

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

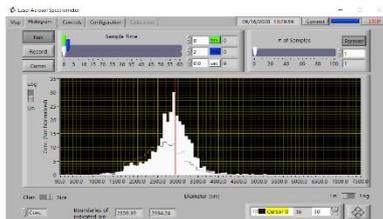


Рисунок 2 – Результаты измерений аэрозоля номинальным размером 3 мкм

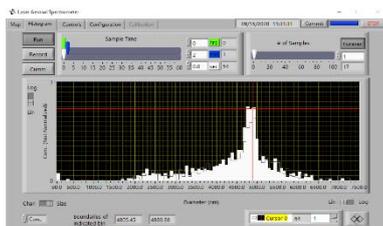


Рисунок 3 – Результаты измерений аэрозоля номинальным размером 5 мкм

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-

метров процесса, в том числе, теплопередачи и формирования протяженных изделий.

В работе [10] исследовался процесс бесфиллерного волочения проволоки из стали диаметром 1,6–2 мм. Одной из задач данной работы была разработка модели искусственной нейронной сети, которая основана на результатах экспериментов, цель которой – прогнозирование результатов поведения процесса бесфиллерного волочения проволоки.

По утверждению авторов, исходя из аннотаций к работам (полные работы на момент написания этого доклада не были получены), в работах [11, 12] были применены модели искусственного интеллекта с целью оптимизации процесса бесфиллерного волочения проволоки. В работе [11], предварительно, было произведено математическое моделирование процесса в ПО DEFORM. В работе [12] модель искусственного интеллекта основана на методе искусственной нейронной сети за методом обратного распространения ошибки.

**Формирование метода.** Есть необходимость в формировании отдельного плана действий (ПД), в котором соблюдаются температурный режим, а также установлены значения всех параметров процесса бесфиллерного волочения.

Имеются известные входные данные для проведения процесса бесфиллерного волочения протяженного объекта: параметры процесса, температурное распределение на поверхности объекта и его геометрические параметры.

В процессе производства могут возникнуть следующие сложности:

– первое, предположим, что условия, при которых были получены входные данные и те, что имеются сейчас, приблизительно равны, а проблемой является получение изделия с требуемыми параметрами повышенной точности – имеют меньшее отклонение значений в каждом из параметров;

– второе, предположим, что условия, при которых были получены входные данные, не соответствуют условиям, при которых будет происходить изготовление в следующий раз.

Входные данные могут быть представлены функцией  $f(p_1, p_2, \dots, p_i)$ , где  $p$  – значение отдельного параметра.

Входные данные каждой из функций всегда описывают приближенный ПД для проведения процесса волочения – не идеальное поведение. Следовательно, в режиме реального времени, значения отдельных параметров могут всегда изменяться с целью совершенствования процесса изготовления. Как результат этого, имеем 3 ПД:

– ПД, при котором происходит грубая обработка, результатом которого может стать дефект изделия;

– ПД, при котором происходит обработка, согласно предложенному ПД – известные входные

данные, результатом которого может стать изделие с требуемыми параметрами или изделие с наличием мелких дефектов, большие/меньшие отклонения от требуемых.

– ПД, при котором происходит совершенная обработка, результатом которого является получение изделия с требуемыми параметрами с требуемым или повышенным значением точности (значение параметра с меньшим отклонением).

Процесс решения основной задачи должен быть основан на итерации процедур изменений отдельных ПД, а именно изменений значений параметров с некоторым заданным отклонением от полученного значения на предыдущей итерации.

Изменение значений отдельных параметров, которое влияет на поведение общей системы, в том числе участие их в решении подзадач и моделировании, является вопросом метода машинного обучения.

Как вариант для решения общей задачи можем выделить следующие подзадачи признаков:

– Класс (подзадача) признаков 1: скорость подачи заготовки; скорость вытягивания изделия; скорость вращения изделия; длина участка заготовки в зоне деформации.

– Класс (подзадача) признаков 2: напряжение в системе нагрева, в конструкции которой элементом нагрева является индукционная катушка; сила тока в системе нагрева, в конструкции которой элементом нагрева является индукционная катушка.

– Класс (подзадача) признаков 3: диаметр заготовки; диаметр заготовки в зоне деформации; диаметр изделия.

– Класс (подзадача) признаков 4: температура поверхности заготовки вне зоны деформации; температура поверхности заготовки в зоне деформации; температура поверхности изделия вне зоны деформации (в зоне охлаждения).

– Класс (подзадача) признаков 5: температура поверхности заготовки вне зоны деформации – в зоне, где на нее воздействует температура окружающей среды; температура поверхности изделия вне зоны деформации – в зоне его охлаждения, где на него воздействует температура окружающей среды.

**Выводы по работе за указанный период времени.** Проведен краткий обзор информационных источников в отношении совершенствования качества изделия получаемого с помощью сопряжения процесса бесфиллерного волочения с методами машинного обучения.

#### Литература

1. Jafari H. Thermo-mechanical investigation of dieless wire drawing process / H. Jafari. – University of British Columbia, 2013. – P. 111.

2. Хаяк Г.С. Волочение проволоки из цветных металлов и сплавов / Г.С. Хаяк. – М.: Металлургия, 1967. – 151 с.
3. Tomashuk A. Device for monitoring the temperature and diameter of an extended cylindrical object in the high-temperature manufacturing process / A. Tomashuk // IOP conference series: Materials science and engineering. – 2018. – Vol. 450. – 032018.
4. Method and device for testing the parameters of the wire from NiTi alloy in the high-temperature manufacturing process with use an inert gas / R. Galagan, A. Muraviov, A. Tomashuk // IOP conference series: Materials science and engineering. – 2019. – Vol. 537. – 032072.
5. Modeling by numerical reduction of modes for multivariable control of an optical-fiber Draw process / K.-M. Lee, Zh. Wei, Zh. Zhou // IEEE transaction of automation Science and Engineering. – 2006. – Vol. 3. – Iss. 1. – P. 119–130.
6. Numerical analysis of continuous die-less wire drawing process / R.J. Mohammed, J. Alsalaet, A.A. Nassar // International journal of engineering & technology. – 2018. – Vol. 7. – P. 699–704.
7. Effective temperature distribution and drawing speed control for stable dieless drawing process of metal tubes / T. Furushima, S. Hirose, K. Manabe // Journal of solid mechanics and materials engineering. – 2009. – Vol. 3. – Iss. 2. – P. 236–246.
8. Formability discussion in dieless drawing of stainless steel tubes / Y.M. Hwang, Z.S. Li, T.U. Lin // Key engineering materials. – 2014. – Vol. 626. – P. 10–15.
9. Hwang Y.-M. Formability analysis and oxidation layer effects in dieless drawing of stainless steel wires / Y.-M. Hwang, H.-H. Liu // Metals. – 2019. – Vol. 9. – 828.
10. Experimental study and artificial neural networks prediction of effective parameters in continuous die-less wire drawing process / R.J. Mohammed, J.Kh. Ali, A.A. Nassar // Bashar journal of engineering sciences. – 2019. – Vol. 19. – Iss. 1. – P. 52–63.
11. Optimization of dieless drawing process based on artificial intelligence / Y. He, X. Liu, J.X. Xie, X.J. Ban. – 2008. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/289307389\\_Optimization\\_of\\_dieless\\_drawing\\_process\\_based\\_on\\_artificial\\_intelligence](https://www.researchgate.net/publication/289307389_Optimization_of_dieless_drawing_process_based_on_artificial_intelligence).
12. Prediction model of wire diameter in dieless drawing process based on BP neural network / Y.-Q. Yang, Y. He, X. Liu, J.-X. Xie. – 2008. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/292530528\\_Prediction\\_model\\_of\\_wire\\_diameter\\_in\\_dieless\\_drawing\\_process\\_based\\_on\\_BP\\_neural\\_network](https://www.researchgate.net/publication/292530528_Prediction_model_of_wire_diameter_in_dieless_drawing_process_based_on_BP_neural_network).

УДК 617.3

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТОПЫ****Цапенко В.В., Терещенко Н.Ф.***НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»  
Киев, Украина*

В современной биомедицинской инженерии достаточно молодым и перспективным направлением является клинический анализ двигательной деятельности – исследования различных патологий ходьбы и основной стойки, с использованием методов биомеханики. Не вызывает сомнений значимость оценки функционального состояния опорно-двигательной системы у пациентов ортопедического и неврологического профиля [1]. В последние годы количество заболеваний, травм и патологий опорно-двигательного аппарата неуклонно растет, что существенно влияет на качество жизни населения. Различные заболевания и повреждения опоры нередко сопровождаются серьезными функциональными нарушениями двигательного аппарата, снижением силы и тонуса мышц, утратой способности к нормальным движениям, что в итоге приводит к инвалидности и последующей потере трудоспособности [2]. Диагностика осанки человека не была бы полной без измерения и оценки состояния опорно-рессорных свойств ее стопы. Стопа является структурным сегментом опорно-двигательного аппарата, которая обеспечивает его стато-локомоторную функцию, и представляет собой целостный морфофункциональный объект, от которого зависит двигательная функция человека. В течение жизни, в той или иной степени изменяются функциональные параметры стопы. В первую очередь они

касаются ее рессорной и опорной функций. В случае нарушений симметричности нагрузки стопы в положении стоя или при ходьбе, а также за счет снижения упругих характеристик стопы – снижаются ее амортизационные свойства, что приводит к увеличению ударной нагрузки и усилению вибрационных воздействий на весь опорно-двигательный аппарат [3, 4]. В связи с этим морфофункциональная диагностика состояния стоп является существенным элементом профилактики ряда нарушений опорно-двигательного аппарата, а прикладной аспект анализа локомоций человека, в современной биомедицинской инженерии, является очень актуальным и перспективным. Для объективной оценки влияния распределения нагрузки по стопе на локомоции необходимые клинический анализ движения и постурологичне обследование (исследование положения принятого телом) [5, 6]. С целью повышения точности исследования биомеханических параметров стопы, необходимо учесть влияние динамических нагрузок – реакций опоры на нагрузку соответствующей зоны цикла шага.

**Цель исследования** заключается в повышении точности и достоверности исследования биомеханических параметров стопы человека.

**Методы исследования.** Поставленная задача решается путем применения комплексного подхода с использованием анализа и обобщения