

При передаче размера единицы электрического сопротивления от меры Р321 на комплект мер в диапазоне $10^{-3} - 10^9$ Ом с применением системы измерительной 6242/100 отклонение результатов измерений от значений из сертификатов калибровки, выданных ВНИИМ, составило $(0,4-8) \cdot 10^{-6}$. С учетом изменения сопротивления мер за год (годовой нестабильности), неопределенности калибровки мер и погрешности системы для каждого диапазона, данные результаты можно считать удовлетворительными.

Таким образом, созданный эталон полностью удовлетворяет требованиям ТЗ (таблица 3).

Также можно сказать, что эталон обладает более широкими функциональными возможностями, вызванными потребностями заказчиков, в частности, в области измерения больших сопро-

тивлений. Созданный эталон позволяет воспроизводить и передавать единицу электрического сопротивления в диапазоне от 10^{-5} до 10^{16} Ом с наивысшей в Республике точностью, не уступающей по характеристикам эталонам НМИ других стран. В настоящее время запланировано проведение сличения с применением созданного эталона в рамках КОOMET.

Таблица 3

<i>Метрологическая характеристика эталона</i>	<i>Значение</i>
Воспроизведение и хранение единицы электрического сопротивления	1 Ом
Среднее квадратическое отклонение результатов измерений	$5 \cdot 10^{-8}$
Неисключенная систематическая погрешность	$5 \cdot 10^{-7}$
Диапазон передачи размера единицы электрического сопротивления	от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^9$ Ом

УДК 620.17

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНОВ

Мацулевич О.В., Крень А.П., Рудницкий В.А.

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Портативные приборы для измерения прочности бетонов ударным методом (склерометры) получили широкое применение в промышленно-гражданском и автомобильном строительстве. Практически каждая испытательная лаборатория строительного профиля оснащена склерометрами того или иного типа. В этой связи вопрос их метрологического обеспечения является весьма актуальным.

Проверка приборов для измерения физико-механических свойств материалов, как правило, осуществляется путем проведения измерений на образцовых изделиях (мерах), и последующего сравнения показаний приборов с характеристиками мер. Изготавливают меры преимущественно из тех же материалов, что и контролируемые прибором изделия. Например, для металлов стандартизованы наборы мер, позволяющие проверять метрологические характеристики твердомеров по различным шкалам.

Существенной особенностью проверки склерометров является сложность использования бетонных образцов в качестве мер прочности. Это обусловлено двумя причинами: структурной неоднородностью данного класса материалов и изменением свойств бетона со временем. Значительная структурная неоднородность бетона приводит к тому, что прочность образцов даже в партии, изготовленной из одной смеси, отличается. Поэтому для проверки склерометров нужно аттестовывать всю партию, а в качестве показаний прибора брать среднее значение из результатов измерений на нескольких образцах. Учитывая

необходимость регулярной перееаттестации партии, сопровождающейся разрушением образцов, а также их значительный износ при проверке склерометров, потребуется изготовить десятки образцов.

Все эти образцы необходимо хранить в специальных камерах с определенными температурно-влажностными условиями. При их несоблюдении прочность бетонных образцов может существенно измениться, что исключит возможность их использования для проверки метрологических характеристик приборов. Очевидно, что перечисленные требования делают проверку склерометров на образцах бетона слишком трудоемкой и экономически нецелесообразной.

В настоящее время практически все производители склерометров для проверки или калибровки своих приборов используют эквивалентные меры прочности, выполненные из более однородных и стабильных по сравнению с бетоном материалов. Для каждого типа склерометра создается свой набор эквивалентных мер. С этой целью в первую очередь устанавливают так называемую базовую градуировочную зависимость между прочностью бетона на сжатие по ГОСТ 10180-90 [1] и показаниями склерометра. Для проведения этих испытаний выбирают склерометр с минимальным разбросом показаний, который аттестовывается как отдельное эталонное средство измерения. Этим прибором испытывают эквивалентные меры, и с помощью базовой зависимости устанавливают соответствующие им значения прочности бетона.

Существуют два основных варианта проверки метрологических характеристик склерометров с помощью эквивалентных мер. В первом случае у приборов нормируется погрешность измерения прочности. Такой подход применяют российские производители и, соответственно, он получил более широкое распространение на территории Таможенного союза. Для поверки приборов создают набор из нескольких (не менее трех) эталонных эквивалентных мер, распределенных по диапазону измерения прочности. В свою очередь эти меры аттестовывают по базовой градуировочной зависимости с помощью эталонного склерометра. При поверке приборов производится серия измерений, и среднее из полученных результатов сравнивается с номинальной прочностью меры, т.е. оценивается как систематическая, так и случайная составляющие погрешности измерения.

Приведенная схема предполагает, что прочность, которую показывает склерометр по базовой градуировочной зависимости, прослеживается к исходному эталону (прессу) и является достоверным результатом измерения, не требующим каких-либо корректировок при контроле реальных объектов. Но это противоречит требованиям принятых в строительстве ТНПА. Базовая градуировочная зависимость предназначена только для приблизительной оценки прочности строительных конструкций. Для измерения прочности и выдачи каких-либо официальных документов об обследовании конструкций эту зависимость использовать нельзя. Это регламентировано стандартами СТБ 2264-2012 [2] и ГОСТ 22690-88 [3], действующими соответственно в Республике Беларусь и Российской Федерации. Согласно п. 4.1 и п. 6.2 СТБ 2264, «Проведение испытаний и оценка прочности бетона на основании показаний приборов без установления градуировочных зависимостей не допускается... Градуировочную зависимость устанавливают заново при изменении вида крупного заполнителя, технологии производства бетона, при внесении количественных изменений в номинальный состав бетона...».

Необходимость уточнения градуировочных зависимостей вызвана тем, что используемые в склерометрах косвенные характеристики прочности подвержены влиянию ряда факторов, не имеющих однозначной связи с измеряемыми свойствами материала. Как следствие одни и те же показания прибора в зависимости от состава смеси и технологии бетонирования могут соответствовать различной прочности объекта, что приводит к снижению достоверности контроля.

В связи с тем, что пользователь имеет возможность изменять градуировку склерометров, возникает вопрос о целесообразности их поверки по приведенной схеме. Погрешность,

определяемая с помощью базовой градуировочной зависимости, не отражает точность, с которой прибор позволит измерять прочность реальных объектов. При этом необходимость создания эталонного прибора и эталонных эквивалентных мер значительно усложняет аттестацию склерометров, практически не способствуя повышению достоверности оценки их метрологических характеристик.

Западные производители, в том числе известная швейцарская компания Proseq, пошли по другому пути. Его существенным отличием является то, что погрешность измерения не нормируется. Ее обеспечение отдается под ответственность пользователя и достигается путем правильной градуировки склерометров на реальных бетонных образцах. Поверка склерометров заключается в подтверждении стабильности их функционирования путем измерения прочности одной эквивалентной меры. При этом усредненный результат не должен выходить за установленные изготовителем пределы. Эта методика в наибольшей степени соответствует принципам неразрушающего контроля прочности бетонов, изложенным в соответствующих ТНПА. Однако она требует адаптации к отечественной нормативной базе. СТБ 2264, в отличие от российских и европейских стандартов, требует, чтобы погрешность измерения была пронормирована и составляла не более 8%.

Таким образом, оба представленных способа проверки метрологических характеристик склерометров не в полной мере соответствуют требованиям СТБ 2264. Поэтому при подготовке к государственным испытаниям прибора ИПМ-1 (модификации ИПМ-1А [4] и ИПМ-1Б [5]), выпускаемого Институтом прикладной физики НАН Беларуси, была разработана оригинальная методика поверки. Ее суть заключается в нормировании случайной составляющей погрешности измерения. Поверка осуществляется путем проведения серии измерений на эквивалентной мере, расчете отношения среднего квадратического отклонения результатов к их среднему значению и сравнении полученной величины с допускаемой погрешностью. Такой подход позволяет, нормируя погрешность измерения, уйти от ее систематической составляющей, использование которой, как было показано выше, не корректно.

Немаловажно, что предложенная методика позволяет отказаться от аттестации эквивалентных мер прочности по номинальному значению, ограничившись проведением исследований, подтверждающих их однородность и стабильность свойств. При этом достаточно указать приблизительный интервал, в котором находятся значения номинальной прочности мер. Это нужно, чтобы показать, что меры перекрывают диапазон измерения прочности прибора ИПМ-1, составляющий

от 1 до 100 МПа. Так для поверки приборов ИПМ-1 был изготовлен набор образцов, включающий: полиуретан с эквивалентной прочностью $f_{с,э\text{кв}}$ от 0,5 до 2 МПа, стекло органическое ТОСП ($f_{с,э\text{кв}}$ от 25 до 35 МПа) и алюминиевый сплав Д16Т ($f_{с,э\text{кв}}$ от 95 до 115 МПа). За счет отказа от аттестации эквивалентных мер исключается необходимость создания эталонного склерометра: для установления базовой градуировочной зависимости можно использовать серийно выпускаемые модификации ИПМ-1А и ИПМ-1Б. В совокупности это позволяет значительно уменьшить объем подготовительных работ, необходимых для поверки склерометров.

Предложенная методика поверки была согласована со специалистами Белорусского государственного института метрологии, утверждена и использовалась при проведении Государственных контрольных испытаний приборов ИПМ-1.

1. Испытание бетона. Неразрушающий кон-

троль прочности: СТБ 2264–2012. – Минск: Госстандарт, 2013. – 20 с.

2. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690–88. – Москва: ИПК Издательство стандартов. – 1997. – 28 с.
3. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180–90. – Москва: Стандартинформ. – 2006. – 31 с.
4. Рудницкий, В.А. Новый прибор для неразрушающего контроля физико-механических свойств бетона / В.А. Рудницкий [и др.] // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: материалы XVII междунар. науч.-метод. семинара / Гродно: ГрГУ. – 2010. – С. 53-55.
5. Мацулевич, О.В. Применение прибора ИПМ-1Б для неразрушающего контроля прочности бетона / О.В. Мацулевич // Технологии бетонов. – 2014. – №7. – С. 22–23.

УДК 681.3

ЭВОЛЮЦИЯ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕДУР ИЗМЕРЕНИЙ, СРЕДСТВ (ПРИБОРОВ) ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Пономарева О.В.

*Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Основой формализованного описания измерительных процедур (алгоритмов, методов), погрешностей результатов измерения является уравнение измерений⁹. Наиболее общая форма уравнений задается следующим соотношением:

$$\lambda^* = L [\gamma(t)], \quad (1)$$

где λ^* – результат измерения физической величины λ ; $\gamma(t)$ – измерительный сигнал (сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине); L – обобщенный оператор, представляющий собой последовательность измерительных преобразований, выполняемых при измерении (алгоритм измерения).

Уравнение измерений (1), в отличие от иных форм уравнений измерений, дает возможность устанавливать взаимосвязь характеристик результатов измерений с составом алгоритма измерений (измерительной цепи) и характери-

стиками входящих в него измерительных преобразований (элементов измерительной цепи). Другими словами, благодаря уравнению измерений (1) появилась возможность путем детализации обобщенного оператора L создавать математические модели измерительной процедуры, степень адекватности которых определяется только априорными знаниями об измерительной цепи и составляющих ее элементов [1,2,3].

Начиная с семидесятых годов прошлого столетия процесс развития измерительной техники, проходит при все возрастающем влиянии информационных технологий (IT-технологии). Вследствие этого процесса был запущен механизм компьютеризации измерений, при котором средства вычислительной техники стали использоваться не только для обработки результатов измерений, но и были непосредственно включены в состав измерительных процедур. Применение средств вычислительной техники в составе измерительных процедур в свою очередь потребовало повышение уровня формализации описаний объектов и процедур. Естественно, эти обстоятельства привели к необходимости дальнейшего совершенствования формы уравнения измерений и, как следствие, к развитию подходов к формализованному описанию измерительных процедур (алгоритмов, методов), погрешностей

⁹ **Уравнение измерений** – уравнение, отражающее связь между величинами в конкретной измерительной задаче, обусловленную законами природы, в котором под буквенными символами понимают физические величины (РМГ 29 – 99).