

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. МАТЕРИАЛЫ РУЛОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛА МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ	6
1.1. Основные признаки классификации рулонных материалов покровтия пола	7
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ РУЛОННОГО ПОКРЫТИЯ ПОЛА И МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	11
2.1. Деформация материалов рулонных покрытий пола	11
2.2. Методы исследования деформаций материалов рулонных и ковровых покрытий пола под действием статической нагрузки	14
2.3. Динамический модуль упругости и коэффициент потерь	16
2.4. Резонансные методы определения динамических характеристик материалов	17
2.5. Определение динамических характеристик в диапазоне нормируемых частот	21
2.6. Оценка точности результатов измерений физико-механических характеристик материалов ковровых и рулонных покрытий пола	24
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ РУЛОННЫХ И КОВРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛА И ИХ ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ	27
3.1. Исследование деформаций образцов материала под действием статической нагрузки	27
3.2. Исследование частотных характеристик физико-механических параметров материалов.....	30
3.3. Нормирование звукоизоляции междуэтажных перекрытий.....	37
3.4. Методика измерения и оценки звукоизоляционных свойств рулонных и ковровых покрытий пола.....	39
3.5. Оценка погрешности результатов измерения звукоизоляции от ударного шума рулонных покрытий пола. Результаты измерений..	42
3.6. Связь физико-механических характеристик материалов покровтия пола с индексом улучшения изоляции ударного шума.....	48
3.7. Зависимость индекса улучшения изоляции ударного шума рулонных и ковровых покрытий пола от технических параметров материала	51

3.8. Расчет индекса улучшения изоляции ударного шума пола по упругим прокладкам с рулонным покрытием	58
ГЛАВА 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ УДАРНОГО ШУМА С УЧЕТОМ ВОЗДУШНОГО ШУМА КОНСТРУКЦИЙ МЕЖДУЭТАЖНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА (В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТОМ ПО ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ISO-717-2) ЗА СЧЕТ РУЛОННЫХ И КОВРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ПОЛА	
4.1. Метод определения среднего срока службы рулонного покрытия пола	64
4.2. Влияние старения материалов покрытия пола на изоляцию ударного шума	67
4.3. Влияние способа укладки линолеума на изоляцию ударного шума рулонных полов	74
4.4. Расчет улучшения изоляции ударного шума полами из рулонных и ковровых покрытий с учетом зависимости динамической жесткости S' от частоты	78
4.5. Методы расчета звукоизоляции междуэтажных перекрытий с рулонными и ковровыми покрытиями пола от ударного шума	84
4.5.1. Метод приближенной оценки звукоизоляции акустических однородных перекрытий с рулонным полом	84
4.5.2. Приближенный метод расчета звукоизоляции акустически однородных перекрытий с рулонными и ковровыми покрытиями пола от ударного шума	86
4.5.3. Практический метод расчета изоляции ударного шума перекрытием с полами из рулонных и ковровых материалов с учетом зависимости динамической жесткости материала S' от частоты	90
4.5.4. Практический метод расчета изоляции ударного шума междуэтажного перекрытия с полом по упругим прокладкам и с покрытием из рулонных и ковровых материалов	91
4.5.5. Связь теплофизических и акустических показателей материалов рулонных покрытий пола	95
4.6. Рекомендации по выбору и применению эффективных конструкций междуэтажных перекрытий с покрытием пола из рулонных и ковровых материалов	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	103

Введение

Создание комфортного акустического климата внутренней среды обитания человека имеет большое практическое значение. Важной задачей современного строительства гражданских зданий является разработка ограждающих конструкций, обладающих высокими эксплуатационными качествами, в том числе необходимой звукоизоляцией.

Междуэтажные перекрытия в ряду конструкций занимают особое положение. К этому элементу предъявляются требования не только к изоляции воздушного шума, но и ударного. Если нормативная изоляции воздушного шума может быть обеспечена за счет увеличения веса однослойного ограждения. Что касается изоляции ударного шума, то нормативные требования могут быть выполнены путем акустического проектирования эффективной конструкции пола. Это конструкции плавающего пола с упругими прокладками из звукоизоляционных материалов: конструкции пола с покрытием из рулонных материалов, либо сочетание обоих конструкций.

В настоящее время наиболее широкое применение нашли конструкции полов с покрытием из рулонных материалов (линолеум, релин, ковролин и т. п.)

В работе представлены: методы и результаты комплексных исследований физико-механических характеристик материалов, определяющих их акустическую эффективность; практические методы расчета изоляции ударного шума междуэтажных перекрытий с полами из рулонных материалов.

Настоящее пособие предназначено для инженеров-проектировщиков, студентов, аспирантов и магистров строительных специальностей, а также полезно для технологов, разрабатывающих новые рулонные материалы покрытия пола.

Глава 1. Материалы рулонных покрытий пола междуэтажных перекрытий гражданских зданий

Важным элементом междуэтажных перекрытий гражданских зданий различного назначения является состав и конструкция пола. Обычно в гражданских зданиях покрытие выполнено: из штучных материалов (паркет, паркетная доска, ламинат); рулонных (линолеум, релин, ковры) и, так называемых, «наливных». Как показывает практика, в настоящее время, при строительстве гражданских зданий предпочтение отдается покрытию пола из рулонных материалов. Это различные виды линолеума, релина и ковровина (безворсовые и с ворсом).

К материалам покрытия пола предъявляются ряд важных физико-технических и эксплуатационных требований: прочности, эластичности, бесшумности, малой истираемости, водонепроницаемости, влагостойкости, теплоизоляции, бесшумности, звукоизоляции, высоких эстетических качеств и экономичности.

Предшественницей линолеума является клеёнка или промасленное волокно. Она была изготовлена в Лондоне в 1627 году. В словаре Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона читаем: «линолеум особый вид клеёнчатых изделий, состоящих из отвердевшей линолеумной массы, нанесенной слоем в 3÷5 мм на прочную, просмоленную снизу джутовую ткань». В 1763 году англичанин Натан Смит создает напольное покрытие, которое по своим свойствам и параметрам немногим отличается от современного. В нем указывается, что на ткань наносится смесь, состоящая из смолы, ели или сосны, живицы, пчелиного воска, льняного масла и испанского красителя. В 1848 году к массе была добавлена крошка из пробки. Это уже был прямой предшественник линолеума. В дальнейшем, в процессе совершенствования технологии льняное масло было заменено на менее дорогую льняную олифу. В 1863 году в Манчестере, Англия, Фредерик Уолтон получил патент на новый материал покрытия пола, который был назван линолеумом из сочетания двух латинских слов *Linum* – лён, *oleum* – масло.

Слово «ковёр» заимствовано древнерусским языком из тюркских языков. Впервые упоминается в «Повести временных лет. 977 год» – «...и послал Ярополк найти брата и вытаскивали трупы изо рва с утра до полдня и нашли Олега под трупами, вынесли его и положили его на ковре.»

Наиболее важными требованиями, предъявляемыми к данным материалам покрытия пола, являются акустические и теплофизические, в значительной степени определяющие эффективность их применения. К акустическим относится изоляция ударного шума, а к теплофизическим – теплоусвоение.

1.1. Основные признаки классификации рулонных материалов покрытия пола

Материалы рулонных полов классифицируются:

- по назначению и области применения;
- по структуре;
- по составу и типу основы (подложки).

По назначению они подразделяются: на бытовые, коммерческие и полукоммерческие в зависимости в основном от интенсивности движения людей. Бытовые со средней интенсивностью движения применяются в качестве покрытия пола: в жилых помещениях квартир (прихожие, детские); в номерах гостиниц, кафе, палаты больниц, небольшие офисы. Коммерческие и полукоммерческие с интенсивным движением – школы, магазины, вокзалы и т. п.

В таблице 1 представлена классификация на классы областей применения напольных рулонных покрытий в соответствии со стандартом EN 685.

По структуре: гомогенные (однородные) и гетерогенные (многослойные, неоднородные).

К гомогенным относятся: натуральный, глифталевый (алкидный) и коллоксилиновый линолеум. Натуральный линолеум – напольное покрытие, в состав которого входит: льняное масло, древесная смола, древесная либо пробковая мука, порошок известняка, пигментные красители и джутовая ткань (технические требования EN 548 и EN 670).

**Таблица 1.1. Классы областей применения эластичных
напольных покрытий (EN 685)**

Символ	Класс	Интенсивность использования	Описание	Примеры областей применения
1. Жилые помещения				
	21	низкая	Помещения с низкой интенсивностью или кратковременным использованием	Спальные комнаты
	22	нормальная	Помещения с интенсивностью использования средней степени	Жилые помещения, прихожие
	23	высокая	Помещения с высокой интенсивностью использования	Жилые помещения, прихожие
2. Служебные и офисные помещения				
	31	низкая	Помещения с низкой интенсивностью или кратковременным использованием	Комнаты в отелях, отд. кабинеты, конференц. залы
	32	нормальная	Помещения с интенсивностью использования средней степени	Классные комнаты, отд. кабинеты, бутики
	33	высокая	Помещения с высокой интенсивностью использования	коридоры, магазины, школы, большие офисы
	34	очень высокая	Помещения с очень высокой интенсивностью использования	Аэропорты, залы многоцелевого назначения, кассовые залы, магазины

Глифталевый (алкидный) линолеум на основе из тканевого материала. В качестве связующего используются алкидные смолы. Эти компоненты безвредны, поэтому, несмотря на своё «химическое название» линолеум экологичен и безопасен для человека и животных. Преимущества покрытия – высокая стойкость к износу (истираемость) и значительный эксплуатационный срок службы. Недостатки покрытия – низкая степень водостойкости и гниение тканевой основы при намокании. При низких температурах материал теряет свою упругость и становится ломким.

Коллоксилиновый, однослойный линолеум производится из нитроцеллюлозы. Материал обладает устойчивостью к повышенной влажности, высокой эластичностью и широкой палитрой цветов. Однако имеет существенные недостатки: при низких температурах становится хрупким, а при высоких – горит, поэтому абсолютно неприемлем особенно в жилых помещениях квартир, а также в школах и детских садах.

К гетерогенным (неоднородным, многослойным) относятся: линолеумы ПВХ ТЗИ, релин и ковролин.

Поливинилхлоридный линолеум состоит из верхнего декоративно-защитного слоя, толщиной 50÷100 мк (микрон) и нижнего (подложки). Верхний слой изготавливается из пластической массы, с основным компонентом поливинилхлорид (ПВХ) либо винил. При изготовлении его используется связующее, пластификаторы, разбавители, наполнители и красители. В качестве связующего используется поливинилхлорид, обладающий термопластичностью и линейной структурой макромолекул. Пластификаторы должны обладать: минимальной летучестью, химической стабильностью, отсутствием запаха, малой гигроскопичностью, устойчивостью к воздействию света. В качестве наполнителя используется, главным образом, карбонат кальция (мел, мраморная мука), тальк, барит (тяжелый шпат), каолин.

Линолеум с основой (подложкой), слоем который непосредственно примыкает к основанию пола либо к несущей конструкции перекрытия и обладает дополнительными функциями – тепло и звукоизоляционными свойствами. Обычно данный вид линолеума носит название теплозвукоизоляционного (ПВХ ТЗИ). ГОСТ 18108-80.

ПВХ ТЗИ линолеумы в зависимости от вида материала подложки подразделяют на четыре типа:

- линолеумы на подоснове (подложке) из лубяных и джутовых волокон (Д);
- линолеумы на подложке из синтетических волокон (Х);
- линолеумы на подложке из смеси вторичных волокон переработки шерсти (ВТ);
- вспененные ТЗИ линолеумы.

Резиновый линолеум (релин) – двухслойный материал перекрытия пола. Нижний слой выполнен из смеси битума с измельченной резиной, верхний – искусственный каучук. В сочетании с красящими веществами. Применяется, в основном, в качестве покрытия пола в общественных зданиях с большим людским потоком (магазины, вокзалы, аэропорты и т. д.). Материал покрытия обладает устойчивостью к перепаду температур, эластичностью, малой истираемостью и стойкостью к воздействию влаги.

Ковролин (ковровое покрытие) – мягкое напольное покрытие. Изначально ковровое покрытие ткани из шерсти. Позже перешли на стандартные размеры, выпуская рулонные ковровые покрытия. Ковролин – многослойный композиционный материал с ворсом либо без ворса (палас). Структурный состав ковролина с ворсом: ворс, первичная основа, закрепляющий слой, вторичная основа. Ворс может быть стриженным (короткий ворс) либо нестриженным. Упругость и стойкость коврового покрытия зависит от плотности и длины ворса. Более прочное покрытие – с густым ворсом и низовой системой (конструкцией) вязания. Наиболее распространены материалы производства ворса из шерсти, полипропилена и полиамида. Для основы (подложки) чаще всего используется джут, искусственный джут и латекс. Шерсть частично или полностью натуральная обладает высокой прочностью, легко красится и широко распространена. Наличие искусственного волокна в составе шерсти (например, нейлона) существенно повышает её прочность. Обычно стандартное соотношение шерсти к синтетике 80% и 20% соответственно. Полипропилен – полимер, используется для производства ковролина. Более дешевый материал, чем шерсть или нейлон. В настоящее время знаменитые берберские ковры с большими стежками, выполненные из этого материала для домашнего использования, быстро приходят в негодность. Коммерческое покрытие, из полипропилена с мелкими стежками (букле) не изнашиваются, легко чистятся и подходят для офисов и подобных помещений с высокой интенсивностью движения.

Полиэстер обладает водоустойчивостью, более устойчив к загрязнению, чем нейлон, однако сравнительно быстро изнашивается. Обычно используется при производстве сравнительно недорогих покрытий.

Глава 2. Основные физико-механические характеристики материалов рулонного покрытия пола и методы их исследований

Эффективность применения рулонных покрытий пола в жилых и общественных зданиях в целях звукоизоляции междуэтажных перекрытий от ударного шума в значительной степени зависит от их физико-механических свойств и параметров, характеризующих эти свойства. Основными физико-механическими характеристиками (параметрами) являются: деформативность материала, динамический модуль упругости и коэффициент потерь.

2.1. Деформация материалов рулонных покрытий пола

По своему физическому состоянию изоляционные материалы занимают промежуточное положение между твердым телом, для которого характерно свойство упругости, прочности, пластичности и вязкой жидкостью, для которой характерно свойство вязкости.

Поэтому данные материалы носят название упруго-вязких. Сопротивление упруго-вязкого тела действию силы (нагрузки) отличается от сопротивления твердого тела и от сопротивления жидкости [9]. Во-первых, утрачивается характерная для твердого тела в упругом его состоянии однозначность зависимости между напряжением и деформацией, поскольку величина деформации упруго-вязкого тела зависит как от величины нагрузки, так и от длительности ее действия.

Во-вторых, способность к упругопластическому сопротивлению в сочетании с прочностью отличает в месте с тем упруго-вязкое тело от жидкости.

Твердое тело физически неоднородно. Но при описании его сопротивления действию силы эту неоднородность, как показывает опыт, можно игнорировать [9]. Право на подобное игнорирование утрачивается применительно к упруго-вязкому телу, поскольку неоднородность деформации упруго-вязкого тела является одним из следствий, характеризующим в какой-то мере его сложную внутреннюю структуру. Поэтому

определенные из опыта физико-механические характеристики материала являются осредненными величинами.

При деформации твердого тела под действием силы (нагрузки) связь между напряжением и деформацией определяет основной физический закон механики деформируемого твердого тела – закон Гука.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.1)$$

где ε – полностью обратимая, упругая деформация.

Понятие упругости не следует смешивать со способностью материала к большим упругим деформациям.

Например: стекло при комнатной температуре близко к идеально упругому материалу, хотя величина деформации невелика.

Упругая деформация может быть мгновенной и запаздывающей. Мгновенная упругая деформация – это абстракция, так как в реальных телах (материалах) деформация так же, как и напряжение может распространяться только с конечной скоростью. Однако скорость распространения деформации настолько велика, что для обычных строительных материалов мгновенная деформация может с достаточной точностью описываться законом Гука.

Запаздывающая упругая деформация протекает во времени. Скорость возрастания этой деформации при постоянном напряжении монотонно убывает. После снятия напряжения запаздывающая деформация исчезает с монотонно убывающей скоростью. Это явление носит название запаздывающим упругим восстановлением.

Для упруго-вязких материалов, к которым относятся материалы рулонных покрытий пола, характерно наличие необратимой деформации. Необратимая деформация полностью остается после устранения причин ее вызывающих. Необратимая деформация – это течение материала, следовательно, такая деформация не может быть мгновенной. Необратимую деформацию часто называют остаточной деформацией.

На рис. 2.1 показана зависимость деформации упруго-вязкого материала во времени при постоянном напряжении.

ε Деформация

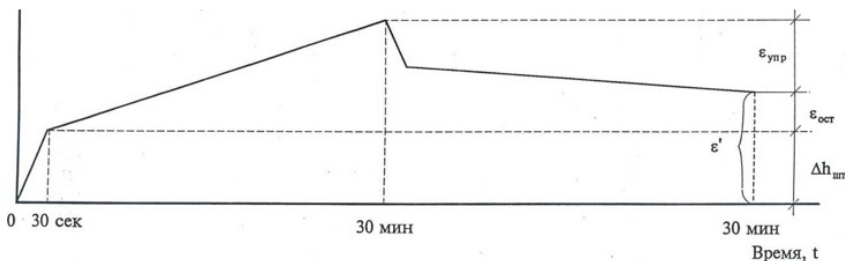


Рис. 2.1. Зависимость деформаций от времени при постоянном напряжении. Определение деформаций материалов рулонного покрытия пола

Пусть

$$\sigma = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \sigma_0, & t \geq 0 \end{cases}$$

Общая деформация равна суммы мгновенной деформации, запаздывающей и остаточной деформации

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E_0} + \frac{\sigma_0}{E_1} \left(1 - e^{\frac{-E_1}{\eta_1} t} \right) + \frac{\sigma_0}{\eta} \cdot t_1 \quad (2.2)$$

где η – коэффициент ньютоновской вязкости (Н.сек/м²).

Пусть в момент t_1 напряжение снято, т. е.

$$\sigma_0 = 0 \text{ при } t \geq t_1.$$

Мгновенная деформация (ε_0) исчезает, запаздывающая деформация убывает по простому экспоненциальному закону. Необратимая деформация полностью остается.

Таким образом, общая деформация равна

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_{\text{ост}} \text{ или } \varepsilon = \varepsilon_{\text{упр}} + \varepsilon_{\text{ост}}.$$

$\varepsilon_{\text{упр}}$ – характеризует упругие деформации материала, а отношение $\frac{\varepsilon_{\text{упр}}}{\varepsilon_{\text{ост}}}$ – может быть обобщающим критерием, характеризующим механические свойства материалов рулонных покрытий пола.

2.2. Методы исследования деформаций материалов рулонных и ковровых покрытий пола под действием статической нагрузки

Наиболее простым из существующих экспериментальных методов оценки звукоизоляционных свойств рулонных покрытий является метод оценки изоляции ударного шума по величине осадки штампа при статическом нагружении. Этот метод менее трудоемок, не требует определенной подготовки и приборной оснащённости лаборатории в отличие от стандартного метода [6]. Метод, разработанный в МИСИ и УралНИИСтромпрокте, нашел широкое применение в бывшем СССР. Подобные методы в настоящее время используются, например, в Норвегии для оценки комфортности пола при ходьбе, в Германии (DIN – 54316) и др. странах.

При разработке данной методики в МГСУ-МИСИ были исследованы вопросы: зависимости осадки штампа Δh (мягкость материала M) от времени воздействия груза; изменение мягкости в зависимости от величины груза при постоянном времени (30 сек). Для значений груза от 6 до 24 кг наблюдалась линейная зависимость; при постоянном времени и постоянном напряжении, но различном диаметре стального штампа 6, 8, 10 и 30 мм.

На основании анализа предварительных исследований были установлены наиболее оптимальные параметры: диаметр штампа 30 мм, радиус его кривизны – 500 мм; предварительная нагрузка на штамп 500 г; дополнительная – 10 кг. Осадка штампа измерялась при действии дополнительной нагрузки в течение 30 сек. Установка для определения Δh линолеумов и ковровых материалов показана на рис. 2.2.

Исследования, проведенные проф. Ковригиным С. Д. [12], позволили установить корреляционную связь и эмпирическую зависимость между временем удара τ (м. сек) и осадкой (мм) сферического штампа диаметром 30 мм.

$$\begin{aligned}\tau &= 5 M, \text{ при } M \leq 1 \text{ мм} \\ \tau &= 2 + 3 M \text{ при } M \geq 1 \text{ мм}\end{aligned}\tag{2.3}$$

На основе экспериментальных исследований рулонных покрытий пола, проведенных в НИИСФе (к.т.н. Шолоховым А. П.)

была установлена эмпирическая зависимость между индексом снижения приведенного уровня ударного шума и статической осадкой штампа для линолеумов и коврового покрытия.

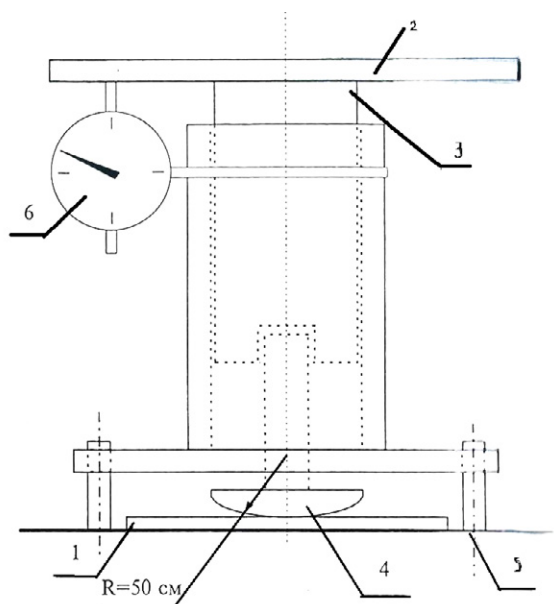


Рис. 2.2. Установка для определения статической осадки сферического штампа: 1 – образец исследуемого рулонного покрытия, 2 – площадка для груза; 3 – поршень; 4 – штамп со сферической поверхностью; 5 – жесткое основание; 6 – индикатор часового типа

$$\Delta I_y = 13,2\Delta h + 10,3 \text{ дБ} \quad (2.4)$$

Оценка звукоизоляционных свойств рулонных и ковровых материалов покрытия пола по величине осадки штампа при всей своей простоте не позволяет в полной мере учесть механические свойства материала. Поскольку осадка штампа зависит от времени и величины нагрузки. Предложенное в методике определение осадки штампа через 30 сек не позволяет для ряда материалов (особенно ковровых с высоким и средним ворсом) с небольшой плотностью при значительной скорости деформаций с достаточной точностью определить осадку штампа.

Поэтому, чтобы учесть особенности деформации материала, использовалась методика, разработанная ранее А. И. Герасимовым и М. Г. Покотило [26]. В основе методики используется штамп с вышеуказанными параметрами.

Как показывает практика, для большинства рулонных материалов скорость неравновесной деформации уменьшается во времени и достигает своего равновесного состояния в среднем через 1 час, что согласуется со стандартом определения остаточной деформации линолеумов и ковровых покрытий пола DIN-54316 и 45316.

Деформации образцов материала определялись через 30 мин воздействия нагрузки величиной 10 кг и через 30 мин после снятия нагрузки (см. рис. 2.1).

Общая деформация образца ε измерялась перед снятием нагрузки. Через 30 мин после разгрузки образца определялась деформация (ε') равная сумме остаточной деформации материала образца $\varepsilon_{\text{ост}}$ и осадки штампа весом 500 г ($\Delta h_{\text{шт}}$).

Осадка штампа соответствует деформации образца при $P = 0,5$ кг и $t = 30$ сек.

Таким образом, остаточная деформация образца равна

$$\varepsilon_{\text{ост}} = (\varepsilon' - \Delta h_{\text{шт}}).$$

Упругая деформация материала образца

$$\varepsilon_{\text{упр}} = \varepsilon - \varepsilon_{\text{ост}}$$

Затем определялось отношение $\frac{\varepsilon_{\text{упр}}}{\varepsilon_{\text{ост}}}$.

2.3. Динамический модуль упругости и коэффициент потерь

При действии на звукоизоляционный материал периодической силы деформация материала, вследствие явления упругого последствия, не успевает следовать за силой.

В момент времени, соответствующие действию силы, деформация равна $\varepsilon_0 = \varepsilon - \Delta$, где $\Delta = \varepsilon_{\text{пд}} + \varepsilon_{\text{п}}$. Модуль упругости, найденный в этот момент, называется мгновенным или динамическим модулем упругости:

$$E_d = \frac{\sigma}{\varepsilon - \Delta} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}.$$

Наиболее широко используемой формой записи динамического модуля упругости является комплексная:

$$E = E_d + iE_n \quad (2.5)$$

Действительная часть $\text{Re} E = E_d$ – получила название динамического модуля упругости. Динамический модуль упругости представляет собой отношение составляющей напряжения, совпадающей по фазе с деформацией, к величине этой деформации. Динамический модуль характеризует величину энергии, получаемой и отдаваемой единицей объема тела за период.

Мнимую часть $\text{Im} \cdot E = E_n$ называют модулем потерь. Модуль потерь представляет собой отношение составляющей напряжения, отличной от деформации на $\pi / 2$, к величине деформации.

Модуль потерь характеризует ту часть энергии, которая необратима рассеивается за период деформации.

Отношение E_n / E_d – тангенс угла между этими векторами на комплексной плоскости, называют тангенсом угла потерь или коэффициентом потерь. Выражение (2.5) записывают в виде

$$E = E_d(1 + i\eta), \quad (2.6)$$

где η – коэффициент потерь.

Коэффициент потерь характеризует влияние, оказываемое внутренним трением на распространение упругих колебаний в материале рулонных покрытий полов.

2.4. Резонансные методы определения динамических характеристик материалов

Широкое распространение в практике определения динамических характеристик звукоизоляционных материалов (прокладочных материалов и материалов рулонных покрытий пола) получили резонансные методы, благодаря простоте проведения измерений. Недостатком резонансных методов является то, что они позволяют проводить измерения только на одной, иногда на двух или трех частотах, лежащих в диапазоне

30...150 Гц, поскольку применяемые системы имеют одну или две степени свободы [22]. На рис. 2.3 показана блок-схема измерений.

Для проведения измерений используется вибратор-прибор, возбуждающий продольные колебания в образце звукоизоляционного материала. Образец укладывают на столик виброметра и нагружают грузом массой M , выбранной так, чтобы нагрузка на образец соответствовала бы нагрузке на упругий слой в конструкции плавающего пола или рулонного пола.

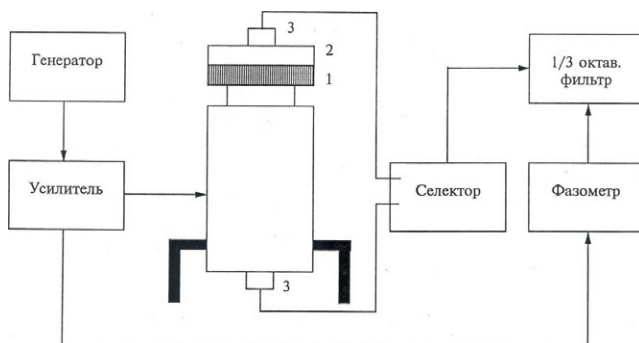
Нагрузка на материал рулонного пола определяется исходя из величины эксплуатационной нагрузки от 150 до 300 кг/м² в зависимости от назначения помещений в жилых и общественных зданиях. Сигналом генератора звуковых частот возбуждаются продольные, вертикальные колебания системы: стол вибратора – образец – груз. При помощи пьезодатчиков определяются параметры вибраций ускорения (или скорость или смещение) стола и груза. Плавно меняя частоту возбуждающего сигнала, находят резонансную частоту, которой соответствует максимальное ускорение (скорость, смещение) груза.

Динамическая жесткость образца определяется по формуле

$$S = 4\pi f_p^2 \cdot M \quad (2.7)$$

где f_p – резонансная частота, Гц;

M – масса груза, кг.



Коэффициент потерь вычисляется по формуле

$$\eta = \frac{1}{[(\frac{a_1}{a_2})^2 - 1]^{0,5}} \quad (2.8)$$

где a_1 и a_2 – ускорения соответственно стола и груза на резонансной частоте, м/с².

Измерения по такой схеме возможны, когда собственная резонансная частота вибратора много меньше резонансной частоты системы образец-груз. Однако в практике используемые для измерений вибраторы имеют собственную динамическую жесткость S_1 (жесткость подвески) и массу M_v (масса подвижной системы). Эти параметры необходимо учитывать.

В случае колебательной системы с одной степенью свободы, когда груз после обжатия образца жестко закреплен (неподвижен), динамическая жесткость образца определяется по формуле:

$$S = 4\pi^2 f_p^2 M_v - S_1 \quad (2.9)$$

где M_v – масса подвижной системы вибратора, кг;

S_1 – динамическая жесткость подвески вибратора, Н/м.

Для определения коэффициента потерь материала образца измеряется частота f_1 , на которой смещение стола вибратора уменьшается в два раза по сравнению со смещением на резонансной частоте f_p и находится коэффициент потерь системы η_c

$$\eta_c = \frac{\mp(f_1/f_p)^2 \pm 1}{\sqrt{3}} \quad (2.10)$$

Верхние знаки в числителе соответствуют случаю, когда

$f_1 < f_p$, нижние – $f_1 > f_p$.

Коэффициент потерь звукоизоляционного материала определяется из выражения

$$\eta = \eta_c + \frac{S_1}{S} (\eta_c - \eta_v) \quad (2.11)$$

где η_v – коэффициент потерь вибратора.

Характеристики вибратора: жесткость, масса подвижной системы и коэффициент потерь, определяются при тарировке прибора [22].

В случае использования системы с двумя степенями свободы (груз не закреплен) измерения осуществляются также как в предыдущем случае. Такая колебательная система имеет две резонансные и одну антирезонансную частоты. На резонансных частотах динамическая жесткость образца находится по формуле:

$$S = \frac{4\pi^2 \cdot f_p^2 \cdot M_B - S_1}{M_B + M - \frac{S_1}{4\pi^2 \cdot f_p^2}} \cdot M \quad (2.12)$$

Динамические характеристики на антирезонансной частоте определяются по формулам (2.7) и (2.8), но вместо массы M используют массу подвижной системы вибратора M_B .

Получив в результате измерений динамическую жесткость образца, можно вычислить приведенную динамическую жесткость S' , Н/м³, а также динамический модуль упругости материала E_d , Н/м².

$$S' = \frac{S}{F} \quad (2.13)$$

где F – площадь образца материала, м².

$$E_d = \frac{S \cdot h_0}{F} \quad (2.14)$$

где h_0 – толщина образца материала в обжатом состоянии, м.

Выражение (2.14) справедливо для одноосного напряженного состояния, когда не возникает напряжений в сечениях, перпендикулярных оси сжимающей силы. Это имеет место в случае, когда коэффициент Пуассона материала близок к нулю. Исследуемые в работе рулонные материалы покрытия пола (линолеумы, ковровые покрытия) имеют $\mu \approx 0$.

В данной работе для определения динамических характеристик материалов рулонных покрытий полов использовались резонансные методы (Схема испытательного стенда – см. рис. 2.3).

2.5. Определение динамических характеристик в диапазоне нормируемых частот

Динамические характеристики материалов рулонных покрытий пола, определенные резонансным методом, характеризуют звукоизоляционные свойства материала в конструкции пола только на низких частотах, что в ряде случаев недостаточно.

Для построения частотной характеристики улучшения изоляции ударного шума рулонными полами необходимо знать частотную зависимость динамических характеристик. Для определения и исследования частотной зависимости динамических характеристик материалов рулонных покрытий пола был использован метод передаточной функции [21].

В основу метода положено рассмотрение колебательных свойств систем с распределенными параметрами. Колебательное движение образца материала описывается одномерным волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\rho}{E} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.15)$$

где u – смещение в произвольном сечении образца;

ρ – плотность материала образца;

E – модуль упругости

Если длина образца l меньше 4-х кратной его ширины, то уравнение (2.15) может иметь вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\rho \cdot \alpha_k}{E} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.16)$$

где α_k – коэффициент формы образца

$$\text{или } \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\rho \cdot F}{K \cdot h} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.17)$$

где S – комплексная жесткость образца; h и f – толщина и площадь образца. Решение уравнения (2.17) в виде:

$$u = (C_1 \cdot e^{-\gamma x} + C_2 \cdot e^{\gamma x}) \cdot e^{i\omega t} \quad (2.18)$$

где $\gamma = \alpha + i\beta$ – постоянная распространения;

α – коэффициент затухания;

$\beta = \omega / c$ – волновое число (c – скорость звука в образце).

Подставляя (2.18) в (2.17), находим комплексную жесткость и ее компоненты, выраженные через комплексную постоянную распространения

$$S = \frac{M_0 \omega^2}{h} \cdot \frac{\beta^2 - \alpha^2}{(\alpha^2 + \beta^2)^2} \quad (2.19)$$

где M_0 – масса образца.

Коэффициент потерь определяется по формуле

$$\eta = \frac{2\alpha\beta}{\beta^2 - \alpha^2} \quad (2.20)$$

Для определения комплексной постоянной γ и ее компонентов α и β используем метод передаточной функции или ускорений.

Рассмотрим отношение ускорений начала и конца образца нагруженного массой. Оно имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \tau_x &= \frac{a_2}{a_1} \cdot \cos \varphi \\ \tau_y &= \frac{a_2}{a_1} \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.21)$$

где φ – сдвиг фазы между колебаниями верха и низа образца;

a_1 и a_2 – ускорение на верхней и нижней гранях образца.

На рис. 2.3 представлена блок-схема измерения в диапазоне нормируемых частот 100...3200 Гц параметров φ , a_1 и a_2 , необходимых для определения τ_x и τ_y .

Волновые параметры, необходимые для определения динамической жесткости (2.19) и коэффициента потерь (2.20) находятся решением уравнения, приведенного ниже, подстановкой в него значений τ_x и τ_y из эксперимента.

$$\begin{aligned} \tau_x &= \frac{m_0}{M} (\alpha \ell \cdot \text{sh} \alpha \ell \cdot \cos \beta \ell - \beta \ell \cdot \text{ch} \alpha \ell \cdot \sin \beta \ell) + \text{ch} \alpha \ell \cdot \cos \beta \ell \\ \tau_y &= \frac{m_0}{M} (\alpha \ell \cdot \text{ch} \alpha \ell \cdot \sin \beta \ell + \beta \ell \cdot \text{sh} \alpha \ell \cdot \cos \beta \ell) + \text{sh} \alpha \ell \cdot \sin \beta \ell \end{aligned} \quad (2.22)$$

Для решения уравнений составлена программа и алгоритм на языке Фокал [27].

На рис. 2.4 показана блок-схема программы вычисления динамических характеристик материалов рулонных покрытий пола по результатам измерений методом комплексного отношения ускорений.



Рис. 2.4. Блок-схема программы вычисления динамических характеристик материалов рулонных покрытий пола по результатам измерений методом комплексного отношения ускорений

Динамический модуль упругости материала образца рулонного покрытия пола определяется по формуле

$$E_d = \frac{h \cdot S}{F}, \frac{H}{M^2} \quad (2.23)$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно
в интернет-магазине «Электронный универс»
(e-Univers.ru)