

режиме измерений достаточно точную информацию о резонансах конструкций дорожных одежд.

По частоте резонанса и толщине слоя покрытия управляющим компьютером автоматически вычислялась скорость распространения вибрационно-акустических колебаний в каждой асфальтобетонной плите в соответствии с уравнениями (5). Далее в соответствии с формулами (6) определялся модуль упругости.

В качестве примера один из конкретных экспериментальных результатов определения модуля упругости получен следующим образом. Например, для среднего слоя автомобильной дороги частота собственных колебаний равна: $f_c = 5\ 670$ Гц (см. рис. 1).



Рисунок 1 — Участок спектрограммы собственных колебаний соответствующий среднему слою покрытия исследуемой дорожной конструкции

По результатам георадарных измерений результат усредненных мгновенных (с частотой 40 МГц) значений толщины среднего слоя составил: 20 см. Следовательно, для среднего слоя автомобильной дороги скорость распространения акустических волн в соответствии с (5) равна: $v_c = 2 \cdot l \cdot f_c = 2 \cdot 20 \cdot 10^{-2} \cdot 5670 = 2268 \text{ м/с}$.

Модуль упругости соответственно равен:

$$E = \rho \cdot v_c^2 = 2190 \cdot 2268 \cdot 2268 = 11265 \text{ МПа.}$$

С целью получения метрологических оценок и сравнения полученных результатов, в лабораторных условиях были определены модули упругости нескольких слоев, в том числе верхнего и среднего слоев конкретной дорожной конструкции.

Сравнительные лабораторные испытания модулей упругости этих слоев, проведенные по стандартной методике независимым методом,

дали результаты, совпадающие с полученными приборными данными на уровне $\pm 3,0\%$, что для подобных исследований характеризует высокое качество проведенной разработки.

Следовательно, лабораторные исследования и сравнения полученных результатов с приборными данными, полученными в режиме автоматических экспресс-измерений прочности слоев дорожных покрытий, показали высокое качество проведенной разработки.

Литература

1. Чернобай, И.А. Совершенствование георадарной технологии для определения качества автомобильных дорог / А.В. Громыко, А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Материалы 4-ой МНТК «Приборостроение-2011», – Минск, 2011. – С. 295–296.
2. Чернобай, И.А. Георадарноакустическая аппаратура экспресс-контроля качества покрытий автомобильных дорог / А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. научн. тр. / Под ред. Н.П. Мигуна. – Минск, 2013. – 380 с. – С. 296–304.
3. Чернобай, И.А. Функционирование георадарноакустического комплекса по определению прочности слоев автомобильных дорог / А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Достижения физики неразрушающего контроля: сб. научн. тр. / Под ред. Н.П. Мигуна. – Минск, 2013. – 380 с. – С. 305–311.
4. Чернобай, И.А. Исследование точности функционирования георадарноакустического аппаратного комплекса по определению прочности дорожных покрытий / А.В. Громыко, А.Ф. Романов, А.И. Ходасевич, И.А. Чернобай // Материалы третьей МНПК «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния», – Минск, 28-29 апреля 2015. – С. 208–213.
5. Чернобай И.А., Романов А.Ф., Ходасевич А.И. Метод и аппаратура компенсации динамических погрешностей георадарноакустических измерений прочности дорожных покрытий. – Научно-практический журнал Неразрушающий контроль и диагностика. – № 4. – 2017. – С. 16–33.

УДК 621

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ МЕР ВМЕСТИМОСТИ СТЕКЛЯННЫХ

Хомич О.А.¹, Киселёв М.Г.²

¹Белорусский государственный институт метрологии, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Согласно закону Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений» все средства измерений, используемые в сфере законодательной метрологии, должны подвергаться мет-

рологическому контролю с целью обеспечения необходимой точности измерений и защиты прав и законных интересов граждан и государства от последствий неточных и неправильно выпол-

ненных измерений. Метрологический контроль включает в себя утверждение типа средств измерений, метрологическую аттестацию средств измерений, поверку, калибровку и метрологическое подтверждение пригодности методик выполнения измерений. В отношении средств измерений, таких как меры вместимости стеклянные, это будет поверка, калибровка, метрологическая аттестация и утверждение типа средств измерений. Для периодического метрологического контроля используются поверка либо калибровка.

К мерам вместимости стеклянным относятся такие средства измерения как цилиндры, мензурки, колбы и пробирки по ГОСТ 1770; бюретки и пипетки по ГОСТ 29227; измерительные колбы к вискозиметру типа ВУ по ГОСТ 1532; колбы стеклянные с градуированной горловиной по ГОСТ 12738; измерительные стаканы к осадкомеру и дождемеру по ГОСТ 29932 и другое. Применительно к мерам вместимости стеклянным поверка проводится поверка лишь однажды – при выпуске из производства и действует на протяжении всего срока эксплуатации данного средства измерений. Поверка таких средств измерений проводится по ГОСТ 8.234-2013 «Меры вместимости стеклянные. Методика поверки».

Таким образом, до недавнего времени не существовало способов периодического метрологического контроля в отношении мер вместимости стеклянных. А ведь меры вместимости стеклянные используются в таких важных жизненных сферах как здравоохранение, химическое производство и другие, где осуществляется проведение опытов, испытаний и точных измерений. Технические параметры и метрологические характеристики средств измерений очень важны в этом случае. Поэтому была разработана методика калибровки МРП МК 47 07.452 – 2016 «Меры вместимости стеклянные. Методика калибровки», что стало позволять получать результат в виде отклонения от номинального значения действительной вместимости и расширенной неопределенности, основанного на предполагаемом нормальном распределении.

Результат измерений при поверке предполагает вероятность более широкого разброса показаний, чем результат измерений при калибровке, где более узко с заданной вероятностью можно предполагать попадание результата измерения в указанный диапазон. Таким образом, применение результата измерений, полученного при калибровке, в некоторых случаях будет предпочтительным, потому что сможет обеспечить необходимую точность в отличие от результата измерений, полученного при поверке. Тем более, что при первичной поверке мер вместимости стеклянных в свидетельстве о поверке указан результат в виде соответствия меры вместимости стеклянной своим техническим и метрологиче-

ским характеристикам. И, зачастую, действительное значение вместимости остается неизвестным, если это не указано в свидетельстве о поверке или паспорте на средство измерения.

При калибровке, как правило, выполняется большее количество операций по определению вместимости, что позволяет иметь более широкое представление о самом средстве измерения. Это позволяет провести анализ в части улучшения его метрологических характеристик, например, выполняя измерительные операции в лучших условиях окружающей среды, создавая их в калибровочной лаборатории. Если это возможно при выявлении исключить иные влияющие факторы, либо учитывать их влияние на результат измерения путем внесения поправок и другими способами.

Меры вместимости стеклянные имеют свою классификацию и классы точности. В зависимости от класса точности средства измерения отклонение от номинального значения вместимости могут отличаться в несколько раз, что гораздо ограничивает их область использования. Применение результатов калибровки позволяет сделать данное средство измерений более универсальным независимо от класса точности меры вместимости стеклянной, потому что, как показывает практика, метрологические характеристики средства измерения при калибровке имеют лучшие параметры, чем метрологические характеристики средства измерения при поверке.

Если в мере вместимости стеклянной есть шкала (например, цилиндры), то при калибровке есть возможность более детально изучить конкретное значение вместимости или несколько точек вместимости, которые при работе используются чаще всего. Таким образом, имея результаты измерения в нескольких точках, можно предположить результаты на всем диапазоне и определить интересующие нас значения вместимости методом интерполяции, если имеет место зависимость отклонения от номинального значения вместимости к самому значению номинальной вместимости меры стеклянной. Если шкала измерения вместимости отсутствует, то по результатам измерения при калибровке возможно нанесение одной либо нескольких меток, что в дальнейшем поможет при для проведения операций с использованием необходимой дозы объема.

Существуют следующие виды мер вместимости стеклянных:

- наливные;
- отливные.

Обычно вид указан на горловине средства измерения буквенным обозначением:

- Н – наливная;
- О – отливная.

Эти два вида принципиально отличаются по способу применения и соответственно по под-

готовке к работе и измерениям при их помощи. Как правило, большинство мер вместимости наливных, что значительно увеличивает время на их подготовку к измерениям, так как при подготовке к работе с ними необходимо произвести промывку мыльным раствором или дистиллированной водой. Меры вместимости считаются чистыми, если при выливании из них дистиллированной воды последняя не собирается на внутренних стенках в виде струек, полос и капель. Затем наливные меры вместимости и выдерживают 3-5 часов. Отливные меры перед калибровкой смачивают водой. Поэтому целесообразно пересмотреть методику калибровки в части уменьшения количества измерений в одной точке. Необходимо изучить методы подготовки к калибровке, и, если есть такая возможность, сократить время на эти операции, не ухудшая при этом характеристики чистоты мер вместимости стеклянных.

Существует несколько методов для определения действительной вместимости мер стеклянных. Это объемный метод, при котором применяются средства измерений объема более высокого класса и фактически сравнивается вместимость более точного средства измерения объема с тем средством измерения объема, вместимость которого необходимо определить. Второй метод при помощи взвешивания на лабораторных весах, погрешность которых не оказывает значительного влияния на результат измерений. В зависимости от класса и вида мер вместимости стеклянных, а также их конструктивных особенностей используют тот или иной метод. Необходимо более детально изучить каждый из этих методов, чтобы определить возможность использования в том или ином случае.

В разработанной методике рассмотрена калибровка таких средств измерений как цилиндры и колбы, что значительно ограничивает область ее применения. Как показала практика, существует необходимость в пересмотре методики калибровки в отношении других мер вместимости стеклянных и, возможно, методов применяемых при калибровке, представлении результатов калибровки и ее дальнейшая модернизация с целью использования.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. № 3848-ХІІ «Об обеспечении единства измерений», 2014.
2. Постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь № 17 от 16.03.2007 «Об утверждении перечня областей в сфере законодательной метрологии».
3. ГОСТ 8.234 «Государственная система обеспечения измерений. Меры вместимости стеклянные».
4. ГОСТ 29932 «Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Общие технические условия».
5. ГОСТ 1770 «Посуда мерная лабораторная стеклянная. Цилиндры, мензурки, колбы, пробирки. Общие технические условия».
6. ГОСТ 29227 «Посуда лабораторная стеклянная. Пипетки градуированные. Часть 1. Общие требования».
7. ГОСТ 1532 «Вискозиметры для определения условной вязкости».
8. ГОСТ 12738 «Колбы стеклянные с градуированной горловиной. Технические условия».
9. МРП МК 47 07.452-2016 «Меры вместимости стеклянные. Методика калибровки».

УДК 617.3

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТОПЫ ЧЕЛОВЕКА

Цапенко В.В., Терещенко Н.Ф.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

Постановка проблемы. Анализ человеческой походки, является объектом мировых научных исследований. Различные заболевания и повреждения органов опоры нередко сопровождаются серьезными функциональными нарушениями двигательного аппарата, снижением силы и тонуса мышц, утратой способности к нормальным движениям, что в конце концов приводит к инвалидности и последующей потере трудоспособности [1]. Диагностика осанки человека не была бы полной без измерения и оценки состояния опорно-рессорных свойств его стопы.

Стопа является структурным сегментом опорно-двигательного аппарата, которая обеспе-

чивает его стато-локомоторную функцию, и представляет собой целостный морфофункциональный объект, от которого зависит подвижная функция человека [2]. В норме, благодаря сводчатому строению стопы и ее рессорной функции, ускорение до 70% гасится и амортизируется. При нормальном развитии опорно-двигательного аппарата человека нагрузки на стопу распределяются следующим образом: через тело таранной кости на пяточный бугор, ладьевидную и клиновидную кость, на головки I-III плюсневых костей, образуя при этом внешнюю продольную дугу. Таким образом, можно представить две продольные оси стопы. Одна, проходит через