

УДК 625.7:005

**И.Б. Челпанов**

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

**С.М. Евтеева**

Саратовский государственный технический университет

**В.В. Талалай**

ООО «НИЦ технического регулирования», г. Саратов

**А.В. Кочетков, Б.С. Юшков**

Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет

## **СТАНДАРТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

*Предлагается обсуждение одного из важных вопросов дорожного хозяйства – использование принципов технического регулирования при выборе эксплуатационных показателей, их нормирования и методов испытания строительных и дорожных материалов с учетом наиболее близких аналогов в науке и технике.*

***Ключевые слова:** испытания, стандартизация, дорожно-строительные материалы.*

В материалистической философии утверждается, что критерием истинности любых положений или теорий является практика. Подразумевается, что теория предшествует практике. Эти представления могли бы быть без всяких изменений перенесены на проблематику взаимоотношений теории и испытаний не только в фундаментальных науках, но и в технике. Однако в действительности дело обстоит сложнее [1, 2, 3].

В технике и в строительстве те параметры, которые условно считаются постоянными, в действительности не являются строгими константами, и для их определения по результатам испытаний вполне достаточно ограниченной точности, поскольку существует естественная нестабильность. Например, при определении геометрических размеров деталей машин вполне достаточна точность  $10^{-3}$  %, поскольку такой

порядок имеет изменение линейного размера материала при нагревании на 1 °С. Для деталей или элементов, работающих в заведомо более широких диапазонах возможных изменений температур, требования к точности снижаются на порядок или даже на два.

Обобщенный опыт обоснования требований к точности выражается в стандартизованной системе допусков на линейные размеры при изготовлении. При измерениях допускаемые погрешности средств измерений устанавливаются в несколько раз меньше. В большинстве ситуаций по естественной неопределенности значений параметров необходимо оценивать ширину зоны неопределенности для определяемых параметров. В математике такая процедура называется интервальным оцениванием. В общих математизированных понятиях метрологии этот подход находит использование в концепции неопределенности значений измеряемых или нормируемых параметров. Принимается, что свойства объекта неопределенны в некоторых пределах сами по себе, и имеет смысл их определять по результатам испытаний не с очень высокой точностью, или даже можно испытания не проводить, а использовать справочные данные. Например, для различных марок сталей можно не определять по испытаниям модуль Юнга и коэффициент термического расширения, а достаточно использовать средние значения из справочников.

Определяемые параметры изменяются в достаточно широких пределах, на них влияет большое количество факторов, в том числе трудно контролируемых. Таковы коэффициенты трения (в частности, коэффициент сцепления в дорожном хозяйстве). Несмотря на то, что физическая теория трения глубоко проработана несколькими поколениями ученых, а объем экспериментальных исследований необозрим, используемые при расчетах значения коэффициентов трения скольжения в течение многих десятилетий опираются на результаты достаточно грубых технических испытаний, а не точных физических экспериментов. Естественная неопределенность определяется влиянием большого числа влияющих факторов, таких как разброс по высоте и плотность активных выступов шероховатости поверхностей, наличие и свойства смазки, удельное давление, температура, вибрации и многое другое.

Невозможность опираться только на теорию, на результаты расчетов сильнее всего проявляется, когда значителен человеческий фактор. Это относится к автоматизированным процессам производства. Только экспериментально могут быть надежно определены показатели, характеризующие качество работы производственных участков с уче-

том подготовительных операций, остановок на переналадку и устранение отказов и пр. Точность может быть достаточно низкой, например при испытаниях на определение таких величин, как производительность (средняя, максимальная).

Во всех практических приложениях следует рассматривать следующие аспекты подготовки испытаний или экспериментальных исследований: определение и, если это необходимо, обоснование целей испытаний; выбор принципов и/или методов испытаний; разработка основ методик испытаний; выбор или проектирование и изготовление необходимого испытательного оборудования (стендов, установок) или целых комплексов; выбор необходимых средств измерений; выбор способов и технических средств регистрации, алгоритмического и программного обеспечения для обработки с целью получения и представления в требуемой форме окончательных результатов испытаний.

Испытания могут осуществляться разными организациями, различными могут быть программы испытаний, для одних и тех же объектов испытания могут проводиться только один раз или несколько раз. Подробные испытания образцов партий химических компонентов разметочных материалов часто осуществляются на заводе-производителе, а далее нигде не повторяются. Но если характеристики поставляемых материалов или заготовок недостаточно стабильны, испытания с определением только некоторых показателей могут проводиться дополнительно у заказчика. Поэтому сложны процессы испытаний разметочных материалов для автомобильных дорог на этапах производства, приемочного и операционного контроля.

Однако в технике и в строительстве испытаниям могут подвергаться не только материальные объекты, но и производственные и вычислительные процессы, такой подход имеет свою специфику. При исследовании процессов можно не останавливать внимание на оборудовании и материалах, а достаточно представлять процесс как последовательное (непрерывное, дискретное или комбинированное) преобразование, определяемое изменяющимися физическими величинами (например, при разметке автомобильных дорог изменениями линейных размеров, формы и качества поверхностей разметки) и соответствующими параметрами. В непрерывных химических производствах, например разметочных материалов для потоков, процесс представляется химическими реакциями, смешиванием или разделением составных частей смесей, а главное – изменениями по определенным законам

температур, давлений, агрегатных состояний, а также синтезом или распадом. Естественно, эти процессы могут подвергаться экспериментальному исследованию изменений этих параметров по этапам и изменений их протекания во времени (ускорением или замедлением, введением или ликвидацией выдержек времени).

В настоящее время экспериментальное исследование процессов можно рассматривать в рамках глобальной концепции так называемого процессного подхода, развиваемого в связи с общей проблематикой менеджмента качества по последним версиям стандартов ИСО серии 9000 (стандарт ИСО 9000:2000 *Система менеджмента качества: основы и словарь*), идеологически связанного с принципами технического регулирования.

Испытания образцов материалов в разных областях техники и в строительстве производятся с самыми разными целями, и определению могут подлежать самые разные свойства и параметры. Для химически чистых веществ существуют стандартизованные общие перечни характеристик, подлежащих экспериментальному определению. В них входят плотность, температуры плавления и кипения, коэффициент термического расширения, теплопроводность, удельная теплоемкость, электропроводность, растворимость и т.д. По отдельным группам веществ добавляются другие показатели: например, для оптических материалов это коэффициенты преломления и поляризации; для веществ, изменяющих при определенных температурах кристаллическую решетку, это параметры точек перехода и те же характеристики по интервалам.

Для известных и хорошо изученных веществ большое число всех этих и многих других показателей давно определено, и эти данные существуют в различных справочных изданиях. При химическом анализе технически чистых металлов и сплавов обычно определению подлежат показатели содержания основных составляющих и примесей. В ряде случаев даже малые примеси значительно изменяют свойства. Для некоторых сплавов, например на основе алюминия, меди, цинка, существуют целые группы отдельных стандартов на анализы, проводимые с целью определения содержания вполне определенных примесей. Для новых материалов (например, пластмасс, композитных на различной основе, специальной керамики, полупроводниковых материалов и т.п.) эксперименты проводятся в больших объемах по мере их появления.

В технике и в строительстве цели, задачи, программы и методы испытаний материалов зависят от их назначения и специфики применения. Для прозрачных оптических материалов, таких как техническое

стекло, применяемое при изготовлении микростеклошариков дорожной разметки, помимо коэффициента преломления важнейшими являются показатели однородности и гладкости поверхностей, прозрачность, температура размягчения и термостойкость, а также еще несколько показателей. В подавляющем большинстве случаев для испытаний вполне достаточны существующие методики и типовое испытательное оборудование. Для большинства материалов важны задачи определения и контроля химического состава и диагностики состояния (отсутствия трещин).

Разные экспериментально определяемые показатели имеют различную значимость для определенных технологий изготовления. Например, применительно к нанесению покрытий важна соединяемость покрытий с основой и прочность таких соединений.

Достаточно хорошо известны характеристики конструкционных материалов, наиболее существенные для эксплуатации изделий. При проектировании конструкций учитываются: предел текучести, предел прочности (раздельно при растяжении, изгибе или сжатии), коэффициент Пуассона, коэффициент термического расширения. Применительно к эксплуатационным режимам работы поверхностей многих изделий важны: твердость, коэффициенты трения с другими материалами при смазке и без нее, смачиваемость, коррозионная стойкость, прочность (обычная, ударная и вибропрочность сварных и иных соединений), иногда прочность соединений с различными пленочными покрытиями. Для изделий, длительное время работающих при высоких температурах, важна ползучесть.

Ограничимся далее кратким обзором свойств конструкционных материалов, обращая внимание на те виды испытаний, которые требуют использования специального испытательного оборудования. Для металлов важнейшими являются испытания на прочность, предварительные сведения об этих испытаниях дают учебники по сопротивлению материалов. По результатам испытаний на те или иные виды нагружения определяются в первую очередь перечисленные ранее показатели. Стандартные образцы испытываются на специальных стендах на растяжение и (или) сжатие, кручение. Результаты представляются в виде статической диаграммы растяжения. По ней после пересчета на напряжения определяются модуль Юнга, пределы пропорциональности, упругости, текучести, прочности, соответствующие относительные удлинения.

Если признается необходимым, осуществляются следующие виды испытаний: на усталостную прочность (при длительном циклическом нагружении), на ударопрочность при ударных воздействиях, на воздействие факторов, вызывающих коррозию, на ползучесть. Если важна прочность изделий при высоких или очень низких температурах, перечисленные испытания необходимо проводить при высоких (особенно при исследовании явлений ползучести) и очень низких температурах. Подобные испытания требуют использования специального оборудования, в котором стенды, задающие силовые воздействия, объединены с термокамерами. Помимо указанных выше представляют интерес такие свойства, как обрабатываемость при использовании различных технологий, свариваемость с другими материалами, износостойкость. Самостоятельными являются задачи определения свойств поверхностей и поверхностных покрытий, в частности коэффициент трения поверхностей, смачиваемость и т.д. Для любых покрытий в первую очередь важны сцепляемость с пленочными покрытиями, коррозионная стойкость. Для этих показателей в качестве важного влияющего фактора применительно к особым условиям использования может рассматриваться температура. Даже по отношению к образцам определенного типа методы и методики испытаний зависят от назначения и места в конструкции. Прочность и надежность железобетонных изделий существенно зависят от арматуры, по ее испытаниям имеются стандарты, например ГОСТ 28334–89 «Проволока и канаты стальные для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций. Метод испытания на релаксацию при постоянной деформации». В железобетонном строительстве всегда существенна неоднородность бетона, обусловленная значительным разбросом свойств цемента даже одной марки по партиям. Поэтому особо важны испытания образцов цемента и уже приготовленного бетона. В этой области следует упомянуть ГОСТ 310.1–76 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения», ГОСТ 310.2–76 «Цементы. Методы определения тонкости помола», ГОСТ 310.4–81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии», ГОСТ 24544–81 «Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести», ГОСТ 24545–81 «Бетоны. Методы испытаний на выносливость».

Многие органические материалы характеризуются нестабильностью, прогрессирующим ухудшением свойств и недолговечностью по сравнению с металлами. Это нужно учитывать при планировании

и проведении их испытаний. В соответствии с этим в свое время значительное внимание уделялось испытаниям резин. В качестве примеров можно привести ГОСТ 269–66 «Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний».

Особое внимание в последние два десятилетия было обращено на композитные материалы, о чем свидетельствует ГОСТ 25.603–82 «Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов)».

Учет неоднородности и многих других факторов приводит к необходимости вырезать и испытывать образцы из разных мест объемов заготовок и изделий. При поверхностной обработке с целью упрочнения слоев механические свойства существенно изменяются на глубинах менее миллиметра, для исследования этих эффектов используются процедуры последовательных испытаний одного и того же образца, в котором удаляются тонкие слои друг за другом.

Иногда существенен масштабный фактор; известно, что образцы малых размеров из того же материала, что и большие, часто имеют более высокие показатели прочности, чем большие. Этот эффект существенен при изменениях площадей сечений на порядки, и тогда его нужно учитывать. В два последних десятилетия усилилось внимание к стойкости неметаллических материалов по отношению к биологическим факторам, разработаны методы и методики проведения соответствующих испытаний.

Во всех случаях перечисленные виды испытаний во всем мире являются массовыми, стенды для испытаний материалов выпускаются серийно, а методики испытаний стандартизованы. Однако техника стендовых установок совершенствуется в первую очередь в сторону большей универсальности и более высокого уровня автоматизации. При использовании любых технологий сборки в сборочных единицах (например, в мостостроении) появляются элементы, от которых существенно зависит надежность изделий, – неразъемные и разъемные соединения. Поэтому соединения, например сварные, паяные и др., должны рассматриваться как объекты испытаний и подвергаться испытаниям на длительную прочность, ударостойкость и виброустойчивость.

Иногда нужно иметь в виду неоднородность свойств по большим объемам материалов, может быть, твердых, но в первую очередь сыпучих и жидких. Это типично, когда необходимо контролировать состоя-

ние наполнений в больших хранилищах нефтепродуктов (битума), компонентов приготовления материалов дорожной разметки и т.п. В подобных случаях возникает проблема правильного отбора проб, для подобных процедур также существуют стандарты.

В дорожном хозяйстве установлено, что неоднородность свойств строительных материалов, используемых при устройстве дорожных покрытий, приводит к неравномерности показателей прочности и плотности. Это определяет неравномерность износа и колееобразования при эксплуатации дорожного покрытия, которые, в свою очередь, вызывают значительные отклонения показателей продольной и поперечной ровности, коэффициента сцепления, вызывающие повышенный риск возникновения дорожно-транспортных происшествий. Более высокие требования предъявляются к изменениям свойств строительных материалов в мостостроении.

Сказанное определяет особенности и требования к дальнейшему совершенствованию нормативно-методического обеспечения испытаний материалов в технике и дорожном хозяйстве на основе учета принципов технического регулирования – оценки степени риска и степени причиняемого ущерба по ряду независимых факторов технологической или экологической безопасности с учетом указанных законов и Федерального закона № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (от 26.06.2008). Существуют ситуации, когда вопрос о выборе параметров испытательных воздействий не возникает, например, если реализуется ясный сам по себе принцип определительных разрушающих испытаний, то параметры испытательного воздействия повышаются, пока не наступает разрушение испытуемого объекта.

Однако во многих случаях нужны совсем другие подходы. Кажется бесспорным утверждение, что при формировании программ испытаний, при выборе испытательного оборудования и задании режимов испытаний необходимо ориентироваться на реальные условия эксплуатации изделий, по возможности правильно воспроизводить эти условия, возможно, только несколько утяжеляя режимы. Для изделий определенных классов такой подход является вполне оправданным и реализуемым. Существуют технические средства, которые работают непрерывно в течение длительных интервалов времени между редкими остановками преимущественно в стабильных, установившихся режимах, например это деформационные швы мостовых сооружений.

Постоянные или близкие к постоянным параметры режимов и условий эксплуатации в подобных случаях известны и могут быть воспроизведены при испытаниях с использованием самого распространенного оборудования. Однако условия работы большинства технических объектов неопределенны, могут изменяться в очень широких пределах, и ни о какой стабильности или стационарности режимов не может идти речь. Таково, например, большинство средств городского транспорта и их подсистем (для автомобиля это двигатель, трансмиссия, подвеска). Сказываются такие факторы, как загрузка, температура воздуха, качество и текущее состояние дорожных покрытий, наличие и параметры подъемов и спусков, ограничения на скорости движения, частота чередования разгонов и торможений и мн. др.

Встает вопрос: как планировать испытания, если условия эксплуатации неопределены? Было время, когда представлялось, что выход заключается в том, чтобы считать все воздействующие факторы случайными функциями времени с определенными вероятностными свойствами и привлекать к описанию этих факторов и вызываемых ими эффектов хорошо разработанную математическую теорию случайных процессов, в первую очередь спектральную. При таком представлении основными характеристиками являются спектральные плотности, которые характеризуют осредненные распределения амплитуд по частотам. В определенных областях такой подход оказался плодотворным и нашел отражение в многочисленных работах 60-х – 70-х гг. в различных областях приложений, в том числе и в механике.

Отказ от предположения, что воздействия являются синусоидальными, и взамен этого введение представлений о широкополосных шумовых воздействиях с непрерывным спектром, когда в процессе равномерно или неравномерно присутствуют все частоты в некотором диапазоне, оказались плодотворными и широко используются в радиотехнике, в теории виброзащиты и т.д. Записи таких процессов, которые рассматриваются как случайные, так называемые «реализации», могут производить впечатление полной хаотичности (но при видимой ограниченности уровня) или же в них могут просматриваться определенные преимущественные частоты.

Воспроизведение реализаций таких процессов возможно на программных стендах, при этом как будто воспроизводится случайный характер воздействий. Однако предположение, что воздействия имеют

определенные, устойчивые спектральные характеристики означает предположение о некоторой устойчивости, стабильности по свойствам, что совершенно не соответствует правильным интуитивным представлениям о неопределенности.

Вместе с тем задание воздействий с непрерывным спектром может оказаться полезным при исследовательских испытаниях, если даже не ставится задача приближения к реальным условиям. Так, если при исследовательских испытаниях требуется определять собственные, резонансные частоты, то можно было бы проходить весь диапазон медленно, плавно или малыми ступенями, изменяя частоту синусоидального воздействия. Однако вместо этого можно задать широкополосное воздействие с более или менее равномерным распределением по частотам. Тогда в регистрируемых колебаниях выделяются пики спектральной плотности вблизи резонансных частот, их можно зарегистрировать по результатам спектрального анализа с помощью спектроанализатора. Отметим, что при таком способе спектр воздействий на испытуемый объект должен быть действительно непрерывным.

Если требуется воспроизведение при испытаниях свойств реальных воздействий, то для получения информации о них по месту установки объекта устанавливаются датчики, а обработка их выходных сигналов осуществляется также с помощью спектроанализатора.

В большинстве случаев при задании испытательных воздействий используют дифференцированные по видам нормы, зафиксированные в нормативных документах различных уровней. Например, все объекты, на которых должна работать аппаратура, делятся на группы, для каждой группы по определенным частотам или полосам частот для воздействий устанавливаются амплитуды или уровни спектральных плотностей, на которые нужно испытывать объект при стендовых испытаниях.

В типовые программы испытаний приборов различного назначения обычно включаются испытания на синусоидальные и стационарные случайные вибрации с определенными спектральными плотностями линейных виброускорений. Для воспроизведения случайных процессов могут быть использованы вибростенды, имеющие системы программного управления, допускающие генерирование и воспроизведение любых (с определенными ограничениями) законов вибраций. Собственно генерирование реализаций стационарных случайных процес-

сов может осуществляться по двум принципам: или суммированием достаточно большого числа (порядка десятка) синусоидальных составляющих некратных частот, или фильтрацией создаваемого специальной компьютерной программой так называемого белого шума, в котором равномерно представлены все частоты. Реализации, создаваемые этими двумя способами, по виду могут быть совершенно неразличимы, но результаты испытаний при таких способах задания воздействий могут быть совершенно различными.

В любом случае используемое при таких испытаниях условие стационарности, неизменности во времени амплитудных и частотных свойств, удобное при воспроизведении, противоречит исходной идее о приближении реальным условиям эксплуатации, которые, как для средств транспорта, нестабильны вследствие изменения режимов, скоростей движения, подъемов и спусков и т.п. Чтобы учесть этот фактор крупной нестабильности, можно применить следующие способы:

- выбирать типичные ситуации, для них определять спектральные плотности, испытания проводить по этапам, каждый этап в течение заданного интервала времени при имитации условий определенного режима;

- для спектральных плотностей воздействий в разных режимах по шкале частот строить огибающую сверху и испытания проводить как одноэтапные.

Первый вариант требует больших временных затрат, кроме того, следует отметить, что существует значительный произвол в выборе числа вариантов. Во втором случае условия испытаний оказываются заведомо более тяжелыми, поскольку разные режимы, для которых строятся спектральные плотности, в действительности не реализуются одновременно.

Задачи обоснованного задания условий испытаний еще более усложняются, если учесть возможности появления ударных воздействий, свойства которых часто нельзя изучать на реальных объектах. Спектральное описание ударных воздействий хотя в принципе и возможно, но оказывается совершенно непригодным. Поэтому обычно программы испытаний на ударные воздействия берут из нормативных документов, где указывается пиковое значение силы или ударного ускорения и длительность, а также число ударов.

Наконец, встречаются ситуации, когда при исследовательских испытаниях, испытаниях «для себя», для выбора параметров (в первую очередь уровней, амплитуд) испытательных воздействий вообще нет убедительных оснований. Тогда эти параметры назначаются, например, как предельные для стендового оборудования, если испытуемый объект эти воздействия выдерживает. Это оказывается полезным для выявления слабых мест конструкций или промахов при конструировании.

### **Список литературы**

1. Методика измерений характеристик дорожно-строительных материалов, аттестация, градуировка, поверка / Ю.Э. Васильев [и др.] // Строительные материалы. – 2010. – № 5. – С. 92–95.
2. Стандартизация испытаний материалов и изделий в дорожном хозяйстве / Ю.Э. Васильев [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 4. – С. 64–67.
3. Кокодеева Н.Е., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Методические подходы реализации принципов технического регулирования в дорожном хозяйстве // Вестник ПГТУ. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2011. – № 1. – С. 44–56.

Получено 15.09.2011