

метод « $k-p$ -возмущения» с учетом даже такого тонкого эффекта, как спин-орбитальное расщепление Δ валентной зоны, оказался вполне адекватным рассматриваемой задаче, так как формула, показывающая симбатность m_c^* и ΔE_g^0 для сплавов, имеет вид

$$\frac{m}{m_c^*} = 1 + \frac{P^2}{3} \left(\frac{2}{\Delta E_g^0} + \frac{1}{\Delta E_g^0 + \Delta} \right). \quad (5)$$

Здесь $P^2 \approx 19,6$ эВ. Качественное соответствие (5) с рис. 2 вполне очевидно.

Таким образом, обсуждаемая зависимость $m^*(R)$, несомненно, должна учитываться как в эксперименте (например, в явлениях наномagnetизма [1,9]), так и в теоретическом анализе различных эффектов (например, как это сделано в теории множественной генерации экситонов в квантовой точке, но на эвристической основе ([10, 11])).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суздалев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
2. Rodriguez-Lopez J.L. et al. // Phys. Rev. – 2003. – V. B67. – P. 174413.
3. Khakimov Z., Tereshchuk P., Sulaymanov N., et al. // Phys. Rev. B. – 2005. – V. 72. – P. 115335.
4. Califano M., Zunger A., and Franceschetti A. // Appl. Phys. Lett. – 2004. – V. 84. – P. 2409.
5. Эфрос Ал., Эфрос А. Л. // ФТП. – 1982. – Т. 16. – Вып. 7. – P. 1209.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1963.
7. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. – М.: Мир, 1986. – 304 с.
8. Fetterman H., Waldman I., and Wolfe C. // Solid State Commun. – 1972. – V. 11. – P. 375.
9. Nikiforov N.N. and Filinova E.Yu. Biomedical application of magnetic nanoparticles. – Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009. – P. 393.
10. Turaeva N.N., Oksengendler B.L., and Uralov I. // Appl. Phys. Lett. – 2011. – V. 98. – P. 243103.
11. Oksengendler B.L., Turaeva N.N., and Rashidova S.S. // Appl. Sol. Energy. – 2009. – V. 3. – P. 36.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Поступило в редакцию 18.06.12.

**Институт химии и физики полимеров АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан

E-mail: nvn@lt.phys.msu.ru

Wiley-VCH Verlag GmbH

Никифоров Владимир Николаевич, к.ф.-м.н., доцент, ст. науч. сотр.;

Оксенгендлер Борис Леонидович, д.ф.-м.н., профессор, ведущ. науч. сотр.;

Тураева Нигора Назаровна, д.ф.-м.н., зав. лабораторией;

Марасулов Мурад Бабинович, стажер-исследователь.

УДК 519.7

Н.В. ЕВТУШЕНКО, Н.Г. КУШИК

К УСТАНОВКЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В ИЗВЕСТНОЕ СОСТОЯНИЕ¹

Ключевые слова: недетерминированное поведение, установочные эксперименты.

В настоящее время поведение сложных технических систем все чаще описывается моделями с недетерминированным поведением. Недетерминизм возникает по различным причинам, связанным с физическими свойствами системы, уровнем абстракции при построении модели, низкой управляемостью и/или наблюдаемостью при анализе системы и др. [1]. Если поведение изучаемой системы на некотором уровне абстракции можно описать в виде конечного множества состояний и переходов между ними с неизвестным начальным состоянием, то для установки системы в известное состояние можно воспользоваться так называемым установочным экспериментом с исследуемой системой, который строится по модели соответствующего недетерминированного автомата [2]. Для технических систем, поведение которых описано детерминированными автоматами, такие эксперименты хорошо изучены. В частности, показано, что любой детерминированный автомат, не имеющий эквивалентных состояний, обладает установочной последовательностью, длина которой не превышает величины $n(n-1)/2$, где n – число состояний автомата, предъявленного к эксперименту. Более того, показано, что длина входной последовательности не уменьшается и в том случае, если следующий входной символ зависит от выходных символов на ранее поданные входные симво-

¹ Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках соглашения № 14.B37.21.0622 от 16.08.2012 г.

лы, т.е. в переход к условному (адаптивному) эксперименту не понижает сложность эксперимента по установке системы в начальное состояние. Для систем с недетерминированным поведением исследования по установке системы в известное начальное состояние (установочные эксперименты) только начинают развиваться [3–5]. В данной работе кратко представлены полученные авторами результаты. При этом полагается, что поведение системы описано полностью определенным наблюдаемым недетерминированным автоматом. Иными словами, поведение исследуемой системы определено на любой последовательности входных воздействий, однако в некоторых состояниях допустимо несколько различных выходных реакций на одну и ту же входную последовательность. Наблюдаемость означает, что в каждом состоянии системы пара «последовательность входных воздействий – последовательность выходных реакций» позволяет однозначно определить следующее состояние системы.

Автоматом называется пятерка $S = (S, I, O, h_S, S')$, где S – конечное непустое множество состояний с непустым подмножеством S' начальных состояний; I и O – конечные входной и выходной алфавиты, т.е. конечные множества входных воздействий и возможных выходных реакций системы. *Отношение переходов* $h_S \subseteq S \times I \times O \times S$ определяет динамическое поведение системы, которая под действием входных воздействий из множества I переходит из состояния в состояние и выдает при этом выходные сигналы из множества O . Использование конечных автоматов предоставляет возможность описать конечным способом поведение технической системы на бесконечном множестве последовательностей входных воздействий. Последовательность $\alpha \in I^*$ входных воздействий называется *установочной* последовательностью для системы, поведение которой описано автоматом S , если в состояниях $s_1, s_2 \in S'$, в которых система может отреагировать на α выходной последовательностью β , следующие состояния системы после вход/выходной пары α/β совпадают, т.е. последовательность выходных реакций системы при подаче на систему последовательности α входных воздействий дает возможность однозначно определить состояние системы после завершения эксперимента. В отличие от систем с детерминированным поведением не всякую систему с недетерминированным поведением можно установить в известное начальное состояние [3], даже если соответствующее автоматное описание не имеет эквивалентных состояний. Кроме того, в работе [4] показывается, что в отличие от детерминированного случая длина установочной последовательности (если такая последовательность существует) может экспоненциально зависеть от размеров автоматного описания поведения системы, т.е. от числа состояний, входных и выходных символов.

Поскольку для недетерминированных автоматов возможны различные выходные реакции на одну и ту же последовательность входных воздействий в одном и том же состоянии, то для систем с недетерминированным поведением можно использовать адаптивный установочный эксперимент, который в ряде случаев приводит к более короткой последовательности входных воздействий, устанавливающей систему в известное начальное состояние. При проведении адаптивного установочного эксперимента с исследуемой системой предполагается, что следующий входной символ, подаваемый на систему, определяется выходными реакциями на предыдущие входные воздействия. Для определения адаптивного установочного эксперимента введем понятие *тестового примера* для системы с заданными входным и выходным алфавитами I и O . Тестовый пример есть связный наблюдаемый инициальный автомат P , граф переходов которого ациклический, и в каждом нетупиковом состоянии определены переходы только по одному входному воздействию из множества I со всеми возможными выходными реакциями из множества O . Тестовый пример P называется *установочным* для автомата S , если каждое тупиковое состояние (b, c) пересечения $P \cap S$ состоит из одноэлементных подмножеств b и c . Можно показать, что систему, поведение которой описано автоматом S , можно адаптивно установить в известное начальное состояние, если и только если для автомата S существует установочный тестовый пример.

Аналогично построению различающего тестового примера [6] на основе разделимого множества состояний мы вводим понятие установочного множества состояний для автомата, предъявленного к эксперименту. По определению, все одноэлементные подмножества состояний автомата S являются *1-адаптивно-установочными* множествами. Пусть определены все $(k-1)$ -адаптивно-установочные подмножества, $k \geq 1$. Будем говорить, что подмножество t есть *k-адаптивно-установочное* множество состояний, $k > 0$, если t есть $(k-1)$ -адаптивно-установочное множество или существует входной символ $i \in I$, такой, что для любой выходной реакции $o \in O$ множество i/o -преемников состояний из t пусто или является $(k-1)$ -адаптивно-установочным множеством. Множество t называется *адаптивно-установочным*, если t есть k -адаптивно-установочное множество для некоторого k . Соответственно систему с недетерминированным поведением можно адаптивно установить в известное начальное состояние, если и только если множество начальных состояний системы является адаптивно-установочным множеством. Тогда для построения соответствующего тестового примера можно использовать алгоритм из [6], заменяя слова «условно-различающее множество» на «адаптивно-установочное множество». Заметим, что несмотря на то, что в общем случае сложность адаптивного установочного эксперимента также экспоненциально зависит от числа состояний автоматного описания поведения системы, во многих практических случаях длина последовательности входных воздействий для адаптивной установки системы в известное начальное состояние может оказаться значительно короче.

Таким образом, в настоящем сообщении кратко описаны возможности безусловной и адаптивной установки системы, поведение которой описано недетерминированным автоматом, в известное начальное состояние. Полученные результаты могут быть использованы при синтезе и анализе технических систем с недетерминированным поведением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Milner. R. Communication and Concurrency. – Prentice-Hall, 1989.
2. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
3. Kushik N., El-Fakih K., and Yevtushenko N. // Proc. of the CIAA'2011, LNCS 6807. – 2011. – P. 215–224.
4. Kushik N. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 8/3. – С. 242–243.
5. Кушик Н.Г., Евтушенко Н.В. // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55. – № 9/2. – С. 329–330.
6. Громов М.Л., Кушик Н.Г., Евтушенко Н.В. // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 4(17). – С. 93–101.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: ninayevtushenko@yahoo.com

Поступило в редакцию 20.10.12.