

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.

При проведении исследования были сделаны допущения о том, что y_T и y_e подчиняются нормальному закону. Это дает право рассматривать нормальный закон распределения композиции случайных величин ($y_T \cdot y_e$).

Экспериментальные данные описываются (как отмечалось выше) нормальным законом распределения.

Теоретические значения оценочного показателя являются функцией некоторых величин, которые входят в выражение для его определения

$$y_T = f(X \pm U_X), \quad (2)$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множество значений величин, которые входят в выражение для определения теоретического значения оценочного показателя y ; $U_X = \{U_{X1}, U_{X2}, \dots, U_{Xn}\}$ – множество значений расширенной неопределенности (пределных границ абсолютных погрешностей) с которыми измеряются показатели X , что входят в выражение для определения оценочного параметра y ; n – количество величин, которые входят в выражение для определения оценочного показателя y .

Таким образом, можно сделать вывод, что теоретическое значение величины оценочного показателя y изменяется в пределах $y_T = [-U_y; +U_y]$, где U_y – расширенная неопределенность (граница абсолютной погрешности) измерения показателя y .

Значение U_y может быть взято из априорных данных, свидетельства о калибровке или паспорта средства измерительной техники (при прямых измерениях), установленное в нормативном документе на метод измерений (испытаний), и тому подобное.

Математическое ожидание \bar{y}_T теоретического значения величины оценочного параметра будет равняться его теоретическому значению y_T .

Максимальное y_{Tmax} и минимальное y_{Tmin} теоретическое значение оценочного показателя будет определяться, соответственно

$$y_{Tmax}(y_{Tmin}) = \bar{y}_T \pm U_y. \quad (3)$$

Применяя правило «трех сигм» определим среднеквадратическое отклонение случайной величины y_T с учетом (3)

$$\sigma_{y_T} = \frac{U_y}{3}. \quad (4)$$

Среднеквадратическое отклонение композиции случайных величин

$$\sigma_{ком} = \sqrt{\sigma_{y_T}^2 + \sigma_{y_e}^2} \quad (5)$$

С (1) находим k_p с учетом (4) и (5)

$$k_p = \frac{|\bar{y}_T - \bar{y}_e|}{\sqrt{\frac{U^2}{9} + \sigma_{y_e}^2}} \quad (6)$$

Показатель k_p характеризует вероятность с которой теоретическая модель не соответствует экспериментальной. Для определения

вероятности с которой теоретическая модель будет соответствовать экспериментальной необходимо найти величину обратную k_p

$$p_c = 1 - k_p. \quad (7)$$

Показатель p_c (probability coincidence) показывает какая часть теоретического распределения совпадает с экспериментальным и может выражаться в безразмерных единицах или в процентах.

Пределы изменения p_c :

– $p_c = [-\infty; 0]$ – распределения не совпадают полностью;

– $p_c = (0; 1)$ – распределения совпадают частично (с вероятностью от 0 до 1);

– $p_c = [1]$ – распределения совпадают полностью.

При проведении научных исследований, разработке новых методов испытаний и их моделей, на начальном этапе исследования достаточным можно считать совпадение на уровне $p_c = [0,8; 1]$. В дальнейшем результат может уточняться в зависимости от требований и потребностей. Графическая интерпретация показателя p_c показана на рис. 1.

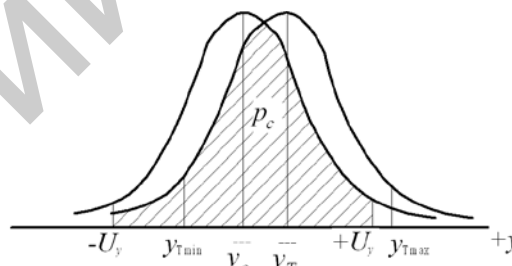


Рисунок 1 – Графическая интерпретация показателя p_c (probability coincidence)

В результате имитационного моделирования был получен вид поверхности по которой распределяются значения показателя p_c при разных значениях величин разницы математических ожиданий и среднеквадратических отклонений композиции законов распределения (рис. 2).

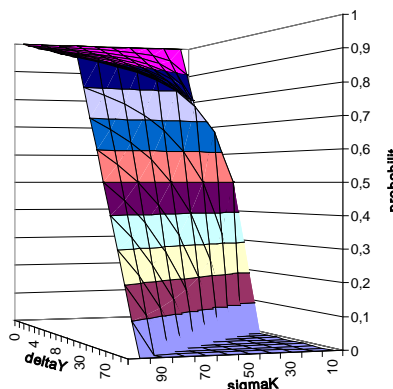


Рисунок 2 – Результаты моделирования совпадения теоретических и экспериментальных данных

Выводы. Разработанный показатель p_c (probability coincidence) совпадения теоретических и экспериментальных данных позволяет провести количественное оценивание адекватности теоретической математической модели данным эксперимента. Указанный показатель учитывает величину неопределенности измерения исследуемого показателя. Физическая суть –

вероятность совпадения теоретического и экспериментального распределения.

1. Лемешко Б. Ю. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход. Монография / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, С. Н. Постовалов, Е. В. Чимитова. – Новосибирск : Издво НГТУ, 2011. – 888 с.

УДК 541.183

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ С УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ 1 МэВ/НУКЛОН

Бринкевич Д.И.¹, Лукашевич М.Г.¹, Просолович В.С.¹, Харченко А.А.¹, Янковский Ю.Н.¹, Черный В.В.²

¹ Белорусский государственный университет

² Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Трековые мембраны (ТМ) – пористые полимерные пленки с микронными или нанопорами – предназначены для прецизионного фильтрования микро- и наночастиц, включая бактерии, кровяные тельца. Они нашли широкое применение в медицине, в процессах фильтрации воздуха и жидкостей, фармацевтических препаратов и биологических сред, а так же в качестве шаблонов для получения наноструктур [1,2]. Существенное преимущество ТМ как фильтров – одинаковый размер пор, который можно варьировать в широких пределах изменяя время травления, тип травителя и т.д.

Основным материалом ТМ является полиэтилентерефталат (ПЭТФ). Мембраны на основе ПЭТФ достаточно прочны и термостойки, что позволяет использовать их в бортовой аппаратуре рентгеновских телескопов в условиях открытого космоса на околоземной орбите [3]. Для изготовления ПЭТФ-мембран широко используется облучение ионами благородных газов с энергиями в несколько мегаэлектрон-вольт [2,3].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния высокоэнергетичной имплантации инертных газов (Xe, Ar) на рельеф поверхности пленок полиэтилентерефталата.

Пленки ПЭТФ толщиной 40 ± 2 мкм имплантировались ионами Ag и Xe с удельной энергией ~ 1 МэВ/нуклон и дозами (Φ) от $5 \cdot 10^8$ до $1 \cdot 10^{17}$ см⁻² при комнатной температуре на импульсном циклотроне ИЦ-9. Проецированный пробег (R_p) ионов составлял ~ 20 мкм. Плотность ионного тока варьировалась в интервале от 0,3 до 2,5 мкА/см². Морфология поверхности полимерной плёнки исследовалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) при комнатной температуре в полуконтактном резонансном режиме на частоте 145 кГц на установке Solver P-47. Использовались кантилеверы серии NSG 01 с радиусом закругления 10 нм. Одновременно измерялась

среднеарифметическая шероховатость (R_a) поверхности.

На рис.1 приведены типичные АСМ 3D изображения поверхностей пленок ПЭТФ, имплантированных ионами инертных газов с удельной энергией 1 МэВ/нуклон. АСМ-изображения как имплантированной, так и не-

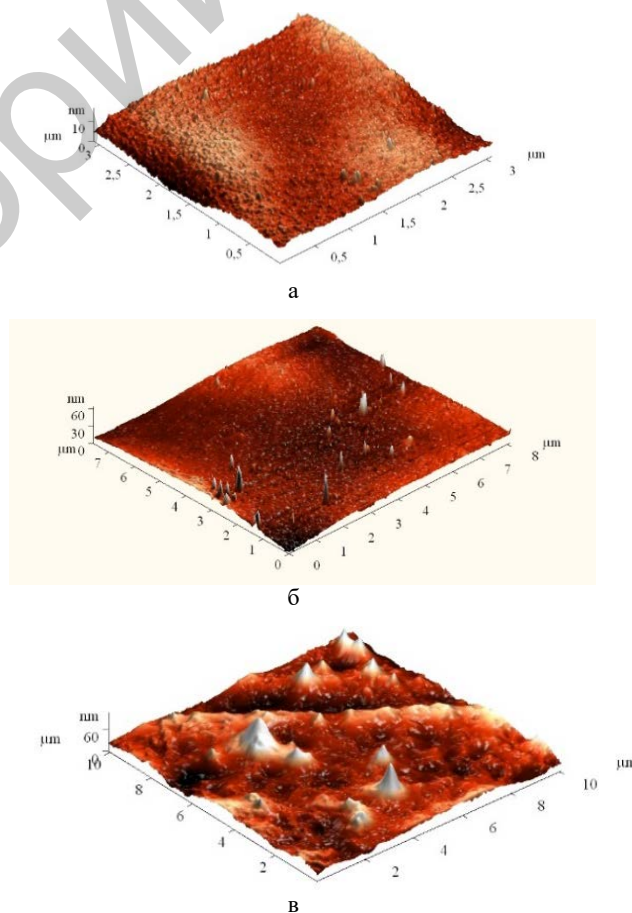


Рисунок 1 – АСМ 3D изображения поверхностей пленок ПЭТФ, имплантированных ионами Xe (а) и Ar (б, в) с удельной энергией 1 МэВ/нуклон