

300 мм, диаметр щели – 2 мм; энергетическое разрешение составляет порядка 300–500 кэВ.

Регистрация упруго рассеянных частиц осуществляется кремниевым детектором фирмы Ortec, толщиной 100 мкм. Сбор набранных спектров со спектрометрического тракта осуществляется при помощи программы Maestro-32 [8]. Обработка накопленных спектров производится с использованием, как самой программы набора спектров Maestro-32, так и специального программного обеспечения OriginPro. Необходимость такого подхода объясняется наличием в некоторых случаях сильно перекрывающихся пиков, соответствующих различным упруго рассеянным частицам. Нами получен участок обработанного спектра реакции упругого рассеяния ядер углерода с энергией 1,75 МэВ/нуклон с мишенью Al_2O_3 при угле рассеяния 28° .

Обработка экспериментальных данных была условно разделена на два этапа:

- вычисление площадей пиков с учетом фона;
- расчет дифференциальных сечений ядерных процессов и ошибок их измерений в лабораторной системе координат (л.с.к.) и перехода к системе центра масс (с.ц.м.).

Дифференциальные сечения (в л.с.к.) взаимодействия частиц с ядрами (в мбн/ср) вычисляется по формуле, выведенной нами.

В качестве примера приведем сечения упругого рассеяния ионов ^{13}C на ядрах ^{12}C при энергиях $E_{\text{lab}}(^{13}\text{C})$ 22,75 МэВ. Из полученных экспериментальных данных видно, что в угловом распределении упругого рассеяния для системы $^{12}\text{C} + ^{13}\text{C}$ наблюдается значительный подъем дифференциального сечения под большими углами (аномальное рассеяние назад).

Теоретический анализ проводится с использованием компьютерных программ, SPIGENOA, SPIVAL, DWUCK-5 и FRESCO, которые реализуются теоретические методы, такие как: феноменологический подход к оптической модели, метода искаженных волн, двойной свертки модели и метода связанных каналов.

Аномальное поведение рассеяния ионов ^{13}C на ядрах ^{12}C удается воспроизвести с учетом вклада механизма обмена нуклонами [9] между взаимодействующими ядрами вычисленного в рамках метода искаженных волн.

Из результатов анализа экспериментальных данных сечения упругого рассеяния ускоренных ионов ^{13}C на ядрах ^{12}C при энергии 22,75 МэВ видно, что чисто резерфордское рассеяние воспроизводит дифференциальные сечения рассеяния только для передних углов.

Заключение. Представлен экспериментальный метод измерения сечения упругого рассеяния легких ядер на ядрах 1рболочка при энергиях вблизи кулоновского барьера, который успешно реализован на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60. С использованием данного метода измерения можно выявить вклад механизма об-

мена кластерами или нуклонами между взаимодействующими ядрами.

Благодарности. Данная работа выполнена в рамках проекта «Исследование выходов процессов упругого рассеяния ионов ^{13}C на легких ядрах при энергиях вблизи кулоновского барьера» по программе «Грантовое финансирование научных исследований на 2015–2017 годы» финансируемого Министерством образования и науки Республики Казахстан.

Список литературы

1. Burtebaev N. et al., Detailed study for ^{16}O elastically scattered from ^{16}O at energies 20, 24 and 28 MeV, International Journal of Modern Physics E22 (8), 1350058.
2. Гикал Б.Н. Канал для прикладных исследований на пучках ионов низких энергий циклотрона ДЦ-60 // Дубна, 2006. – 12 с. – Препринт ОИЯИ P9-2006-38.
3. Brandan M.E., Satchler G.R. The interaction between light heavy ions and what it tell us // Phys. Rep. – 1997. – Vol. 285. – P. 143.
4. Ходгсон П.Е., Оптическая модель упругого рассеяния. – М.: Атомиздат. – С. 1966.–232.
5. Фаулер У.А., Экспериментальная и теоретическая ядерная астрофизика, поиски происхождения элементов // УФН. – 1985. – Т. 5. – Вып. 3. – С. 441–488.
6. B. Gikal et al., DC60 heavy ion cyclotron complex: First beams and project parameters // Physical of particles and nuclei letters. – Vol. 5(7). – P. 642–644.
7. Arzumanov A.A. The electrostatic tandem accelerator UKP-2-1 at the institute of nuclear physics // Proceedings of 13th particle accelerator conference. – Dubna, 1992. – Vol. 1. – P. 118–131.
8. <http://web.mit.edu/8.13/8.13d/manuals/Ortec-MAESTRO-software-manual.pdf>.
9. A. Barbadoro et al. // Il Nuovo Cimento. – 1986. – Vol. 95 A, № 3. – P. 197–210.

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Бурмасов П.И.

Пермский институт железнодорожного транспорта – филиал Уральского государственного университета путей сообщения, Пермь,
e-mail: PIBurmasov@pizht.ru

В настоящее время, когда создана сложнейшая инфраструктура транспорта, повышена его скорость и грузоподъемность при высокой плотности движения, остро стала проблема контроля технического состояния движущихся объектов.

Применяемые в настоящем времени методы контроля технического состояния связаны с большими временными и материальными затратами, а диагностирование в реальном масштабе времени практически невозможно [1]. Необходимо разрабатывать принципиально новые методы и средства диагностики, позволяющие осуществлять контроль истинного технического состояния подвижных объектов в реальном масштабе времени

Разработку таких методов, как показывает проведенный анализ [1], можно осуществить на основе нелинейных преобразований диагностической информации, матричных испытаний,

позволяющих наиболее точно моделировать различные состояния объекта контроля и теории распознавания образов [2], предусматривающей определение принадлежности объекта к одному из классов технических состояний практически за время однократного контроля.

В этом случае задачу повышения эффективности контроля можно сформулировать в следующем виде.

Пусть в момент t_0 или в ограниченный начальный период времени получены значения параметров с объекта контроля $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_s, \dots, \zeta_k$, характеризующих функцию $\tilde{\zeta}$. Необходимо преобразовать функцию таким образом, чтобы принять решение о принадлежности объекта контроля к тому или иному классу

$$R_{T_k} = 1, 2, \dots, m,$$

где R_{T_k} – временные классы или классы технических состояний.

Исходное множество объекта контроля классифицируются по классам, характеризующимися идентичностью технического состояния. Такая постановка задачи основывается на том предположении, что технические изделия, имеющие равную долговечность, степень работоспособности и другие показатели качества, будут иметь идентичную совокупность параметров. Классы – это своего рода эталоны, которые представляют в виде образов. Образы создаются на основе образцовых изделий или в результате моделирования по значениям информативных параметров, которые преобразуются в признаки классификации. Ими являются: информативный уровень диагностического сигнала, весовые коэффициенты $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ и порог классификации ξ_0 дискриминантной функции [2].

Разделение объекта контроля по классам может осуществляться с помощью дискриминантной функции

$$d(\tilde{\zeta}) = \omega_1 \zeta_1 + \omega_2 \zeta_2 + \dots + \omega_m \zeta_m + \xi_0. \quad (1)$$

Весовые коэффициенты $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$ и порог классификации дискриминантной функции ξ_0 выбираются на стадии обучения таким образом, чтобы достоверность классификации P была не ниже требуемой $P_{\text{тр}}$ при минимальных временных T и материальных C затратах.

$$P \geq P_{\text{тр}}; T \geq T_{\text{мин}}; C \geq C_{\text{мин}}.$$

Стадии обучения приведены в [3].

При этом пространство выходных параметров объекта контроля $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_s, \dots, \zeta_k$ преобразует в пространство признаков классификации $\zeta_1^*, \zeta_2^*, \dots, \zeta_s^*, \dots, \zeta_k^*$ таким образом, чтобы в новом пространстве достигалась минимальная пересеченность классов, а значит и минимальная ошибка в классификации

Следует отметить, что переход от прогнозирующих параметров к признакам классификации является нелинейным преобразованием сигнала, так как преобразуется его частотный и фазовый спектры. Подробное описание нелинейных преобразований дано в [4]. Осуществление такого преобразования повышает разделимость временных классов, что ведет к уменьшению ошибки классификации, но при этом используется простейшая линейная дискриминантная функция.

Ошибка классификации (распознавания) $P(e)$ представляет собой вероятность неправильной классификации:

$$P(e) = \sum P(A_k) \cdot P[d(\tilde{\zeta}) \neq A_k / \tilde{\zeta} \in A_k], \quad (2)$$

где $P[d(\tilde{\zeta}) \neq A_k / \tilde{\zeta} \in A_k]$ – вероятность того, что при измерении вектора $(\tilde{\zeta})$ и вычислении дискриминантной функции $d(\tilde{\zeta})$ будет принято решение об отнесении контролируемого объекта к другому классу, хотя в действительности он принадлежит классу A_k .

Из всех возможных вариантов дискриминантной функции необходимо выбрать такой вариант $d_p(\tilde{\zeta})$, $p = \overline{1, S}$, которой бы обеспечил минимум ошибки $P(e)$, т.е.

$$\min P(e) = \min \sum_{k=1}^S P(A_k) P[d_p(\tilde{\zeta}) \neq A_k / \tilde{\zeta} \in A_k]. \quad (3)$$

Критерием классификации в данном случае является вероятность правильного распознавания $P_{\text{пр}} = 1 - P(e)$.

Таким образом, подвергая специальным преобразованиям диагностические сигналы, классифицируя их в соответствии с признаками классификации можно отнести их к тому или иному временному классу с минимальной ошибкой классификации, а значит и объект контроля к определенному классу технического состояния.

Это означает возможность определения истинного технического состояния исследуемого объекта, а также различных скрытых дефектов, при их наличии, в реальном масштабе времени.

Список литературы

1. Крючков Ю.А. Использование методов распознавания образов для оценки качества продукции // Надежность и контроль качества. – 1998. – № 6. – С. 28–37.
2. Беляев Ю.К. и др. Контроль надежности с использованием индивидуального прогнозирования надежности изделий // Электронная техника. – 1997. – № 4. – С. 46–54.
3. Бурмасов П.И., Тюрин С.Ф. Диагностика РЭА на основе распознавания образов. Сборник научных трудов. Международная академия информации. – М.: Мир, 2006. – С. 46–51.
4. Бурмасов П.И. Описание и принцип действия нелинейного функционального преобразователя. – М.: Мир, 2007. – 96 с.