

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л., канд. техн. наук, доц. ЦИТОВИЧ Б. В.

Белорусский национальный технический университет

Измерения в процессе производства и испытания готовых строительных материалов и конструкций являются технической базой, на основе которой осуществляются контроль и оценка параметров продукции, обеспечивающих ее качество, в том числе безопасность и экологичность. Достоверность определения показателей зависит от уровня метрологического обеспечения проведения этих процедур.

Определение качества материалов, применяемых в строительстве, — сложная многоступенчатая измерительная задача, которая включает в себя трудноконтролируемые операции по подготовке проб, создание алгоритмов измерительных процедур, позволяющих выделять необходимые свойства на фоне действия значительного числа влияющих факторов. Успешное решение этой задачи во многом зависит от методики выполнения измерений (МВИ).

Основной проблемой на этапе проектирования МВИ является правильное нормирование допустимой погрешности измерений в зависимости от заданной точности.

В настоящее время разработку МВИ регламентирует ГОСТ 8.010–99 (Межгосударственный стандарт. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения). Под методикой выполнения измерений подразумевается документ, регламентирующий измерительную процедуру, которая обеспечивает получение требуемого результата. Он должен включать требования к погрешности измерений или (и) приписанные характеристики погрешности измерений, а также требования к обеспечению безопасности выполняемых работ.

При разработке методик выполнения измерений необходимо решить ряд задач, в том

числе и те, которые определяют соответствие МВИ ряду основополагающих требований, включающих обеспечение точности, экономичности, представительности (валидности) результатов и безопасности измерений.

Точность измерений служит необходимым условием для использования их результатов. Обеспечение точности заключается в установлении требуемого соотношения допустимой погрешности измерения $[\Delta]$ и предельного значения реализуемой в ходе измерений погрешности Δ

$$\Delta \leq [\Delta].$$

При оценке экономичности измерений учитывают производительность и себестоимость измерительной процедуры, необходимую квалификацию оператора, наличие конкурирующих средств и др. По этому критерию можно сравнивать только такие МВИ, которые гарантируют необходимую точность измерений.

Представительными можно считать те результаты, которые с достаточной полнотой характеризуют исследуемый объект. Представительность измерений может оказаться неудовлетворительной из-за методических погрешностей, связанных с «неидеальностью» объекта. При измерительном контроле одного объекта либо группы однотипных объектов представительными могут считаться только те результаты, которые адекватно отражают их исследуемые свойства.

При рассмотрении безопасности измерений следует анализировать опасности, связанные с измеряемым объектом, а также те, которые могут нести средства измерений. Объект измерений всегда несет в себе множество физических величин, причем некоторые из них могут быть

опасными для оператора и связаны с такими измеряемыми величинами, как высокое давление, механические и электрические напряжения, сила электрического тока, радиоактивность, и многими другими.

Обеспечение экологической безопасности – сравнительно новое требование. Экологически вредные воздействия могут быть связаны, например, с накоплением в окружающей среде вредных веществ, которые используют при измерениях или входят в состав средств измерений, подлежащих утилизации.

В ГОСТ 26433.0–85 (Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Общие положения) так называемую «предельную погрешность измерения» δx_{met} (фактически δx_{met} – это норма, т. е. допустимая погрешность измерений) определяют соотношением

$$\delta x_{met} \leq K \Delta x,$$

где Δx – допуск измеряемого геометрического параметра; K – коэффициент, зависящий от цели измерений и характера объекта.

Значения коэффициента, установленные в нормативном документе, $K = 0,2$ (для измерений в процессе изготовления и контроля точности изготовления и установки элементов и контроля точности разбивочных работ) либо $K = 0,4$ (для измерений в процессе производства разбивочных работ).

Согласно ГОСТ 8.051–81 погрешность измерения определяется традиционным для метрологической практики соотношением

$$[\Delta] = \left(\frac{1}{5} \dots \frac{1}{3} \right) T_A,$$

где $[\Delta]$ – допустимая погрешность измерений; T_A – норма исходной неопределенности измеряемого параметра, представляющая собой его допуск или погрешность приемочного контроля.

Если измерения параметров объекта одновременно подпадают под требования двух нормативных документов (ГОСТ 26433.0 и ГОСТ 8.051), то возможно рассогласование назначаемых норм, которое приведет к вынужденному нарушению одного из них. В ГОСТ 8.051 значения коэффициента K практи-

чески не превышают 0,3, и они увеличиваются с повышением относительной точности контролируемых размеров (в качестве допустимой погрешности измерений устанавливается большая «доля» допуска).

Для разработки типовых решений при назначении допустимых погрешностей измерений предложена классификация измерительных задач, которая была апробирована и изложена в [1, 2] (рис. 1).

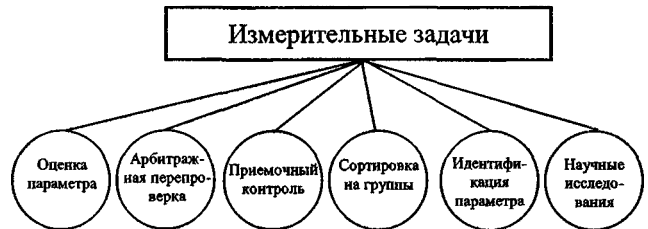


Рис. 1. Классификация измерительных задач

Анализ возможных измерительных задач осуществлялся с позиций оценки необходимой точности измерений. Исходя из ожидаемого использования результатов измерений, были сформулированы следующие типовые задачи:

- измерительный приемочный контроль заданного параметра;
- сортировка объектов на группы по заданному параметру;
- арбитражная перепроверка результатов приемочного контроля;
- идентификация заданного параметра, принадлежащего известному ряду;
- измерения при ориентировочной оценке заданного параметра;
- измерения параметров при проведении научного исследования.

Уровень корректности или некорректности задачи измерений определяем в зависимости от того, установлена ли норма исходной неопределенности измеряемой физической величины. Если такая норма присутствует, то полноту информации можно считать достаточной для априорного назначения допустимой погрешности измерений, а при ее отсутствии задача будет некорректной, требующей дополнительной информации не только для решения, но и для постановки задачи измерений.

Таким образом, корректно поставленными (корректными) задачами измерений можно считать те, в условиях которых содержится

норма исходной неопределенности измеряемой физической величины. Исходная неопределенность может быть установлена, например, путем ограничения предельных значений физической величины (указанием номинального значения величины с предельными отклонениями, номинального значения и поля допуска величины или другим способом).

К некорректно поставленным (некорректным) относим те задачи измерений, условия которых не содержат норму исходной неопределенности измеряемой физической величины. Норма неопределенности фактически отсутствует при однопредельном нормировании величины по типу $A_{\max}$ или $B_{\min}$. Норм не может быть у объектов естественного происхождения, они отсутствуют у параметров экспериментальных изделий и процессов. Если условия не обеспечивают достаточной полноты информации для априорного назначения допустимой погрешности измерений, то возникает необходимость в дополнительной информации, которую вводят в задачу искусственно.

Нормой исходной неопределенности параметра может быть, например, допуск параметра, включая «групповой допуск», при сортировке объектов на группы, погрешность измерительного приемочного контроля в задаче арбитражной перепроверки его результатов.

Исходная неопределенность параметра может быть стохастической либо детерминированной. Например, для задачи измерительного приемочного контроля партии объектов по заданному параметру, если нормированы его предельные значения (задан допуск параметра), стохастическую неопределенность параметра можно характеризовать полем его практического рассеяния. Поскольку такая «зона неопределенности» в большинстве случаев неизвестна, за норму неопределенности принимают допуск параметра, который ограничивает рассеяние параметров годных объектов контроля.

Рассмотрим возможные пути выбора (назначения) допустимой погрешности измерения $[\Delta]$ для различных вариантов корректно поставленных измерительных задач.

Как пример рассмотрим измерительный приемочный контроль конкретного параметра, ограниченного двумя нормированными пре-

дельными значениями – наибольшим $A_{\max}$ и наименьшим $A_{\min}$. Если T_A – допуск параметра,

$$T_A = A_{\max} - A_{\min},$$

то допустимая погрешность измерений не должна превышать $1/3$ допуска параметра T_A

$$[\Delta] \leq \frac{T_A}{3}.$$

Если принять, что распределение контролируемого параметра на множестве реальных объектов случайно, то случайная погрешность измерительного приемочного контроля Δ в предельном случае равна допустимой погрешности $[\Delta]$. Возможное одностороннее искажение поля допуска T_A' из-за наложения на допуск T_A максимальной погрешности приемочного контроля Δ , равной допустимой погрешности $[\Delta]$, можно определить по правилу сложения дисперсий случайных величин

$$T_A' = \sqrt{T_A^2 + [\Delta]^2}.$$

Сортировка объектов на две группы (годные – брак) и на три группы (годные – брак исправимый – брак неисправимый) практически совпадает с задачами измерений при приемочном контроле. Сортировка объектов на N групп (при $N > 3$) отличается только необходимостью введения допуска параметра в пределах одной группы («группового допуска»), который играет такую же роль, как и допуск параметра при приемочном контроле.

При арбитражной перепроверке результатов приемочного контроля интересующей нас нормой, ограничивающей неопределенность измеряемого параметра, является погрешность измерений параметра при его приемочном контроле Δ_{np} , которая согласно уже приведенным допущениям имеет стохастический характер. По аналогии с ранее рассмотренной задачей измерительного приемочного контроля предельно допустимая погрешность измерений $[\Delta]_a$ не должна превышать $1/3$ погрешности измерений параметра при его приемочном контроле Δ_{np}

$$[\Delta]_a \leq \Delta_{np}/3.$$

Следует подчеркнуть, что если результаты измерений будут использованы для арбитраж-

ной перепроверки результатов приемочного контроля, то в качестве нормы исходной неопределенности контролируемого параметра используют не допуск параметра, а погрешность, с которой осуществлялся приемочный контроль. В результате допустимая погрешность должна быть примерно на порядок меньше значения допуска параметра $(T_A/3) \cdot 1/3 = T_A/9$.

Следует учитывать, что основные погрешности средств измерений могут нормироваться одним постоянным значением (для однозначных мер, приборов с аддитивной статической характеристикой и т. п.) либо переменными значениями, отличающимися в разных точках диапазона (для многозначных мер, приборов с мультипликативной статической характеристикой и др.). В последнем случае допустимые погрешности поверки могут назначаться либо в виде одного (минимального) значения или переменными, разными для разных точек диапазона поверяемого средства измерений.

При экономическом обосновании допустимой погрешности измерений в первую очередь следует учесть себестоимость измерений и стоимость потерь из-за неправильно забракованных годных объектов контроля. Очевидно, что чем дороже ложный брак, тем меньше должна быть допустимая погрешность измерений. Строгая экономическая оценка в подобных ситуациях практически невозможна.

На этапе проектирования МВИ может возникнуть необходимость выбора оптимальной методики из ряда конкурирующих. В этом случае возникает задача оценки качества решения измерительной задачи.

Реализация измерений некоторой физической величины может различаться средствами, условиями, операторами, числом наблюдений и методиками обработки. Необходимость оценки уровня качества столь сложного объекта приводит к появлению ряда более узких задач. В частности, поскольку комплексная оценка качества измерений представляется весьма сложной, в некоторых случаях можно ограничиться применением дифференциальных методов оценки с привлечением ограниченного количества свойств (рис. 2).

Под качеством измерения подразумевается наиболее общее его свойство, которое обеспечивает требования исполнителя и потребителя

к результату и процессу его получения. Более простые свойства, из которых складывается качество измерений, можно представить как точность и достоверность результата, экономичность и безопасность его получения.

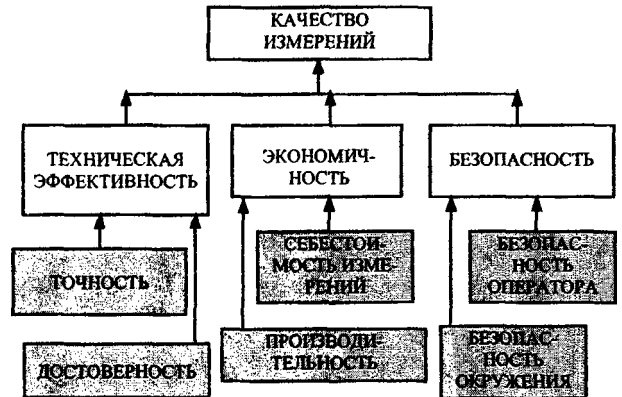


Рис. 2. Схема свойств, определяющих качество измерений

Процедура получения комплексной оценки качества измерений предусматривает выполнение следующих операций:

- создание иерархической структурной схемы свойств качества измерений и выделение характеризующих свойств показателей;
- нахождение коэффициентов весомости каждого из свойств, определяющих качество измерений;
- оценку показателей простых свойств качества измерений, т. е. определение вида зависимости между показателями простых свойств и их оценками;
- комплексирование единичных показателей качества измерений в обобщенные, вплоть до получения комплексной оценки качества измерений.

Реализация приведенного алгоритма базируется на использовании квалиметрического моделирования, математического аппарата теории нечетких множеств, подробно изложенных в [3, 4].

ВЫВОД

Проведенный комплекс исследований позволяет осуществлять системный подход к метрологическому обеспечению производства строительных материалов и конструкций, одновременно рассматривая как проблемы проектирования МВИ, так и оценку качества измерений при ее реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соломахо В. Л., Цитович Б. В. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. – Мн.: ДизайнПРО. – 2004.

2. Цитович Б. В. Выбор допустимой погрешности измерений // Метрология, стандартизация и управление качеством. Сб. науч. тр. респуб. науч.-практ. семинара. – Мн., 2004.

3. Соломахо В. Л., Сениук О. В. Комплексная оценка качества процесса измерения // Надежность и контроль качества. – 1997. – № 10. – С. 3–11.

4. Соломахо В. Л., Сениук О. В. Использование теории нечетких множеств для оптимизации методик выполнения измерений по комплексному показателю качества // Метрологическое обеспечение качества–2000: Материалы междунаро. науч.-практ. конф. – Мн.: Тесей, 2000. – С. 20–27.

УДК 669

О ВОЗМОЖНОМ СТРОЕНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ АССОЦИАТОВ В РАСПЛАВЛЕННЫХ ШЛАКАХ СОСТАВА $\text{CaO-SiO}_2\text{-CaF}_2$

Докт. техн. наук, проф. СОБОЛЕВ В. Ф., асп. ЧИЧКО А. А.

Белорусский национальный технический университет

Поверхностное натяжение расплавленных шлаков является одной из важнейших характеристик, оказывающих непосредственное влияние на отделение металла от шлака, диспергирование и ассимиляцию шлаком твердых частиц, скорость массопереноса на границе «шлак – газ» и «шлак – металл», устойчивость шлаковой пены и другие важные технологические характеристики процессов рафинирования стали [1]. Обычно изучение поверхностных явлений в растворах проводится путем анализа кривых концентрационной зависимости поверхностного натяжения [2]. Подобные кривые были построены для значительного количества растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) в металлах и шлаках. Несмотря на большое количество данных о строении поверхностных слоев растворов серы, кислорода в жидком железе и других металлах, полученных анализом упомянутых выше кривых, аналогичные данные для расплавленных шлаковых систем отсутствуют. Для них основным способом получения информации о строении входящих в состав комплексных и простых ионов является исследование застывших образцов, к недостаткам которого можно отнести возможные структурные изменения при фазовом переходе.

Цель данной работы – теоретический расчет вероятностных размеров адсорбированных на

границе раздела «шлак – газ» анионных комплексов, играющих роль ПАВ, путем математической обработки зависимостей σ – состав.

Согласно одному из критериев влияние того или иного компонента на поверхностное натяжение расплава σ определяется величиной обобщенного момента m [3]

$$m = z/r, \quad (1)$$

где z – заряд комплекса; r – его радиус.

Наибольшей способностью снижения поверхностного натяжения будут обладать нейтральные протяженные комплексы. В качестве исследуемой системы была выбрана $\text{CaO-SiO}_2\text{-CaF}_2$. Известно, что добавка CaF_2 приводит к значительному снижению σ даже после первых, незначительных, порций [4]. Также известно, что наименьшее снижение поверхностного натяжения при его добавлении характерно для шлаков, богатых кремнеземом [4], что указывает на конкуренцию образующихся при введении CaF_2 поверхностно-активных образований с кремнекислородными радикалами за адсорбцию на поверхности.

Методика расчета. Основным источником исходных данных для проведения дальнейших расчетов послужили работы [5, 3], данные которых использовались для построения зависимостей $\sigma - \ln(C)$. По предельному наклону кри-