

измерений; наличие методик измерений на рабочих местах и документов по их аттестации.

Модуль М6 включает: средства измерений; эталоны (при их наличии); стандартные образцы; программные средства, используемые при измерениях и вычислениях результатов измерений; технические устройства, которые участвуют в процессе измерений и имеют измерительные функции и параметры (в т.ч. испытательное оборудование, как средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний); производственные условия и условия окружающей среды при их эксплуатации; метрологическое подтверждение пригодности измерительного оборудования на соответствие требованиям по обеспечению единства измерений, установленным в Законе «Об обеспечении единства измерений», нормативных правовых актах и технических нормативных правовых актах

Метрологический аудит *модулей М5 и М6* всегда проводится с *модулем М7* по оценке и подтверждению наличия метрологической прослеживаемости.

Прогнозируется, что наиболее востребованным для проведения метрологического аудита до внедрения Закона Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. № 3848-ХП «Об обеспечении единства измерений» в редакции Закона Республики Беларусь от 11 ноября 2019 г. N 254-З" будет *модуль М16*. Это связано, прежде всего, с внесе-

нием в законодательство ранее не используемых терминов и их определений, таких, как регистрация средства измерений, уполномоченное юридическое лицо, метрологическая оценка, метрологическая экспертиза средств измерений и стандартных образцов, метрологические требования и обязательные метрологические требования, точность измерений, стандартный образец, первичная референтная методика (метод) измерений, референтная методика (метод) измерений и др., а также правовым регулированием области обеспечения единства измерений, полномочиями субъектов обеспечения единства измерений, метрологической оценки, и т.п.

Предполагается, что при использовании модульного подхода значительно сократится время на получение необходимой информации, так как не потребуется повторений оцениваемых объектов метрологического аудита.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 5 сентября 1995 г. № 3848-ХП «Об обеспечении единства измерений» в редакции Закона Республики Беларусь от 11 ноября 2019 г. N 254-З".
2. Барташевич Д.П. Метрология в фокусе экономики и общества // Метрология и приборостроение. – 2020, № 2. – С. 5–9.
3. Астафьева Л.Е., Скачэк В.Н. / Метрологический аудит и обеспечение единства измерений на производстве // Метрология и приборостроение. – 2020, № 3. – С. 16–21.

УДК 618

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ РАЗМЕРА ЧАСТИЦ

Соломахо В.Л.¹, Багдюн А.А.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный институт метрологии
Минск, Республика Беларусь

Одной из первоочередных задач метрологии в микро- и нанодиапазоне является создание стандартных образцов (СО) размера, состава, структуры и свойств материала для обеспечения высокотехнологичного измерительного оборудования необходимым набором средств, воспроизводящих шкалу единиц, для осуществления калибровки средств измерений, разработки методик измерений, контроля результатов измерений, обеспечения прослеживаемости к эталону.

Согласно ГОСТ Р ИСО 21501-4-2012 «Получение распределения частиц по размерам. Оптические методы оценки отдельных частиц. Часть 4. Счетчики частиц в воздухе для чистых зон, работающие на принципе рассеяния света», первыми пунктами калибровки счетчиков частиц

являются калибровка по размерам частиц и проверка правильности установки размера [1]. В качестве частиц для калибровки рекомендуются частицы полиуретанового латекса (PSL). На данный момент он является самым распространенным СО для передачи единицы длины в микро- и нанометровом диапазоне измерений. Он участвует в передаче единицы длины от эталонных средств измерений к рабочим.

Однако СО монодисперсного полиуретанового латекса являются весьма дорогостоящими и требуют специальных условий хранения. Альтернативой может служить метод создания монодисперсных частиц, в частности, с помощью генератора частиц FMAG 1520 (Flow Focusing Monodisperse Aerosol Generator), способного

генерировать аэрозоли с известным диаметром из других, более дешевых расходных материалов.

Генератор монодисперсных аэрозолей с фокусировкой потока (F MAG), Модель 1520, компании MSP, может генерировать монодисперсные капли в широком диапазоне от 17 мкм до 72 мкм и жидкие и твердые частицы от 0,8 мкм до 12 мкм известного диаметра и концентрации из множества жидких растворов.

В данной работе проведены исследования аэрозолей воспроизводимых генератором аэрозолей F MAG 1520 из раствора NaCl в дистиллированной воде, как альтернативы СО латексных частиц номиналами 1; 3 и 5 мкм. Измерения проводились с использованием лазерного спектрометра аэрозолей LAS 3340A, метрологические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон измерения размеров частиц, мкм	от 0,09 до 7,50
Относительная погрешность измерения частиц размером 0,1 мкм, не более, %	5
Количество каналов	99

Генератор монодисперсных аэрозолей с фокусировкой потока состоит из четырех основных компонентов: генератора капель, электрического ионизатора, сушильной колонки и системы струйного управления потоком и управления приборами.

Диаметр микроструи, генерируемой фокусировкой потока, может рассчитываться следующим уравнением [2]:

$$D_j \cong \left(\frac{8\rho_l}{\pi^2 \Delta P_g} \right)^{1/4} Q^{1/2}, \quad (1)$$

где D_j – диаметр струи, ρ_l – плотность жидкости, ΔP_g – перепад давления газа, а Q – расход жидкости.

Экспериментальные результаты показывают, что фактический диаметр генерируемой струи примерно на 20 % меньше, чем прогнозировалось уравнением (1).

Оптимальная частота возбуждения может быть определена из классической теории малых возмущений Рэлея, которая показывает, что возбуждения с длиной волны, превышающей окружность струи, будут нестабильны, при этом нестабильность увеличивается экспоненциально.

Скорость струи может рассчитываться исходя из диаметра струи, полученного фокусировкой потока и расхода жидкости с использованием уравнения (2):

$$v_j = \frac{4Q}{\pi D_j^2}. \quad (2)$$

Частота вибрации рассчитывается уравнением (5):

$$f = v_j \lambda. \quad (3)$$

Диаметр капель можно рассчитать непосредственно из рабочих диаметров генератора F MAG с применением уравнения (4):

$$D_d = \left(\frac{6Q}{\pi f} \right)^{1/3}, \quad (4)$$

где D_d – диаметр капель, Q – расход жидкости, а f – частота вибрации.

Геометрический диаметр частицы можно рассчитать из уравнения (5):

$$D_p = C^{1/3} D_d, \quad (5)$$

где D_p – геометрический диаметр частиц, а C – объемная концентрация нелетучих растворенных веществ в растворе.

Концентрация должна включать в себя любые нелетучие примеси, присутствующие в растворе, и, поэтому, при генерировании мелких частиц (менее 1 мкм) чистота раствора должна быть максимальной.

На основании вышеизложенной информации можно подобрать входные параметры генератора F MAG для получения аэрозолей на основе раствора NaCl в дистиллированной воде с номинальными размерами частиц 1; 3 и 5 мкм. Эти параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2

Ном. р-р частиц, мкм	Расход жидкости (Q), мл/ч	Частота вибрации (f), кГц	Объемная концентрация (C), %
1	2	210	0,020
3	4	137	0,175
5	4	154	0,900

Ниже на рисунках 1, 2 и 3 представлены результаты измерений частиц размером 1; 3 и 5 мкм. Моды распределений составляют 0,988; 2,934 и 4,880 мкм соответственно.

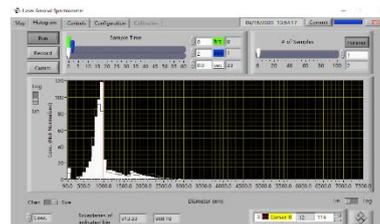


Рисунок 1 – Результаты измерений аэрозоля номинальным размером 1 мкм

Анализируя полученные графики, можно предположить, что расчеты верны и генератор воспроизводит частицы требуемого диаметра, так как мода распределения практически совпадает с номинальными значениями генерируемых частиц, а их распределение близко к нормальному. Несовпадения значений можно объяснить недостаточной точной объемной концентрацией частиц в

созданных растворах. Также можно сказать, что стандартное отклонение среднего значения размера частиц колеблется в пределах 2,5 % – 3 %.

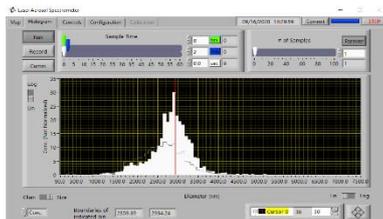


Рисунок 2 – Результаты измерений аэрозоля номинальным размером 3 мкм

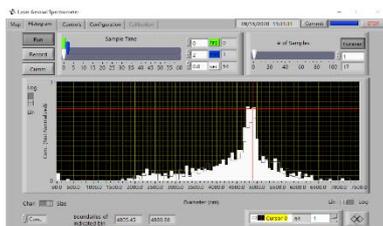


Рисунок 3 – Результаты измерений аэрозоля номинальным размером 5 мкм

УДК 004.896

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БЕСФИЛЬЕРНОГО ВОЛОЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Томашук А.С.

*НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
Киев, Украина*

Введение. В процессе изготовления протяженных изделий, таких как, стержень, проволока, волокно, за методом бесфильтрного волочения, необходимо придерживаться требуемых значений параметров его общей физико-математической модели [1]. В случае отклонения любого из значений от заданного значения, результатом может стать дефект изделия, который в свою очередь влияет на качество готового продукта [2].

Ранее, нами было разработано оптическое устройство для контроля распределений диаметра и температуры на поверхности таких изделий в зоне их деформации [3].

На сегодняшний день, необходимо совместить обе системы – машину для проведения процесса бесфильтрного волочения протяженного изделия и устройство контроля его параметров с целью автоматизации процесса [4].

Так как процесс динамический и зависит от многих факторов, в том числе и от внешних возбудителей, которые не являются частью системы – не входят в состав физико-математической модели, тогда в такой процесс должны быть включены алгоритмы, которые позволили бы корректировать данную систему, приводя план действий ее поведения к установленному ранее. Таким образом, система становится автоматизи-

На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что генератор FMAГ способен генерировать частицы требуемого диаметра, которые, на сегодняшний момент, не способны в полной мере заменить латексные частицы (PSL). При этом есть возможность приблизиться к требованиям ГОСТ Р ИСО 21501-4-2012 путем эффективного комбинирования большим количеством источников изменчивости, влияющих на дисперсию получаемых данных.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО 21501-4-2012 «Получение распределения частиц по размерам. Оптические методы оценки отдельных частиц. Часть 4. Счетчики частиц в воздухе для чистых зон, работающие на принципе рассеяния света», первыми пунктами калибровки счетчиков частиц являются калибровка по размерам частиц и проверка правильности установки размера.
2. Generation of Steady Liquid Microthreads and Micron-Sized Monodisperse Sprays in Gas Streams / Alfonso M. Gañán-Calvo; PHYSICAL REVIEW LETTERS, 1998, volume 80, number 2. – P. 286.

рованной, но действия ее алгоритмов все еще поддаются логическому поведению.

Если мы хотим, чтобы наша система была автоматизированной, и кроме этого, обучалась на успехах и неудачах своего опыта работы с целью своего совершенствования, в таком случае могут быть применены методы машинного обучения.

Цель исследования. Целью исследования является формирование подхода, при котором качество конечного изделия, которое изготавливается методом бесфильтрного, высокотемпературного изготовления, с помощью ввода в систему, дополнительно, метода машинного обучения повышалось бы свой уровень в режиме реального времени.

Анализ информационных источников. В работах [5–7] исследовался процесс бесконтактного изготовления оптического волокна, металлических проволоки и трубы. Одним из результатов стало определение отношения распределения температуры на поверхности участка изделия к его длине в зоне деформации.

В работах [8, 9] применялось моделирование процесса бесфильтрного волочения на основе модели конечных элементов, которая реализована в программном обеспечении (ПО) DEFORM 3D и DEFORM 2D. Был проведен анализ пара-