

В настоящее время по результатам данных сличений БелГИМ опубликовано 37 строк СМС-данных.

В соответствии с МТШ-90 основной величиной, используемой для расчета температуры, измеренной с помощью платинового термометра сопротивления, является $W(t)$ - отношение его сопротивления при измеряемой температуре к сопротивлению при температуре ТТВ. Следовательно, достоверность и воспроизводимость температурной шкалы в целом определяется достоверностью воспроизведения температуры ТТВ.

Результаты исследований стабильности поддержания температуры ТТВ приведены в таблице 1.

Исследования проведены с помощью эталонного платинового термометра сопротивления ПТС-25 с номинальным сопротивлением в ТТВ 25 Ом.

Как видно из таблицы 1 СКО не превышает значения, заявленного в СМС-данных.

Благодаря национальному эталону единицы температуры в Республике Беларусь было налажено производство прецизионных средств измерений температуры, таких как измерители температуры эталонные (ИТЭ), а также решена проблема метрологического контроля прецизионных средств измерений температуры контактным методом зарубежного производства.

В настоящее время измерители температуры эталонные (ИТЭ) применяются для проведения измерений температуры с высокой точностью (до 0,01 °С) в органах ГМС, а также в метрологических лабораториях предприятий. Данные средства измерений не только улучшили качество метрологических услуг, но и позволили в ряде случаев отказаться от использования лабораторных ртутных стеклянных термометров.

УДК 006.91

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА В КОНТЕКСТЕ ПАРАДИГМЫ «INDUSTRIE 4.0»

Разумный А.И.¹, Гуревич В.Л.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Минск, Республика Беларусь

Мир стоит на пороге четвертой промышленной революции. Первая промышленная революция была вызвана властью над водой и паром для перехода от человеческого труда к механическому производству. Вторая промышленная революция основывалась на использовании электроэнергии и поточного производства для создания массового производства. Третья промышленная революция использовала электронику и информационные технологии для автоматизации производства. Четвертая – текущая тенденция автоматизации и обмена данными в технологиях производства.

Несмотря на то, что в Республике Беларусь еще сравнительно мало говорят о таких вещах как «Industrie 4.0», «Интернет вещей» (Internet of Things – IoT), киберфизические системы (Cyber-Physical Systems – CPS) и облачные вычисления (Big Data Mining), несколько стран с развитой экономикой уже реализуют концепцию «индустрии 4.0», обозначающую четвертую промышленную революцию, масштаб и характер изменений которой, по данным Всемирного экономического форума (ВЭФ), оценивается как беспрецедентный в истории человечества. Четвертая промышленная революция обладает огромным потенциалом для увеличения уровня жизни, производительности труда и темпам роста ВВП, повышения качества выпускаемой продукции, а так же энергоэффективности, эффективности использования ресурсов и защиты окружающей среды. Изменения, связанные с этим сдвигом парадигмы, затронут самые

разные стороны жизни, начиная от освобождения человека от рутинных типовых задач и заканчивая трансформацией экономики и рынка труда, изменениями в политических системах и социальным расслоением. Например, помимо работы по внедрению «Industrie 4.0» развивающиеся страны должны подготовиться к тому, что они столкнутся с последствиями ее реализации в странах с развитой экономикой. Некоторые из этих последствий связаны с уменьшением потоков прямых иностранных инвестиций и еще одним проявлением увеличивающегося технологического разрыва, что приведет к еще большему дефициту ВВП и, следовательно, большим различиям в плане благосостояния. Таким образом, если не воспользоваться преимуществами «Industrie 4.0», то данные проблемы значительно увеличиваются в своих масштабах.

Впервые термин «Industrie 4.0» и свое видение о будущем развитии промышленности было представлено правительством Германии на Ганноверской ярмарке в 2011 году, а уже два года спустя на том же месте правительство представило свою государственную программу «Industrie 4.0», в рамках которой предполагается, что крупные немецкие концерны при грантовой поддержке Федерального правительства будут проводить исследования и внедрять инновации в целях создания полностью автоматизированного «умного» производства (Smart Factory), линии и изделия на котором будут взаимодействовать друг с другом и потребителями в рамках концепции «Интернета вещей». Уже

сейчас компании внедряют инновационные решения, в том числе через «интернет вещей», облачные вычисления, миниатюризацию и трехмерную печать, которые позволят обеспечить большую совместимость и гибкость производственных процессов, автономное и интеллектуальное производство. Физические компоненты промышленного производства трансформируются посредством интеллектуальных цифровых сетей в киберфизические системы, что позволяет управлять производственными процессами и продуктами по индивидуальному заказу в режиме реального времени и на больших расстояниях [1].

Иными словами, идея «умного завода» станет возможной благодаря таким новациям, как «Industrie 4.0» и «Интернет вещей», что в свою очередь обеспечит взаимосвязь производственных процессов и их адаптацию к установленным условиям в реальном времени на основе действительных данных, поступающих от различных источников. В рамках модульной структуры «умного завода» киберфизические системы контролируют физические процессы, создавая виртуальную копию физического мира и делая децентрализованные решения в режиме реального времени [1].

При этом все, метрология, являющаяся неотъемлемой частью общей концепции «Industrie 4.0», отвечает за предоставление необходимых действительных данных для контроля качества продукции и производственных процессов и будет играть важную роль в предстоящем создании «умного завода».

Представление «Industrie 4.0» с точки зрения метрологического обеспечения заключается в повышении качества и максимальной скорости измерений и контроля прямо на производственной линии, что позволит повысить производительности, снизить время производственного цикла и другие связанные с этим затраты. В свою очередь это определяет новые тенденции в метрологии с точки зрения удовлетворения потребностей производственной среды и интеллектуальных процессов производства и измерений [2].

Метрологическое обеспечение станет полностью неотъемлемой частью производственного процесса, даже если не вся измерительная система физически встроена и будет интегрирована через подключенный поток данных в реальном времени. Автоматизация будет играть ключевую роль в задачах измерения, удаляя традиционные метрологические процедуры послепроизводственного контроля из производственного цикла. Измерения будут проводиться с помощью «умных» сенсоров и систем, интегрированных непосредственно в производственные процессы, обеспечивая адаптивное управление и реализацию корректировок и исправлений в режиме реального времени. Такие системы будут агрегировать и обрабатывать

информацию и в конечном итоге принимать решения, основанные на мониторинге наиболее важных функций процесса. Данные такого рода позволяют принимать решения в режиме реального времени всякий раз, когда эти критические параметры изменяются и влияют на конечный результат процесса. С другой стороны, «данные не равны информации». Поэтому необходимо разработать платформы действий и алгоритмы. Это алгоритмы, которые позволяют определить контрольные индикаторы для оценки данных и принятия решений. Это приведет к созданию базы данных, позволяющей производственным процессам прогнозировать любые неточности и действовать превентивно.

С точки зрения технологии, отдельные датчики заменяются распределенными сетями датчиков, поскольку сетевая инфраструктура является существенным изначальным условием для использования потенциала встроенных измерений с максимальной эффективностью. Таким образом, можно говорить о слиянии данных с нескольких разных датчиков, что приводит к комбинированному метрологическому результату. Инструменты анализа данных, такие как нейронные сети и другие методы машинного обучения, будут направлены на компенсацию ограниченных данных, полученных в отдельных точках путем объединения огромных наборов данных. Это будет означать, что поверхности сложных форм будут полностью охарактеризованы и анализ значений будет происходить на основе необходимой информационной достаточности.

Основные требования, которые должны выполняться для взаимодействия между датчиками и процессами, связаны с быстрым сбором данных (бесконтактные технологии), автоматической обработкой измерений (параметрическое программирование), интерпретацией результатов (модели принятия решений) и преобразованием полученных результатов (адаптация языка общения) для связи с системой мониторинга процесса и, в конечном счете, вмешательства.

Кроме того, одна из самых больших проблем связана с переносом прослеживаемости измерительных процедур «от лаборатории к производственной среде», где многие из факторов, которые контролируются в лаборатории (условия окружающей среды, калибровка датчика, и т. д.), не контролируются или даже неизвестны из-за того, что не было необходимости характеризовать их. Фактически, колебания температуры являются источником неопределенности, которая в наибольшей степени влияет на производственные и измерительные системы, а также на саму деталь. Чем больше температурные колебания и чем больше деталь, тем больше будут геометрические смещения системы и компонентов. Поэтому неопределенность в отношении производственных процессов и процессов измерения на месте производства больше [2].

В заключение можно сказать, что «Industrie 4.0» – это прежде всего оцифровывание промышленности, в частности производственных процессов, а также продуктов и услуг, получаемых от них. Оцифровка требует, чтобы метрология выходила за пределы лабораторий и переходила непосредственно к производственным процессам. Это план действий, в котором есть ряд возможностей, к которым метрология должна будет обратиться в ближайшем будущем, если она стремится стать помощником для «Industrie 4.0». Метрологическая деятельность в данном направлении должна включать в себя вопросы выполнения автоматической калибровки и обеспечения валидации данных, а также поддержания стабильности и надежности применяемых чувствительных элементов. Кроме

того, системы мониторинга, задействованные в организованном обмене информацией («Интернет вещей»), способны генерировать огромные объемы данных (Big Data). В этой связи все большая роль должна отводиться методам комплексного анализа данных в режиме реального времени, основанным на четких метрологических принципах и обеспечивающим достоверный уровень неопределенности.

1. Hermann, Pentek, Otto, 2016: Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios, accessed on 4 May 2016.
2. Heiner Lasi, Hans-Georg Kemper, Peter Fettke, Thomas Feld, Michael Hoffmann: Industry 4.0. In: Business & Information Systems Enginee.

УДК 519.23+519.25

НОВЫЙ СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ СОВПАДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Подригало М. А.¹, Коробко А. И.², Исакова Е. В.¹

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

²Украинский научно-исследовательский институт прогнозирования и испытаний техники и технологий для сельскохозяйственного производства имени Л. Погорелого, Харьковский филиал
Харьков, Украина

При проведении экспериментальных исследований важным является вопрос определения, на сколько полученные экспериментальные данные совпадают с теоретическими. Иначе говоря, насколько экспериментальное распределение данных отвечает теоретическому. Решение указанных задач базируется на основных положениях теории вероятности и математической статистики.

В докладе предложен новый способ оценивания совпадения теоретических и экспериментальных данных на основе методов математической статистики, используя в качестве показателя вероятность с которой совпадают теоретические и экспериментальные данные. Указанный показатель основан на предположении того, что теоретические и экспериментальные данные распределены нормально, а теоретическое распределение изменяется в пределах неопределенности измерения исследуемого параметра.

Вопросу исследования совпадения теоретических и экспериментальных распределений посвящено значительное количество работ, как фундаментальных пособий по теории вероятности и теории эксперимента, так и публикации по решению частных задач. Однако, следует заметить, что на сегодняшний день в известной литературе нет единого подхода к терминам и их определений по этому вопросу. В связи с этим возникают разногласия в трактовке отдельных понятий. Детальный анализ показателей и критериев для установ-

ления соответствия теоретического распределения экспериментальному осуществлен в работе [1]. Эти показатели имеют название «критерии согласования».

К недостаткам существующих критериев можно отнести следующее:

- они требуют наличия большой выборки;
- не в полной мере дают ответ на вопрос относительно того, на сколько (в количественном виде) совпадают теоретические и экспериментальные данные;
- косвенный (интегральный) учет метрологических характеристик измерений исследуемого параметра.

Для решения поставленной задачи воспользуемся оцениванием вероятности равенства нулю разности математических ожиданий величин полученных теоретическим и экспериментальным путем. Рассматривая результаты теоретического и экспериментального исследования как случайные величины, результат представим в виде композиции этих величин

$$|\bar{y}_T - \bar{y}_E| = k_p \sigma_{\text{ком}}, \quad (1)$$

где \bar{y}_T , \bar{y}_E – математическое ожидание (оценки) результатов теоретического и экспериментального определения (измерения) параметру y , соответственно; k_p – квантиль нормального распределения композиции случайных величин; $\sigma_{\text{ком}}$ – среднеквадратическое отклонение композиции случайных величин.