



АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА

Болтаева З.З. – PhD, и.о. доцента

Майренова Н.Р. – доктор химических наук, профессор

Хаджиев Н.М. – магистрант, начальник

Хорезмского филиала ГУ «УзНИМ»

Аннотация: В данной статье проводится комплексный анализ системы метрологического обеспечения измерений, осуществляемых в сфере промышленной безопасности и охраны труда. Рассматривается состояние средств измерений, применяемых при контроле факторов производственной среды — газовой воздушной среды, уровня шума, вибрации, микроклимата, освещенности, концентрации пыли, давления и показателей электробезопасности, а также практика их поверки и калибровки, вопросы прослеживаемости результатов измерений к Международной системе единиц. Национальная нормативно-правовая база сопоставляется с требованиями международных стандартов — ISO/IEC 17025, ISO 45001, документов МОЗМ и руководства GUM по оцениванию неопределенности измерений. На основе результатов анализа разработаны научно обоснованные предложения по приоритетным направлениям совершенствования метрологического обеспечения в данной сфере — расширению калибровочных возможностей, внедрению рискориентированных межповерочных интервалов, использованию средств цифровой метрологии, повышению кадрового потенциала и аккредитации лабораторий.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, промышленная безопасность, охрана труда, средства измерений, поверка, калибровка,



неопределенность измерений, прослеживаемость, ISO/IEC 17025, ISO 45001, аттестация рабочих мест.

Введение

Современное промышленное производство характеризуется усложнением технологических процессов, широким применением высокого давления, высоких температур, химически активных сред, а также использованием энергетических установок большой мощности. В таких условиях защита жизни и здоровья человека, предупреждение аварий и несчастных случаев являются одним из приоритетных направлений государственной политики. Любое решение в сфере промышленной безопасности и охраны труда — от оценки условий труда на рабочем месте по вредным факторам до ввода в эксплуатацию опасного производственного объекта — в конечном счете опирается на результаты измерений. В связи с этим достоверность, точность и единство измерений в данной сфере напрямую зависят от состояния метрологического обеспечения. Если результат измерения недостоверен, то и принимаемое на его основе решение будет ошибочным: занижение фактической концентрации токсичных газов в рабочей среде подвергает работников риску хронического отравления; отклонение показаний прибора измерения давления от действительного значения увеличивает вероятность взрыва сосуда, работающего под давлением; недостоверная оценка уровня шума приводит к несвоевременному выявлению профессиональной потери слуха. Таким образом, метрологическое обеспечение в сфере промышленной безопасности — это не просто технический вопрос, а система, имеющая важное социально-экономическое значение и непосредственно связанная с жизнью и здоровьем человека. По данным Международной организации труда, ежегодно миллионы трудящихся во всем мире страдают от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, что приводит к экономическим потерям, составляющим ощутимую долю мирового валового внутреннего продукта.



Значительную часть этих потерь можно предотвратить путем своевременного и достоверного измерения факторов производственной среды и проведения профилактических мероприятий на основе полученных результатов. Именно здесь метрология — наука об измерениях — становится фундаментом системы промышленной безопасности. В Узбекистане в последние годы проводится последовательная работа по реформированию сферы метрологии и ее гармонизации с международными требованиями. Примерами этого являются принятие новой редакции Закона «О метрологии», совершенствование системы технического регулирования, развитие национальной эталонной базы и принимаемые меры по международной аккредитации лабораторий. Вместе с тем в метрологическом обеспечении измерений в сфере промышленной безопасности и охраны труда сохраняется ряд системных проблем, требующих своего решения. Цель данной статьи — комплексный анализ текущего состояния метрологического обеспечения в этой области и разработка научно обоснованных направлений его совершенствования.

1. Роль и значение измерений в промышленной безопасности и охране труда.

Промышленная безопасность означает состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и их последствий. Охрана труда представляет собой систему правовых, социально-экономических, организационно-технических, санитарно-гигиенических, лечебно-профилактических и иных мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Оба этих направления базируются на объективной, количественной оценке, которая обеспечивается исключительно путем измерений. Измеряемые величины в производственной среде условно можно разделить на следующие группы. *Первая группа* — параметры воздушной среды: концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, содержание кислорода, отношение взрывоопасных газопаровых смесей к



нижнему концентрационному пределу воспламенения, а также массовая концентрация аэрозолей и частиц пыли. *Вторая группа* — физические факторы: уровень шума и его спектральный состав, параметры общей и локальной вибрации, инфразвук и ультразвук, напряженность электромагнитных полей, доза ионизирующего излучения. *Третья группа* — показатели микроклимата: температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения. *Четвертая группа* — световая среда: естественная и искусственная освещенность, яркость, коэффициент пульсации. *Пятая группа* — параметры технологической безопасности: давление, температура, расход, уровень, сопротивление изоляции электроустановок, сопротивление контура заземления, диэлектрическая прочность средств защиты. По каждой из этих величин в нормативных документах установлены предельно допустимые значения — предельно допустимые концентрации, предельно допустимые уровни и другие гигиенические нормативы. Оценка рабочего места по условиям труда, назначение работникам льгот и компенсаций, выбор средств индивидуальной защиты, ведение технологического процесса в безопасном режиме — все это основано на сопоставлении измеренного значения с нормативным. Правильность сопоставления зависит от двух факторов: метрологических характеристик средства измерений и правильности применения методики выполнения измерений. Следует особо отметить, что многие измерения в сфере промышленной безопасности относятся к сфере законодательной метрологии. Это означает, что применяемые при таких измерениях средства измерений подлежат обязательному метрологическому контролю — процедурам утверждения типа и поверки. Например, газоанализаторы, контролирующие воздух рабочей зоны, датчики систем предаварийной сигнализации, шумомеры, люксметры, манометры должны быть типами средств измерений, внесенными в государственный реестр, и проходить поверку с установленной периодичностью. В случае невыполнения



этих требований результаты измерений не имеют юридической силы, а результаты аттестации рабочих мест могут быть признаны недействительными.

2. Понятие метрологического обеспечения и его составные части.

Под метрологическим обеспечением понимается установление и применение научно-технических основ, организационных структур, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений. Исходя из этого определения, метрологическое обеспечение в сфере промышленной безопасности целесообразно анализировать на основе четырех взаимосвязанных составляющих: научной, нормативно-правовой, технической и организационной. Научную основу составляет наука метрология — теория единиц физических величин, их воспроизведения и передачи, теория погрешностей и неопределенности измерений, а также принципы нормирования метрологических характеристик средств измерений. На современном этапе важным направлением научной основы является представление результатов измерений на базе концепции неопределенности. «Руководство по выражению неопределенности измерения» (GUM — Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) служит единой методологической платформой для оценки качества измерений в международном масштабе. Правильная оценка неопределенности в измерениях промышленной безопасности особенно важна, поскольку в случаях, когда измеренное значение близко к нормативному пределу, вывод о соответствии должен приниматься именно с учетом интервала неопределенности. Нормативно-правовая база включает в себя законодательные акты в области метрологии, технические регламенты, государственные и отраслевые стандарты, методики выполнения измерений, а также методики поверки и калибровки. Техническую основу составляет система эталонов, воспроизводящих и хранящих единицы величин, — цепь прослеживаемости от национальных эталонов через рабочие



эталоны к рабочим средствам измерений. Организационная же основа состоит из национального института метрологии, территориальных органов метрологии, аккредитованных поверочных и калибровочных лабораторий, метрологических служб предприятий и системы квалифицированных кадров.

3. Анализ средств измерений, применяемых в данной сфере, и их метрологических характеристик

Номенклатура средств измерений в сфере промышленной безопасности и охраны труда чрезвычайно широка, а их метрологическое обеспечение характеризуется различным уровнем сложности. Ниже приведен анализ по основным группам.

Газоаналитические приборы. Для контроля концентрации вредных и взрывоопасных газов в воздухе рабочей зоны применяются стационарные и переносные газоанализаторы, основанные на электрохимических, термодаталитических, оптических и полупроводниковых датчиках. Основным средством метрологического обеспечения этих приборов являются аттестованные газовые смеси — стандартные образцы состава газов с высокой точностью. Поверка и настройка газоанализаторов осуществляются именно с помощью таких смесей. Серьезной проблемой, встречающейся на практике, является потеря чувствительности датчиков со временем, перекрестная чувствительность к сопутствующим газам, а также влияние температуры и влажности на их показания. По этой причине регулярная функциональная проверка газоанализаторов в межповерочный период в международной практике возведена в ранг обязательного требования.

Средства акустических и вибрационных измерений. При измерении уровня шума используются интегрирующие шумомеры, анализаторы с октавными и третьоктавными фильтрами, а также персональные дозиметры. Их метрологическое обеспечение строится с использованием акустических калибраторов и эталонных микрофонов. При измерении вибрации применяются акселерометры и виброметры, калибровка которых



осуществляется с помощью вибрационных стендов и эталонных акселерометров. В данной группе обязательным условием достоверности результатов является проведение проверки с помощью калибратора до и после проведения измерений в полевых условиях; однако на практике этим требованием часто пренебрегают.

Средства измерений параметров микроклимата и освещенности.

При измерении температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения применяются такие приборы, как термогигрометры, анемометры и шаровые термометры. Освещенность измеряется люксметрами, а коэффициент пульсации — пульсметрами. В метрологическом обеспечении светотехнических средств особое значение имеет вопрос спектрального соответствия: поскольку спектр современных светодиодных источников света резко отличается от традиционных ламп накаливания, люксметры старого поколения могут допускать значительную систематическую погрешность. Это создает необходимость пересмотра методик поверки с учетом спектральных характеристик новых источников света.

Средства измерений давления и температуры. Безопасная эксплуатация сосудов, работающих под давлением, паровых котлов, трубопроводов и компрессорных установок зависит от точности настройки манометров, датчиков давления и предохранительных клапанов. Технические манометры должны проходить периодическую поверку, а в местах, критических с точки зрения безопасности, должны применяться контрольные приборы более высокого класса точности. При измерении температуры широко используются термометры сопротивления, термопары и пирометры, калибровка которых выполняется с помощью термостатов, калибровочных печей и эталонных термометров. При этом способность термостатов стабильно поддерживать температуру и однородность температурного поля в рабочем объеме являются одними из основных составляющих неопределенности



результатов калибровки, в связи с чем они сами подлежат регулярному метрологическому исследованию.

Средства измерений электробезопасности. Измерители сопротивления изоляции, измерители сопротивления заземления, измерители токов утечки, установки для испытания диэлектрической прочности составляют основу контроля безопасной эксплуатации электрооборудования. Поскольку данные средства функционируют в диапазонах высоких напряжений и больших сопротивлений, их поверка требует применения специальных эталонных установок. Обобщая вышесказанное, анализ парка средств измерений в данной сфере требует внимания к трем аспектам: во-первых, физический износ приборов и стабильность их метрологических характеристик во времени; во-вторых, наличие локальной цепи прослеживаемости для каждой группы; в-третьих, метрологическая обоснованность как самого средства измерений, так и методики выполнения измерений. Разрыв в любом из этих трех аспектов приводит к утрате достоверности результатов измерений.

4. Нормативно-правовая база: гармонизация национальной системы и международных требований

Метрологическое обеспечение измерений в сфере промышленной безопасности в Узбекистане регулируется несколькими законодательными актами. Закон Республики Узбекистан «О метрологии» определяет правовые основы обеспечения единства измерений, сферы государственного метрологического контроля, порядок утверждения типа и поверки средств измерений. В сфере трудовых отношений Трудовой кодекс и законодательство об охране труда закрепляют обязанности работодателя по созданию безопасных условий труда для работников и проведению аттестации рабочих мест по условиям труда. Законодательство о промышленной безопасности опасных производственных объектов предусматривает систему производственного контроля и порядок проведения экспертизы технических



устройств на таких объектах. В точке пересечения всех этих трех направлений находятся измерения: и аттестация, и производственный контроль, и экспертиза должны опираться на измерения, выполненные с помощью поверенных средств измерений на основе утвержденных методик. С институциональной точки зрения в центре системы находятся уполномоченный государственный орган в области технического регулирования, а также Узбекский национальный институт метрологии и его территориальные подразделения. Национальный институт метрологии хранит национальные эталоны единиц, передает размер единиц рабочим эталонам, выполняет работы по поверке, калибровке и аттестации средств измерений. Территориальные же подразделения охватывают метрологическим обслуживанием средства измерений предприятий на местах, что имеет особое значение для промышленных объектов, расположенных в регионах. На международном уровне требования, относящиеся к данной сфере, сформулированы в системе нескольких нормативных документов. Стандарт ISO/IEC 17025 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» является всемирно признанным критерием деятельности лабораторий; он требует обеспечения метрологической прослеживаемости результатов, оценивания неопределенности, валидации методик и участия в межлабораторных сравнительных испытаниях. Аккредитация лабораторий, осуществляющих измерения факторов производственной среды, именно по этому стандарту служит международной гарантией доверия к их результатам. Стандарт ISO 45001 «Системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда» требует от организаций использования надежных средств мониторинга и измерений при идентификации и оценке рисков, а также их обязательной калибровки или поверки. Кроме того, рекомендации Международной организации законодательной метрологии служат гармонизации метрологических требований к отдельным типам средств измерений. Сравнение национальных



и международных требований приводит к следующему выводу: национальная система традиционно опирается на институт обязательной поверки, то есть делает упор на периодическое подтверждение соответствия средства измерений установленным пределам погрешности.

5. Анализ текущего состояния и существующих проблем метрологического обеспечения в сфере

Проведенный анализ показывает наличие следующих системных проблем в метрологическом обеспечении измерений в области промышленной безопасности и охраны труда:

Первая проблема — старение парка средств измерений и низкие темпы его обновления. На многих предприятиях, особенно на объектах средней и мелкой промышленности, для контроля факторов рабочей среды применяются морально и физически устаревшие приборы. Средства измерений с аналоговой индикацией, низкой чувствительностью и отсутствием возможности автоматической регистрации данных не соответствуют современным требованиям не только по точности, но и по документированию процесса контроля.

Вторая проблема — недостаточность возможностей калибровки и поверки по отдельным видам измерений на региональном уровне. Высокоточная акустическая калибровка, вибрационные измерения, обеспечение специальными газовыми смесями, дозиметрические величины и аналогичные направления в основном сосредоточены в центральных лабораториях. В результате предприятия в регионах вынуждены отправлять средства измерений на поверку на дальние расстояния, что увеличивает затраты времени и средств, а в некоторых случаях побуждает предприятия просрочивать сроки поверки. Поэтапное решение данной проблемы возможно путем расширения эталонной базы региональных метрологических подразделений.



Третья проблема — устаревание части методик выполнения измерений и неучет возможностей современных средств измерений. Некоторые методики, разработанные в прошлом веке, не отражают особенностей работы с современными цифровыми, интегрирующими и многоканальными приборами. Кроме того, во многих методиках полностью отсутствует раздел оценки неопределенности результатов измерений, что создает противоречие с требованиями ISO/IEC 17025. Необходима инвентаризация методик, их переработка по приоритетным направлениям и дополнение бюджетами неопределенности.

Четвертая проблема — отсутствие контроля состояния средств измерений в межповерочный интервал. Действующая система подтверждает пригодность прибора в момент поверки, однако сохранение его метрологических характеристик между двумя поверками в большинстве случаев не проверяется. Для таких чувствительных приборов, как газоанализаторы и шумомеры, это создает серьезный риск: деградация датчика, механические повреждения или влияние условий эксплуатации могут нарушить достоверность результатов задолго до окончания срока поверки. В качестве решения необходимо внедрить систему промежуточных проверок, а для газоанализаторов — регулярные функциональные тесты в качестве обязательной практики на уровне предприятий.

Пятая проблема связана с кадровым потенциалом. В метрологических службах и отделах охраны труда предприятий не хватает специалистов, владеющих современной метрологической методологией — оцениванием неопределенности, интерпретацией результатов калибровки, оценкой соответствия на основе правил принятия решений. Зачастую работа со средством измерений ограничивается изучением его паспорта, без оценки метрологического качества полученного результата. Данное положение требует создания системы непрерывного профессионального развития, а также



усиления специальных курсов по промышленной метрологии и метрологии гигиены труда в программах высшего образования.

Шестая проблема — разрозненность данных и низкий уровень цифровизации. Результаты измерений часто ведутся в бумажных журналах, сертификаты поверки хранятся отдельно, а реестр средств измерений своевременно не обновляется. В таких условиях невозможно вести целостный анализ жизненного цикла средства измерений — от закупки до списания, автоматически контролировать сроки поверки и отслеживать динамику результатов. Между тем именно анализ исторических данных необходим для оценки фактической стабильности прибора и научного обоснования межповерочного интервала.

6. Приоритетные направления совершенствования метрологического обеспечения.

На основе анализа вышеизложенных проблем можно предложить следующие приоритетные направления совершенствования метрологического обеспечения измерений в сфере промышленной безопасности и охраны труда.

Первое направление — целенаправленное развитие эталонной базы и калибровочных возможностей. На основе глубокого изучения потребностей отрасли необходимо определить, по каким величинам спрос на калибровочные услуги наиболее высок, и спланировать размещение эталонных установок именно в этих направлениях, в том числе в региональных подразделениях. В качестве приоритетных направлений отмечаются величины акустики и вибрации, газового анализа, температуры и влажности, светотехники, а также показатели электробезопасности. Расширение участия национальных эталонов в международных сличениях и регистрация калибровочных и измерительных возможностей в международной базе данных обеспечат международное признание результатов.

Второе направление — внедрение рискориентированной модели метрологического обслуживания. При традиционном подходе для всех



однотипных средств измерений устанавливается единый межповерочный интервал. Между тем интенсивность эксплуатации прибора, агрессивность рабочей среды, ответственность за использование результатов измерений и историческая стабильность прибора бывают различными. Дифференциация межповерочных и калибровочных интервалов на основе методологии OIML D 10 / ILAC-G24, применяемой в международной практике и опирающейся на данные о фактическом состоянии прибора, не только повысит безопасность, но и обеспечит рациональное распределение ресурсов. Первостепенным условием для перехода на такую модель является цифровой сбор истории поверки средств измерений.

Третье направление — модернизация методик выполнения измерений. Необходимо гармонизировать методики измерений факторов производственной среды с международными стандартами, включить бюджет неопределенности измерений в каждую методику и статистически обосновать стратегии отбора проб. Валидация методик и регулярное участие применяющих их лабораторий в проверках квалификации служат практической гарантией достоверности результатов.

Четвертое направление — стимулирование аккредитации лабораторий на соответствие ISO/IEC 17025. Целесообразно поэтапно сделать аккредитацию обязательным требованием для лабораторий, проводящих аттестацию рабочих мест и измерения в рамках экспертизы промышленной безопасности. Аккредитация подтверждает не только техническую компетентность, но и объективность результатов, а также функционирование системы менеджмента качества. Укрепление признания национального органа по аккредитации в рамках международных организаций (ILAC MRA) создает основу для признания результатов местных лабораторий за рубежом, что является важным фактором конкурентоспособности и для экспортоориентированных предприятий.



Пятое направление — укрепление метрологической дисциплины на уровне предприятий. На каждом промышленном предприятии рекомендуется вести единый цифровой реестр средств измерений, автоматизировать контроль графиков поверки и калибровки, внедрять программы промежуточных проверок, сделать обязательными ежедневные или ежесменные функциональные тесты для газоанализаторов, а также фиксировать результаты измерений в электронном виде. На предприятиях, сертифицированных по стандарту ISO 45001, эти требования должны быть документально оформлены как неотъемлемая часть системы менеджмента профессиональной безопасности.

Шестое направление — развитие системы подготовки и повышения квалификации кадров. Предлагается организовать практические учебные программы для работников метрологических служб, специалистов по охране труда и персонала лабораторий по вопросам оценивания неопределенности, интерпретации сертификатов калибровки, правил принятия решений и межлабораторных сличениях; включить модуль «Метрология в промышленной безопасности» в программы высшего образования по направлению метрологии; направить научно-исследовательские работы на практические проблемы сферы — метрологические исследования калибровочных установок, оптимизацию межповерочных интервалов и моделирование неопределенности.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сформировать следующие основные выводы.

Во-первых, измерения в сфере промышленной безопасности и охраны труда являются одним из наиболее ответственных направлений законодательной метрологии, и их достоверность напрямую определяет качество решений, связанных с жизнью и здоровьем человека. Метрологическое обеспечение в этой сфере должно рассматриваться и



развиваться как целостная система научных, нормативно-правовых, технических и организационных основ.

Во-вторых, анализ текущего состояния выявил семь системных проблем: моральный и физический износ парка средств измерений; территориальный дефицит калибровочных возможностей по отдельным величинам; устаревание части методик и отсутствие в них разделов по оцениванию неопределенности; отсутствие контроля состояния приборов в межповерочный период; недостаточный кадровый потенциал; разобщенность данных и низкий уровень цифровизации; игнорирование неопределенности измерений при оценке соответствия.

Во-третьих, в качестве приоритетных направлений совершенствования были обоснованы следующие: целевое развитие эталонной базы исходя из реальных потребностей сферы, в том числе на региональном уровне; внедрение модели рискориентированных межповерочных и межкалибровочных интервалов; гармонизация методик с международными стандартами и их дополнение бюджетами неопределенности; расширение аккредитации лабораторий по ISO/IEC 17025; укрепление метрологической дисциплины на уровне предприятий; развитие системы подготовки кадров на основе современной методологии метрологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Закон «О метрологии» (новая редакция) — 15 апреля 2020 г., № ЗРУ-614
2. Трудовой кодекс — 28 октября 2022 г., № ЗРУ-798.
3. Законодательные акты Республики Узбекистан о промышленной безопасности опасных производственных объектов.
4. ISO/IEC 17025:2017. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
5. ISO 45001:2018. Системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда — Требования и руководство по применению.



6. JCGM 100:2008. Оценивание данных измерений — Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM).
7. JCGM 200:2012. Международный словарь по метрологии — Основные и общие понятия и связанные с ними термины (VIM).
8. OIML D 10 / ILAC-G24. Руководящие указания по определению межкалибровочных интервалов измерительного оборудования, используемого в испытательных лабораториях.
9. ILAC-G8. Руководство по правилам принятия решений и заявлениям о соответствии.
10. ISO 9612. Акустика — Определение воздействия производственного шума — Технический метод.
11. ISO 2631, ISO 5349. Механическая вибрация — Оценка воздействия общей и локальной вибрации на человека.
12. ISO 7243. Эргономика термической среды — Оценка тепловой нагрузки с использованием индекса WBGT.