T _{1i}	T _{2i}	
1									
2									
...									
...									
...									
n									

Теплостойкость по Мартенсу по результатам всех опытов:

$$T_M = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{T}_i}{n}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

В случае обнаружения на образце после испытания трещин, вспучивания, расслоения и других подобных дефектов данные этого опыта при определении общего результата не учитываются.

Метод Мартенса не применим, если T_м материала при испытаниях оказывается ниже 40С°.

Метод определения теплостойкости по Вика основан на определении температуры, при которой наконечник индентора, находящийся под действием определенной постоянной нагрузки, вдавливаются в образец на глубину 1 мм. Сферический наконечник индентора должен иметь внизу плоско отшлифованное сечение площадью 1,0 мм² (диаметр 1,13 мм ± 0,01 мм).

Приспособление (прибор) для измерения величины вдавливания наконечника в испытуемый образец изображено на рис. 2.

Прибор снабжен сменными грузами, обеспечивающими рекомендуемую ГОСТом нагрузку на индентор 50,0 ± 0,1 Н или 10,0 ± 0,1 Н.

Для испытаний должны быть подготовлены специальные образцы в виде сплошных плоских пластин или из нескольких слоев пленочного полимерного материала. Толщина сплошных и

многослойных образцов рекомендуется от 3,0 до 6,4 мм.

Прибор в исходном положении с индикатором на нулевой отметке помещается в термощкаф с начальной температурой 15 — 30 С°. Скорость повышения температуры во время испытаний должна составлять $5,0 \pm 1,0$ С° за 6 минут. Испытуемый образец размещается в приборе так, чтобы вдавливаемый наконечник находился в центре образца.

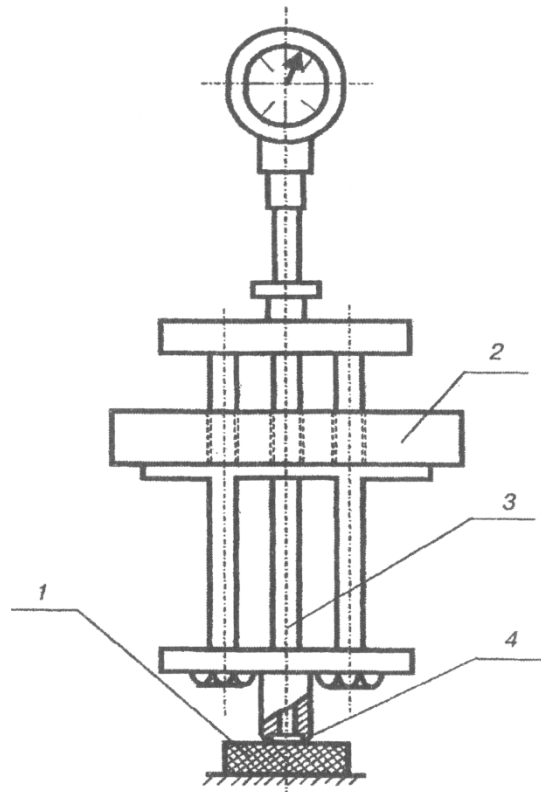


Рис. 11. 2. Прибор для измерения величины вдавливания наконечника в образец материала: 1 — образец; 2 — груз; 3 — стержень; 4 — наконечник

Измерение температуры осуществляется двумя термометрами, размещаемыми в термокамере на расстоянии не более 25 мм от образца. Расхождение между показаниями двух термометров не должно превышать 2,0С°. Исходные данные и показатели измерений следует записать в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Данные испытаний теплостойкости упаковочного материала по Вика
 " _____ " (наименование, марка)

Опыты	Образец		Глубина вдавливания наконечника, мм	Показания термометров, С°		Среднее значение, С° $\bar{T}_i = \frac{T_{1i} + T_{2i}}{2}$
	Толщина, мм	Число слоев		T _{1i}	T _{2i}	
1						
2						
...						
...						
I						
...						
...						
n						

Теплостойкость по Вика или, как ее принято называть, температура размягчения определяется как среднее значение по результатам 3 — 5 опытов:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{T}_i}{n}$$

Термоусадка — это свойство полимерных пленок уменьшаться в размерах под воздействием тепловой энергии при температуре выше температуры размягчения полимера. Свойство пленок давать усадку заложено в процессе их производства. Полимерные пленки в высокоэластичном состоянии обладают настолько большой молекулярной подвижностью, что их структура перестраивается вслед за изменением температуры, Происходит обратимая высоко эластическая деформация, связанная с ориентацией звеньев молекулярных цепей. При последующем охлаждении полимера и затвердевании эти деформации фиксируются в процессе стеклования и кристаллизации, а молекулы остаются в напряженном состоянии.

В дальнейшем при нагревании пленки возникшие напряжения высвобождаются, макромолекулы стремятся занять свое первоначальное положение, результатом чего является усадка пленки.

Основными техническими параметрами термоусадочной

пленки, характеризующими ее пригодность для использования в термоусадочных аппаратах, являются степень усадки и возникающие при усадке напряжения. Усадка определяется отношением линейных размеров образца пленки в продольном и поперечном направлениях до и после тепловой обработки:

$$X = \frac{l_0 - l}{l_0} 100\%$$

где l_0 — длина образца пленки до тепловой обработки, мм;
 l — длина образца пленки после тепловой обработки, мм.

Если после достижения температуры кристаллизации воспрепятствовать усадке, то в пленке возникнет усадочное напряжение:

$$\sigma_{yc} = \frac{P_{yc}}{F}, \text{ Па}$$

где P_{yc} — сила усадки, Н; F — площадь поперечного сечения образца пленки до усадки, м^2 .

Все полимерные пленки дают усадку, так как при изготовлении они всегда в той или иной степени растягиваются и ориентируются. Но пригодными для изготовления термоусадочной упаковки оказываются лишь имеющие определенные показатели усадки. Изготавливаются термоусадочные пленки из полиэтилена высокого давления, полипропилена, поливинилхлорида и других частично кристаллизующихся термопластов. Наибольший удельный вес составляют пленки из ПЭВД и ПВХ.

Полиэтиленовые термоусадочные пленки обладают всеми ценными качествами обычной полиэтиленовой пленки, то есть высокой прочностью, хорошей прозрачностью, нетоксичностью и морозостойкостью. По ГОСТ 25951-83 выпускается четыре марки термоусадочной полиэтиленовой пленки: У; О; Т — для упаковывания штучной продукции методом полного обертывания; П — для скрепления пакетов грузов.

Пленка этих марок может иметь усадку в продольном направлении 40 — 60%, в поперечном 25 — 35%.

Значительный интерес представляют новые полиолефиновые термоусадочные пленки марки «Клайсар» фирмы «Дюпон», типа «Криовак» различных марок фирмы «Силд Эйр».

Оригинальная перекрестно-пересеченная молекулярная структура пленки «Клайсар» обеспечивает ее высокие

технологические и механические качества. Эта пленка с усадкой около 50% при минимальной толщине способна выдерживать очень большие нагрузки.

Стандартом ГОСТ 25951 -83 предусмотрено испытание термоусадочных пленок на усадку.

Согласно стандартной методике при подготовке образцов пленки к испытаниям из рулона отрезается полоса длиной 1,5 — 2,0 метра. Толщиномером измеряется толщина пленки. Первое измерение толщины выполняется на расстоянии $10,0 \pm 2$ мм от края полосы, следующие через каждые 50 мм. Находится максимальная и минимальная толщина пленки. За результат измерения принимается номинальное значение толщины пленки и отклонение от номинальной толщины.

Для проведения испытаний на усадку из отрезанной от рулона ленты материала вырезаются образцы в виде полосок длиной $55,0 \pm 0,5$ мм и шириной $10,0 \pm 0,5$ мм по 5 штук в продольном и поперечном направлениях. На расстоянии 5 мм от края на каждый образец наносятся метки для последующего измерения усадки по длине образца. Затем образцы помещаются на рамку, изображенную на рис. 3.

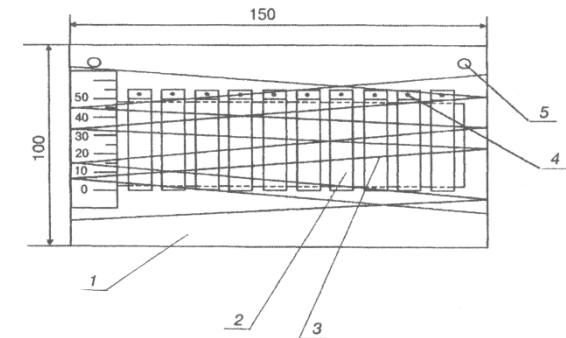


Рис. 11. 3. Рамка для испытаний на усадку: 1 — рамка; 2 — образец; 3 — нить; 4 — игла; 5 — отверстие

Рамка изготавливается из гетинакса или жесткого картона толщиной 2 мм. Образцы на рамке закрепляются иглами и для ограничения перемещений при усадке обматываются под произвольным углом двумя рядами нитей. Затем на рамку устанавливается шкала для измерения длины образцов после усадки. При установке шкалы метки на образцах должны совпадать с делением «50».

На задатчике температуры термощкафа устанавливается температура $180,0 \pm 5,0$ C°. После достижения заданной температуры рамка

с образцами навешивается в вертикальном положении отверстиями в рамке на штифты внутри камеры. Расстояние от стенок камеры до образцов должно быть не более 50 мм.

Время нагрева образцов;

толщиной до 0,05 мм составляет $30,0 \pm 1,0$ сек.;

толщиной свыше 0,05 мм до 0,1 составляет $40,0 \pm 1,0$ сек.;

толщиной свыше 0,1 мм составляет $60,0 \pm 1,0$ сек.

Длина после усадки измеряется по шкале, установленной на рамке. Результаты измерений следует записать в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Данные испытаний термоусадочной полимерной пленки на усадку _____ (тип, марка)

Опыты	Размеры образцов, мм				Усадка в %	
	Продольное направление		Поперечное направление			
	l_0	l	l_0	l	$X_{инпро} = \frac{l_0 - l}{l_0} 100$	$X_{нопер} = \frac{l_0 - l}{l_0} 100$
1						
2						
...						
...						
i						
...						
n						

Усадка исследуемого материала определяется как среднее значение по результатам всех опытов:

в продольном направлении
$$X_{про} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{инпро}}{n}$$

в поперечном направлении
$$X_{нопер} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{иннопер}}{n}$$

Статистическая обработка результатов испытаний на усадку заключается в определении среднего квадратического отклонения данных опытов, оценки точности полученных результатов и интервальной оценки показателя усадки для заданного уровня значимости.

11.5. Оформление отчета

следует выполнять в соответствии с требованиями к отчету о научно-исследовательской работе. Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать краткое обоснование целесообразности исследований и входного контроля полимерных упаковочных материалов на теплостойкость и усадку, описание методики выполняемых в работе испытаний, применяемого оборудования, приспособлений и приборов.

В отчете должны быть приведены таблицы данных измерений, результатов испытаний и их статистической обработки.

В заключении отчета необходимо привести сравнение полученных значений теплостойкости и усадки со справочными данными для исследуемых материалов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что характеризует и какими показателями измеряется теплостойкость полимерных упаковочных материалов?
2. Как влияет теплостойкость полимерных упаковочных материалов на приспособленность к упаковочному оборудованию?
3. Какие методы применяются для определения теплостойкости полимерных материалов и в чем их различие?
4. Как готовятся образцы для испытаний полимерных материалов на теплостойкость?
5. Какие приборы и оборудование применяются для определения теплостойкости по Мартенсу ?
6. Какие приборы и оборудование применяются для определения теплостойкости по Вика?
7. В чем заключается методика испытаний и как определяется теплостойкость по Мартенсу?
8. В чем заключается методика испытаний и как определяется теплостойкость по Вика?
126
9. Что характеризует усадка полимерных упаковочных материалов и чем она обусловлена?
10. Какими показателями определяется усадка термоусадочных полимерных пленок?
11. Какие термоусадочные полимерные пленки находят применение в термоусадочных аппаратах?
12. Как готовятся образцы для испытаний на усадку?
13. Какие приспособления и оборудование применяются для испытаний на усадку?
14. В чем заключается методика определения усадки и как измеряются показатели усадки термоусадочных полимерных пленок?
15. В чем заключается статистическая обработка результатов измерения теплостойкости и усадки?

ОГЛАВЛЕНИЕ:

стр.

ЧАСТЬ 1 Теоретический материал	
1	Основные характеристики материалов для изготовления картонной и бумажной тары.....
2	Методы определения качества готовой картонной и бумажной тары.....
3	Контроль качества полимерной тары.....
ЧАСТЬ 2 Лабораторные работы	
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.....	
1	Лабораторная работа №1 Определительные испытания упаковочного и полиграфического оборудования на надёжность.....
2	Лабораторная работа №2 Контрольные испытания упаковочного и испытательного оборудования на надёжность. Одноступенчатый контроль.....
3	Лабораторная работа №3 Контрольные испытания упаковочного и испытательного оборудования на надёжность. Последовательный контроль.....
4	Лабораторная работа №4 Обработка экспериментальных данных.....
5	Лабораторная работа №5 Исследование сопротивления упаковочных материалов продавливанию.....
6	Лабораторная работа №6 Исследование характеристик гофрокартона.....
7	Лабораторная работа №7 Исследование прочности и жёсткости полимерных упаковочных материалов на растяжение.....
8	Лабораторная работа №8 Исследование прочности полимерных материалов на раздир.....
9	Лабораторная работа №9 Определение коэффициента трения упаковочных материалов.....
10	Лабораторная работа №10 Исследование барьерных свойств полимерных упаковочных материалов.....
11	Лабораторная работа №11 Исследование теплостойкости и усадки полимерных упаковочных материалов.....