Автоматизация. Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Том 71
10
2017

Главный редактор
Микрин Е.А. — д.т.н., проф., академик РАН, ОАО РКК «Энергия» им. С.П. Королёва

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Белоусов В.Л. — д.э.н., проф., МГУПИ
Ван Сяофэн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Ван Мэйлин — д.т.н., проф., Пекинский политехнический ун-т (КНР)
Дегтярёв Ю.И. — д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. — д.т.н., проф., Ин-т инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. — д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Криони Н.К. — д.т.н., проф., УГАТУ (г. Уфа)
Мальцева С.В. — д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Микаева С.А. — д.т.н., проф., МГУПИ
Неусыпин К.А. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Нефёдов Е.И. — д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Никифоров В.М. — д.т.н., проф., ФГУП «НПЦАП им. Н.А. Пилюгина»
Пролетарский А.В. — д.т.н., проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Путилов В.Н. — ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"» (заместитель главного редактора)
Румянцева О.Н. — генеральный директор ООО «Изд-во "Инновационное машиностроение"»
Ся Юаньцин — д.т.н., проф., Пекинский политехнический ун-т (КНР)
Фёдоров И.Б. — д.т.н., проф., академик РАН, президент МГТУ им. Н.Э. Баумана
Хэ Юн — д.т.н., проф., Нанкинский ун-т науки и технологии (КНР)
Шахнов В.А. — д.т.н., проф., член-кор. РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана
Шибанов Г.П. — д.т.н., проф., Гос. лётно-испытат. центр им. В.П. Чкалова
Янович Е.А. — д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

Редактор — **Мымрина И.Н.**
Редактор — **Селихова Е.А.**
Компьютерная вёрстка — **Конова Е.В.**

УЧРЕДИТЕЛИ:
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО "ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"»

Журнал зарегистрирован 29 мая 2014 г.
ПИ № ФС77-58102 в Роскомнадзоре

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК при Минобрнауки России изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней, а также в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

ООО «Издательство "Инновационное машиностроение"»

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.
Тел.: (499) 268-41-77.
E-mail: ast@mashin.ru; astmashin@yandex.ru;
http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва, Колодезный пер., д. 2А, стр. 2.
Тел.: (495) 661-03-36

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Кувайскова Ю.Е., Крашенинников В.Р. Обновление структуры моделей системы временных рядов 435

Доманов В.И., Доманов А.В., Мишин А.В. Анализ энергоэффективности ручной электродуговой сварки с различными источниками тока 438

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Кай Шэнь, Неусыпин К.А., Пролетарский А.В. Разработка критерия степени идентифицируемости параметров модели динамических нестационарных систем 442

Байнев В.В. Применение триангуляционной сетки для моделирования светодиодных оптических систем 447

Бржозовский Б.М., Зинина Е.П., Мартынов В.В., Юнин С.А. Автоматизированная стабилизация процесса воздействия низкотемпературной плазмы при упрочнении поверхностного слоя металлических изделий 452

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Иванов Д.Е., Громова Т.В., Швецова-Шиловская Т.Н., Полехина О.В. Разработка технологии сопряжения информационно-аналитической системы оценки показателей надёжности оборудования опасных производственных объектов с зарубежными и отечественными программными продуктами 456

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Цибизова Т.Ю., Зимин В.Н. Разработка способа реализации функции абилитации студентов и выпускников образовательных организаций в современных условиях 465

Чернега Е.В., Августан О.М., Марданов С.А., Сергеев Д.А. Методическое обеспечение организации образовательных программ опережающего инженерного образования на базе научно-образовательного центра «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана 469

Чернега Е.В., Августан О.М., Марданов С.А., Сергеев Д.А., Марданова К.В. Дуальное обучение в работе учебно-методического комплекса научно-образовательного центра «Технопарк информационных технологий» МГТУ им. Н.Э. Баумана 473

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю., Логойда В.С. Выбор критерия принятия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта . . 476

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 479

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION PROCESSES

Kuvayskova Yu.E., Krasheninnikov V.R. Renovation the models structure of the time series system 435

Domanov V.I., Domanov A.V., Mishin A.V. Energy efficiency analysis of hand electric arc welding with various current sources 438

MODERN TECHNOLOGY

Kay Shen, Neusypin K.A., Proletarskiy A.V. Development of the recognizability degree criterion for the parameters of the dynamic non-stationary systems model 442

Baynev V.V. Application of a triangulation grid for modeling of LED optical systems 447

Brzhozovskiy B.M., Zinina E.P., Martynov V.V., Yunin S.A. Automatic stabilization of the low-temperature plasma action process at hardening of the metal products surface layer 452

INFORMATION TECHNOLOGY

Ivanov D.E., Gromova T.V., Shvetsova-Shilovskaya T.N., Polekhina O.V. Conjugation technology development of the information-analytical system for reliability indicators valuation of equipment at hazardous production facilities with foreign and domestic software products 456

EDUCATIONAL TECHNOLOGY

Tsybisova T.Yu., Zimin V.N. Development of the habilitation function realization method of students and graduates of educational organizations in modern conditions 465

Chernega E.V., Avgustan O.M., Mardanov C.A., Sergeev D.A. Methodical support of the of educational programs organization for advanced engineering education on the basis of the scientific and educational center «Technopark of Information Technologies» MSTU by name N.E. Bauman 469

Chernega E.V., Avgustan O.M., Mardanov S.A., Sergeev D.A., Mardanova K.V. Dual training in the work of the educational and methodological complex of the scientific and educational center «Technopark of Information Technologies» MSTU by name N.E. Bauman 473

ECONOMY AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC ACTIVITIES

Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu., Logoyda V.S. The choice of the decision criterion in the information support management of motor transport 476

SURVEY OF PERIODICALS

On the journal pages 479

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Пресса России» — 27838) или непосредственно в издательстве по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок: (495) 785-60-69

Сдано в набор 01.08.2017.
Подписано в печать 21.09.2017.
Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Цена свободная.

Отпечатано в ООО «Канцлер»
150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО «Адвансед солюшнз».
119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Автоматизация. Современные технологии» обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель

© Издательство «Инновационное машиностроение», «Автоматизация. Современные технологии», 2017

УДК 519.246.8

Ю.Е. Кувайскова, канд. техн. наук, доц., **В.Р. Крашенинников**, д-р техн. наук, проф.
(Ульяновский государственный технический университет)

u.kuvaiskova@mail.ru

ОБНОВЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Предложено обновление структуры моделей системы временны́х рядов на основе построения нескольких конкурирующих между собой моделей и выбора наилучшей из них. Для обновления параметров моделей предлагается использовать псевдоградиентную процедуру. Показано, что обновление структуры и параметров моделей позволит адаптировать модель к вновь поступающей информации и получить более точный прогноз.

Ключевые слова: обновление структуры моделей; система временны́х рядов; псевдоградиентный метод; прогнозирование.

Renovation the models structure of the time series system based on the construction of several competing models and the selection of the best of them is proposed. For renovation of the model parameters, it is suggested to use a pseudo-gradient procedure. It is shown that the renovation of the structure and models parameters will allow to adapt the model to newly arrived information and to obtain a more accurate prediction.

Keywords: models structure renovation; time series system; pseudo-gradient method; prediction.

Введение. Для обеспечения надёжного функционирования технического объекта необходимо прогнозировать его дальнейшее состояние [1]. Часто состояние объекта характеризуется набором показателей, представляющих собой систему временны́х рядов. Прогнозирование будущего состояния объекта осуществляется с помощью математических моделей, описывающих динамику показателей объекта. Для моделирования системы временны́х рядов можно построить различные статистические модели. Возникает вопрос о выборе наилучшей модели, описывающей состояние объекта. Из возможных моделей наилучшая модель, как правило, определяется по различным критериям качества (критерию Фишера, среднеквадратической ошибке и др.). Однако выбранная оптимальная модель для исходных данных может устаревать при непрерывном поступлении новых данных и при прогнозировании давать не вполне удовлетворительные результаты. Возникает задача обновления не только параметров модели, но и её структуры для адаптации модели к вновь поступающей информации. В работе предлагается методика обновления структуры моделей, в основе которой лежат одновременное построение нескольких конкурирующих между собой моделей, описывающих динамику исследуемого объекта, и выбор из них наилучшей структуры, а также использование псевдоградиентной процедуры [2] для обновления параметров моделей.

Математические модели системы временны́х рядов. Пусть имеется технический объект, состояние которого характеризуется набором показателей, представляющих собой систему N временны́х рядов $y^1(t)$, $y^2(t)$, ..., $y^N(t)$, где время $t = 1, 2, ..., n$; n — число наблюдений.

Одним из подходов к моделированию системы временны́х рядов является методика её структурно-параметрической идентификации [3], которая основана на совместном анализе данных.

Для каждого j-го из N временны́х рядов строится комплексная модель вида

$$y^j(t) = f^j(t) + g^j(t) + \psi^j(t) + \varepsilon^j(t), \qquad (1)$$

где $f^j(t)$ — функция тренда; $g^j(t)$ — гармоническая составляющая; $\psi^j(t)$ — векторная авторегрессия; $\varepsilon^j(t)$ — случайная составляющая.

На каждом этапе моделирования учитывается взаимосвязь временны́х рядов. Таким образом, получается описание динамики совокупности рядов в их взаимосвязи.

Функция тренда $f^j(t)$ описывается в виде парной зависимости переменной $y^j(t)$ от времени t. Параметры моделей находятся методом наименьших квадратов [4].

Далее из каждого ряда системы выделяются остатки:

$$\varepsilon_\mathrm{trend}^j(t) = y^j(t) - f^j(t).$$

Затем методом пошаговой регрессии для каждого ряда системы находятся значимые гармоники [4] и строится совместная гармоническая модель

$$g^j(t) = \sum_{k=1}^{m^j} A_{\text{общ}\,k} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_k} + \varphi^j_{\text{общ}\,k}\right), \qquad (2)$$

где m^j — число значимых гармоник j-го временно́го ряда; T_k — период гармоники; $A_{\text{общ}\,k} = \frac{\sum_{l=1}^{N} A_k^l}{p_k}$ — совместная амплитуда, A_k^l — амплитуда l-го ряда на периоде T_k, p_k — число повторений периода T_k для N временны́х рядов; $\varphi^j_{\text{общ}\,k} = \sum_{\substack{l=1\\ l\neq j}}^{N} \varphi_k^l - \varphi_k^j$ — совместная фаза j-го временно́го ряда, φ_k^l — амплитуда l-го ряда на периоде T_k.

Далее находятся остатки для каждого ряда:

$$\varepsilon_g^j(t) = \varepsilon_\mathrm{trend}^j(t) - g^j(t).$$

Эти остатки сглаживаются моделью векторной авторегрессии p-го порядка:

$$\psi^j(t) = a_0^j + \sum_{l=1}^{N} a_{1l}^j \varepsilon_g^l(t-1) + \\ + \sum_{l=1}^{N} a_{2l}^j \varepsilon_g^l(t-2) + \ldots + \\ + \sum_{l=1}^{N} a_{pl}^j \varepsilon_g^l(t-p) + \varepsilon^j(t). \qquad (3)$$

Если остатки после выделения тренда представляют собой нестационарный ряд, то периодическая составляющая $g^j(t)$ моделируется на основе авторегрессионных моделей на цилиндре, позволяющих описывать квазипериодические процессы. Авторегрессионная модель изображения на цилиндре [5, 6] имеет вид

$$g^j(t) = \rho^j g^j(t-1) + r^j g^j(t - T^j) - \\ - \rho^j r^j g^j(t - T^j - 1), \qquad (4)$$

где T^j — период j-го временно́го ряда.

Параметры модели ρ^j и r^j подбираются методом наименьших квадратов.

Если периодическая компонента отсутствует, то модель ряда представляет собой сумму тренда и векторной авторегрессии.

Оценка точности прогнозирования моделей. Для оценки качества прогнозов исходная выборка данных разделяется на две части — обучающую и контрольную. По обучающей выборке строится модель, а по контрольной — критерий точности прогноза. Одним из таких критериев является среднее квадратичное отклонение на контрольной выборке [4]

$$\sigma^j = \sqrt{\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left(y^j(t_i) - \hat{y}^j(t_i)\right)^2}, \qquad (5)$$

где k — число элементов контрольной выборки; $y^j(t_i)$ — наблюдаемые значения j-го временно́го ряда на контрольном интервале; $\hat{y}^j(t_i)$ — их прогнозы, вычисляемые по модели.

Обновление параметров моделей. Построенные модели могут быть использованы лишь для краткосрочного прогнозирования состояния объекта, пока внешние условия стабильны. Если же эти условия изменяются со временем, то для получения достаточно точного прогноза может потребоваться корректировка модели. При относительно небольших изменениях внешней ситуации достаточно скорректировать только значения параметров модели, что предлагается осуществлять непрерывным применением следующей псевдоградиентной процедуры.

Оптимизация модели заключается в минимизации математических ожиданий квадратов ошибок, т. е. функции

$$J(\bar{\alpha}) = M[\Im(\bar{\alpha})] = M[(F^j(t,\bar{\alpha}) - y^j(t))^2], \qquad (6)$$

где $y^j(t)$ — наблюдаемые значения j-го временно́го ряда; $\bar{\alpha}$ — вектор параметров функции $F^j(t,\bar{\alpha})$; $F^j(t,\bar{\alpha}) = \hat{y}^j(t)$ — оценки $y^j(t)$, вычисляемые по модели при параметрах $\bar{\alpha}$.

В качестве функции $F^j(t,\bar{\alpha})$ выступают функции $f^j(t)$, $g^j(t)$ и $\psi^j(t)$ модели (1).

Эту минимизацию можно провести, например, с помощью градиентной процедуры, но это трудновыполнимо. Более простой, но достаточно эффективной является псевдоградиентная процедура, суть которой заключается в том, что вместо градиента функции (6) берётся градиент реализаций $\Im(\bar{\alpha}) = \left(F^j(t,\bar{\alpha}) - y^j(t)\right)^2$

$$\nabla\Im(\bar{\alpha}) = 2\left(F^j(t,\bar{\alpha}) - y^j(t)\right)\frac{\partial F^j(t,\bar{\alpha})}{\partial\bar{\alpha}}, \qquad (7)$$

который является псевдоградиентом функции $J(\bar{\alpha})$, т. е. вектором, в среднем составляющим острый угол с точным градиентом минимизируемой функции $J(\bar{\alpha})$.

Параметры модели корректируются по формуле

$$\bar{\alpha}_{k+1} = \bar{\alpha}_k - \lambda_k \nabla \Im(\bar{\alpha}_k), \qquad (8)$$

где k — номер итерации; $\bar{\alpha}_{k+1}$ — следующее за $\bar{\alpha}_k$ приближение вектора параметров модели; λ_k — положительное число (шаг).

Каждый шаг в (8) делается в направлении скорейшего убывания текущего значения $\nabla \Im(\bar{\alpha}_k)$ на очередном шаге процедуры. Хотя некоторые шаги могут быть сделаны и в «неправильную» сторону, но в целом процедура (8) улучшает параметры $\bar{\alpha}_k$. Существенно, что эта процедура способна отслеживать изменяющуюся ситуацию, так как текущий вектор $\bar{\alpha}_k$ постоянно на неё реагирует.

Обновление структуры модели системы временны́х рядов. Внешние условия, в которых функционирует объект, и его собственные свойства могут измениться до такой степени, что используемая модель окажется неудовлетворительной при любых значениях своих параметров. В этом случае необходимо изменить структуру модели. Для этого предлагается методика, которую представим на примере обновления структуры модели вибраций гидроагрегата [7].

Исходными данными в этом примере являются показания датчиков вибрации гидроагрегата в режиме активной работы, полученные по восьми каналам, которые составляют систему восьми временны́х рядов, по 120 наблюдений в каждом.

Сначала в качестве обучающей выборки будем использовать первые 100 наблюдений, а в качестве контрольной выборки — последующие 10 наблюдений. Построим для каждого ряда системы рядов по обучающей выборке три конкурирующие модели:

модель, представляющую собой сумму тренда, совместной гармонической составляющей и модели векторной авторегрессии (модель 1);

модель в виде суммы тренда и циклической авторегрессии (модель 2);

модель, представляющую собой сумму тренда и векторной авторегрессии (модель 3).

Для каждой построенной модели оценим качество прогноза на основе среднего квадратичного отклонения (5) по контрольной выборке.

Затем добавим в обучающую выборку 10 наблюдений, которые в предыдущем эксперименте использовались в качестве контрольных. Получим систему восьми временны́х рядов, содержащих по 110 наблюдений. А в качестве контрольной выборки будем использовать оставшиеся 10 наблюдений. С учётом новых данных обновим параметры моделей, используя псевдоградиентную процедуру. Рассчитаем для каждой модели среднее квадратичное отклонение (5) по новой контрольной выборке. Сведём все полученные расчёты в таблицу. Жирным шрифтом в таблице выделены средние квадратичные отклонения с наименьшим значением для j-го ряда.

Средние квадратичные отклонения моделей на контрольной выборке

Обучающая выборка	100 наблюдений			110 наблюдений		
Модель / Ряд	1	2	3	1	2	3
$y^1(t)$	**2,97**	4,31	4,21	**2,18**	4,20	3,32
$y^2(t)$	5,11	7,29	**3,87**	**2,81**	4,19	4,43
$y^3(t)$	**2,45**	3,32	3,21	2,51	**2,28**	2,81
$y^4(t)$	20,59	16,27	**14,82**	20,28	14,39	**12,61**
$y^5(t)$	7,45	6,15	**4,19**	7,79	**4,04**	4,24
$y^6(t)$	**294,72**	339,41	345,95	**282,38**	308,34	328,88
$y^7(t)$	**3,26**	5,11	4,41	**3,24**	5,91	4,63
$y^8(t)$	5,57	**4,61**	4,79	5,86	5,34	**4,22**

Результаты расчётов по 100 наблюдениям показывают, что для временны́х рядов $y^1(t)$, $y^3(t)$, $y^6(t)$ и $y^7(t)$ оптимальной моделью является модель 1, для ряда $y^8(t)$ — модель 2, а для рядов $y^2(t)$, $y^4(t)$ и $y^5(t)$ — модель 3. После поступления новых данных и обновления параметров моделей для рядов $y^2(t)$, $y^3(t)$, $y^5(t)$ и $y^8(t)$ изменилась структура оптимальной модели. Кроме того, точность прогнозирования моделей повысилась до 1,5 раз по сравнению с необновлёнными моделями.

Таким образом, при поступлении новых данных целесообразно обновлять не только параметры моделей, но и их структуру, что позволяет повысить точность прогнозирования состояния объекта.

Выводы. При прогнозировании состояния объектов целесообразно обновление структуры моделей при поступлении новых данных. Для обновления структуры моделей пред-

ложены построение нескольких конкурирующих между собой моделей и выбор из них наилучшей. На примере показано, что обновление параметров и структуры моделей позволит повысить точность прогнозирования моделей до 1,5 раз по сравнению с необновлённым вариантом моделей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00211 мол_а.

Библиографические ссылки

1. **Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Бубырь Д.С.** Прогнозирование состояния объекта с использованием систем временных рядов // Радиотехника. 2015. № 6. С. 45—47.

2. **Крашенинников В.Р., Клячкин В.Н., Шунина Ю.С.** Обновление агрегированных классификаторов на основе псевдоградиентной процедуры // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 10 (148). С. 36—40.

3. **Кувайскова Ю.Е.** Методика структурно-параметрической идентификации системы временных рядов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 4-4. С. 914—918.

4. **Валеев С.Г.** Регрессионное моделирование при обработке данных. Казань, ФЭН, 2001. 296 с.

5. **Krasheninnikov V.R., Kalinov D.V., Pankratov Yu.G.** Spiral Autoregressive Model of a Quasiperiodic Signal // Pattern Recognition and Image Analysis. Vol. 11. No. 1. 2001. P. 211—213.

6. **Крашенинников В.Р., Кувайскова Ю.Е.** Прогнозирование динамики объекта с использованием авторегрессионных моделей на цилиндре // Радиотехника. 2016. № 9. С. 36—39.

7. **Клячкин В.Н., Кувайскова Ю.Е., Алёшина А.А.** Моделирование вибраций гидроагрегата на основе адаптивных динамических регрессий // Автоматизация. Современные технологии. 2014. № 1. С. 30—34.

УДК 621.791.75

В.И. Доманов, канд. техн. наук, доц., **А.В. Доманов,** канд. техн. наук, доц.
(Ульяновский государственный университет),
А.В. Мишин, канд. техн. наук
(Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский научно-исследовательский центр экспериментальной физики, г. Саров)
andrew.domanov@gmail.com

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ С РАЗЛИЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ТОКА

Рассмотрены системы управления ручной электродуговой сваркой. Проведён синтез модели электрической дуги. Рассмотрены структуры систем сварки с неуправляемым и регулируемым источником сварочного тока, приведены их передаточные функции. Выполнены моделирование структур систем сварки и их анализ при действии случайных сигналов. Для оптимизации предложено использовать перестраиваемый (адаптивный) регулятор. Проанализирована экстремальная система регулирования, настроенная на поиск минимума дисперсии тока. Проведена оценка энергоэффективности различных систем управления сварочным процессом.

Ключевые слова: дуга; нелинейные системы; оператор; случайный сигнал; экстремальная система; адаптивный регулятор; дисперсия; энергоэффективность.

Control systems for hand arc welding are considered. The synthesis of the electric arc model was carried out. The structures of welding systems with uncontrolled and controlled welding current source are considered, their transfer functions are given. The modeling of welding system structures and their analysis under the action of random signals are performed. It is proposed to use a reconfigurable (adaptive) regulator for optimization. An extremal adjustment system tuned to find the current dispersion minimum is analyzed. The energy efficiency of various welding process control systems is evaluated.

Keywords: arc; nonlinear systems; operator; random signal; extreme system; adaptive regulator; dispersion; energy efficiency.

Электродуговая сварка — энергоёмкий процесс, поэтому вопросы её энергоэффективности являются актуальными. Существуют несколько наиболее распространённых источников сварочного тока: на основе трансформатора и инверторные аппараты различных конструкций [1]. Последние имеют ряд преимуществ (высокую эффективность, ма-

лые массу и габариты, простоту регулировки и т. п.). В то же время отмечается [2, 3], что человек является звеном системы управления сварочной дугой и влияет на процесс сварки. Для стабилизации процесса сварки и, как следствие, повышения её энергоэффективности предлагается использовать адаптивный регулятор [4], настраивающий систему управления на минимум дисперсии сварочного тока. В процессе работы на систему управления воздействуют различные возмущения, имеющие случайный характер [4]. Сложность протекающих процессов и существенные нелинейности отдельных звеньев системы управления затрудняют непосредственный анализ процесса управления электрической дугой. Для сравнительного анализа были проведены эксперименты с несколькими системами управления и их моделирование при различных режимах работы.

Структурная схема системы управления током сварочной дуги. Наиболее сложным звеном системы управления сварочным процессом является электрическая дуга. Её изучению посвящено много работ [1, 3—5]. Электрическая цепь тока дуги содержит сопротивления и индуктивности [1, 3], которые позволяют представить её динамику в первом приближении апериодическим звеном. Модель дуги содержит нелинейное и апериодическое звенья. Линеаризованная структурная схема системы управления сварочной дугой, включающая человека (сварщика или оператора), неуправляемый источник и воздействие случайного сигнала Δl, приведена на рис. 1.

В цепи формирования случайного сигнала Δl установлен фильтр $W_ф$ для ослабления (подавления) высокочастотных составляющих

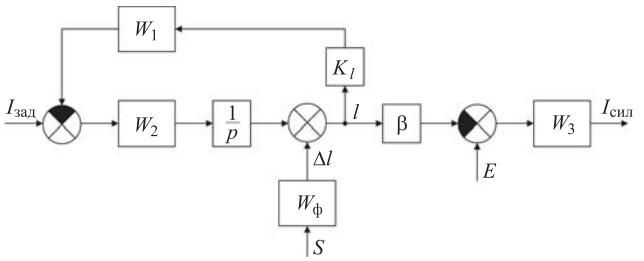

Рис. 1. Линеаризованная структурная схема системы управления сварочной дугой, включающая человека (оператора), неуправляемый источник и воздействие случайного сигнала Δl:

W_1, W_2 — передаточные функции, характеризующие оператора; K_l — коэффициент обратной связи визуального восприятия; W_3 — передаточная функция процесса электродуговой сварки; S — сигнал «белый шум»; $W_ф$ — передаточная функция фильтра; $l_{зад}$ — заданное значение длины дуги; $I_{сил}$ — ток; β — градиент потенциала столба дуги; E — эдс источника; p — оператор дифференцирования

сигнала «белого шума». В данной системе практически отсутствует возможность коррекции и все характеристики зависят от оператора. Передаточная функция $W_{\Delta l_1}(p)$ для такой системы управления по возмущающему воздействию имеет вид [4]

$$W_{\Delta l_1} = \frac{\tau p^2 + p}{\tau p^2 + p + K_l} \frac{\beta}{R\left(T_д p + 1\right)}, \qquad (1)$$

где τ — суммарная постоянная времени оператора; β — градиент потенциала столба дуги; R — сопротивление цепи дуги; $T_д$ — постоянная времени цепи дуги.

Применение управляемого инвертора в силовой цепи дает возможность корректировать рассматриваемую систему управления. Передаточная функция такой линеаризованной системы принимает вид

$$W_{\Delta l_2} = \frac{\tau p^2 + p}{\tau p^2 + p + K_l} \frac{\beta\left(T_2 p + 1\right)}{R\left(T_д p + 1\right)\left(T_1 p + 1\right)}, \qquad (2)$$

где T_1 и T_2 — постоянные времени корректирующего звена.

В выражениях (1) и (2) постоянная времени τ изменяется в зависимости от характеристик оператора (сварщика). Для оптимальной работы необходимо обеспечить экстремальную настройку системы управления при изменяющихся значениях τ и дисперсии случайного сигнала за счёт перестройки корректирующего звена. Для достижения оптимального режима работы с участием конкретного оператора и автоматического снижения чувствительности к параметрическим возмущениям и, как следствие, снижения уровня дисперсии силового тока можно применить адаптивный регулятор.

Адаптивный регулятор. Сигнал дисперсии $U_{дис}$ является управляющим для схемы адаптивного регулятора, блок-схема которого приведена на рис. 2. При отсутствии тока сварочной дуги $I_д$ сигнал $U_{дис} = 0$ и схема запуска удерживает адаптивный регулятор в состоянии $T_1 = T_{10}$, $T_2 = T_{20}$, где T_{10} и T_{20} — начальные значения постоянных времени регулятора, заданные в середине диапазона регулирования, что позволяет изменять их в сторону уменьшения или увеличения. При появлении тока $I_д$ сигнал $U_{дис} > 0$ и срабатывает схема запуска, которая включает в работу генератор тактовых импульсов (ГТИ). Звено выборки-хранения (см. рис. 2) обеспечивает временну́ю задержку сигнала, поэтому на вход компаратора поступают дисперсии текущего (*b*) и предшествующего (*a*) тактов. На выходе ком-

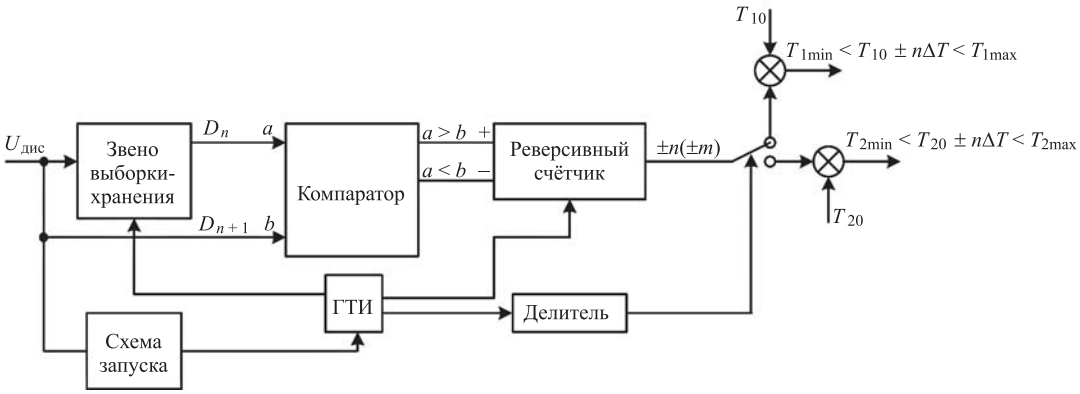

Рис. 2. Блок-схема адаптивного регулятора тока дуги

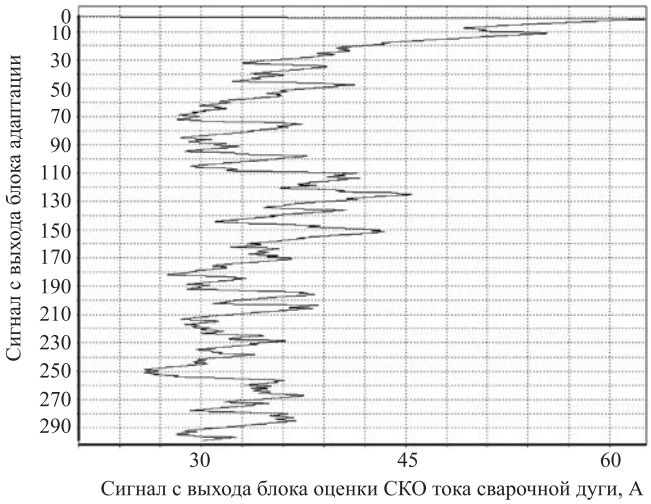

Рис. 3. Годограф, характеризующий поиск экстремума СКО тока сварочной дуги

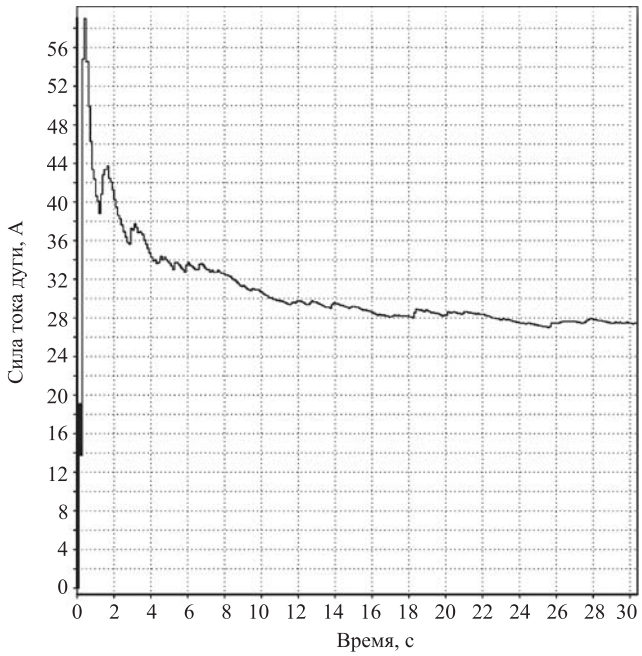

Рис. 4. Значения СКО тока дуги в процессе сварки с адаптивным регулятором

паратора формируются два сигнала: условно «+» и «−» в зависимости от соотношения дисперсий на контролируемых тактах. Это позволяет управлять реверсивным счётчиком.

Выход счётчика коммутируется сигналом делителя импульсов. Поэтому первые n тактов реверсивный счётчик управляет изменением (настройкой) постоянной времени T_1, последующие m тактов — настройкой постоянной времени T_2. Затем цикл повторяется. Это позволяет реализовать непрерывную адаптацию регулятора системы управления сваркой по текущим значениям дисперсии.

Экспериментальные исследования системы управления током сварочной дуги. Для анализа работы экстремальной системы управления ручной электродуговой сваркой была разработана её модель. В процессе исследования получены осциллограммы токов при натурных экспериментах и моделировании, которые продемонстрировали высокую согласованность. Оценка согласованности проводилась по статистическим характеристикам (дисперсиям). Был выполнен анализ работы блока адаптивного управления. На рис. 3 показан годограф поиска экстремума среднеквадратичного отклонения (СКО) тока дуги при действии случайных сигналов, а на рис. 4 — изменение (снижение) среднеквадратичного отклонения тока дуги в процессе адаптации.

Известно [6], что энергопотребление оборудования можно оценить по значению эффективного тока. По полученным осциллограммам для трех систем управления сваркой были построены гистограммы токов (рис. 5), на основании которых найдены их средние $I_{ср}$ и эффективные $I_{эф}$ значения токов, которые приведены в таблице.

Коэффициент

$$K_{эф} = \frac{I_{ср}}{I_{эф}}$$

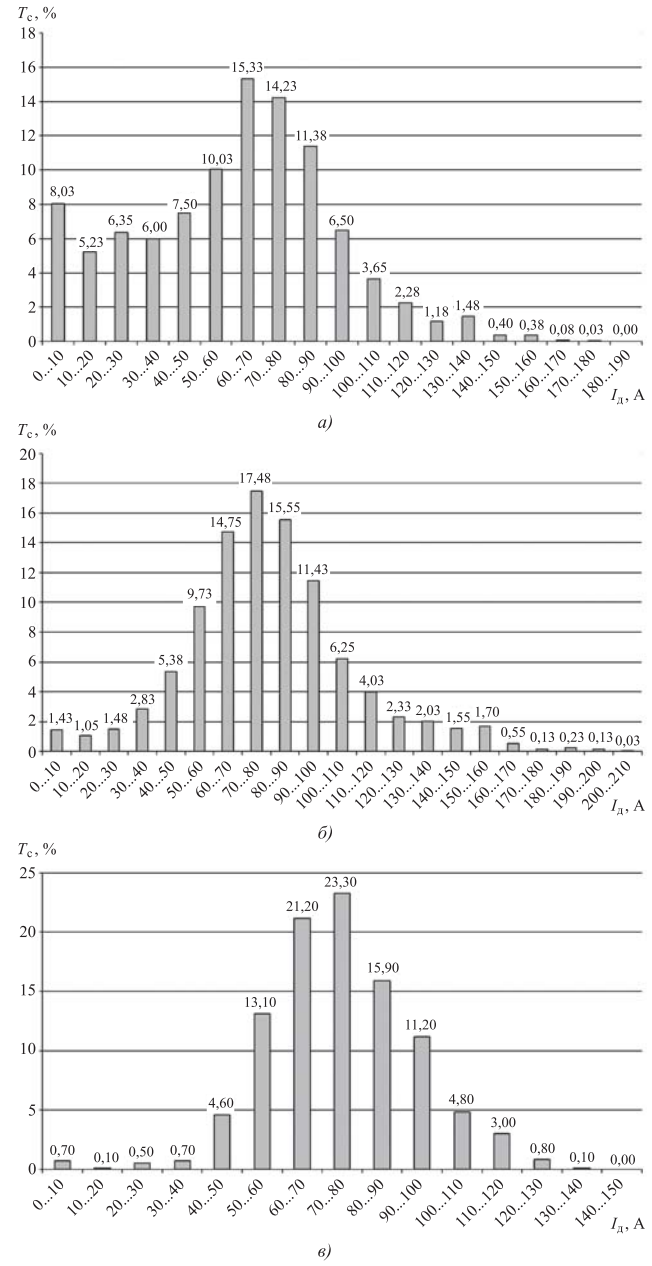

Рис. 5. Гистограммы распределения по времени токов дуги $I_д$ при трёх способах сварки:
а — с использованием трансформатора; *б* — с использованием инвертора; *в* — с использованием инвертора и адаптивного регулятора; $T_с$ — продолжительность сварки

характеризует энергоэффективность сварочного процесса. Анализ рис. 5 показывает, что применение инвертора взамен сварочного трансформатора увеличивает $K_{эф}$ приблизительно на 5 %, а использование адаптивного регулятора — еще на 4,5 %. Кроме того, необходимо учитывать улучшение качества сварки при более стабильном токе, что имеет место

Значения параметров, определяющих эффективность сварочного процесса, для различных способов сварки

Параметр	Сварка с использованием трансформатора	Сварка с использованием инвертора	Сварка с использованием инвертора и адаптивного регулятора
$I_{ср}$	88,55	85,66	74,59
$I_{эф}$	97,78	92,79	77,05
$K_{эф}$	0,875	0,923	0,968

при использовании инвертора с адаптивным регулятором.

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

человек, являющийся звеном технологического процесса ручной электродуговой сварки, оказывает влияние на его показатели качества;

случайные сигналы, возникающие в процессе реальной электродуговой сварки, ухудшают её качество и снижают энергоэффективность;

возможно адаптировать сварочный инвертор для конкретного оператора, что позволит снизить число обрывов дуги и технологических коротких замыканий;

применение предлагаемого адаптивного регулятора позволяет минимизировать дисперсию сварочного тока и тем самым повысить энергоэффективность системы управления.

Библиографические ссылки

1. **Лихачев В.Л.** Электросварка. М.: Солон-Пресс, 2004. 672 с.

2. **Цибулевский И.Е.** Человек как звено следящей системы. М.: Наука, 1981. 228 с.

3. **Доманов А.В., Доманов В.И., Мишин А.В.** Анализ и синтез системы управления сварочным инвертором // Промышленные АСУ и контроллеры. 2013. № 10. С. 3—8.

4. **Доманов В.И., Доманов А.В., Мишин А.В., Карпухин К.Е.** Разработка системы управления электросварочным оборудованием // Сварочное производство. 2015. № 4. С. 25—28.

5. **Зуев Н.Н., Зуев К.Н., Шевелев Е.М., Дзюба А.М.** Разработка контроллера для систем управления электросварочным оборудованием // Сварочное производство. 2014. № 1. С. 27—31.

6. **Москаленко В.В.** Электрический привод. М.: Изд. центр «Академия», 2007. 368 с.

УДК 681.518

Кай Шэнь, К.А. Неусыпин, д-р техн. наук, проф., **А.В. Пролетарский,** д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

shenkaichn@mail.ru

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ СТЕПЕНИ ИДЕНТИФИЦИРУЕМОСТИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ

Исследованы критерии определения степени идентифицируемости параметров линейных динамических систем. На основе скалярного подхода разработан оригинальный численный критерий степени идентифицируемости конкретных параметров матрицы модели динамических нестационарных объектов. Критерий использован в навигационном комплексе летательного аппарата для повышения точности определения навигационных параметров.

Ключевые слова: качество идентификации параметров; критерий степени идентифицируемости; нестационарная система; летательный аппарат.

The criteria for determining the recognizability parameters of linear dynamical systems are investigated. The original numerical criterion for the specific parameters recognizability degree of the dynamic non-stationary object matrix model is developed on the basis of the scalar approach. The criterion is utilized in the aircraft navigational complex for raising the accuracy of determining navigation parameters.

Keywords: parameter recognizability quality; recognizability degree criterion; non-stationary system; aircraft.

Введение. Решение задач управления различными динамическими объектами предполагает использование математической модели исследуемого процесса. Математические модели, полученные на основе физических или каких-либо других законов, в практических приложениях, как правило, не всегда точно отражают исследуемые процессы. Поэтому для уточнения структуры и параметров математической модели применяются различные алгоритмы идентификации [1, 2] и алгоритмы построения моделей [3—5]. Алгоритмы идентификации позволяют определить отдельные параметры матрицы модели, которая задана априори. С помощью алгоритмов построения моделей определяется структура модели. В качестве алгоритмов построения моделей часто используются наиболее точные алгоритмы: нейронные сети, методы самоорганизации (наиболее известный метод группового учёта аргументов) и генетические алгоритмы. Алгоритмы построения моделей позволяют построить модель исследуемого процесса с высокой точностью, но эти модели являются нефизическими [4].

Обычно для анализа и управления рядом динамических объектов необходимо использовать физические модели с априорно известной структурой. В процессе функционирования динамического объекта в меняющихся условиях некоторые параметры моделей могут существенно изменяться, поэтому их необходимо определять с помощью алгоритмов идентификации. Точность определения параметров модели зависит от свойств матрицы модели и точности алгоритма идентификации. Выбор используемого алгоритма идентификации определяется из соображений возможностей реализации в имеющемся вычислителе (спецвычислитель, БЦВМ, наземная вычислительная станция и др.), экономических возможностей и особенностей проектируемого объекта. Точностные характеристики наиболее популярных алгоритмов идентификации известны [1]. Свойства матриц моделей различных динамических объектов, влияющие на точность определения отдельных параметров, изучены в основном только для хорошо отработанных моделей, например, в инерциальной навигации и некоторых других приложениях. Исследования конкретных моделей на предмет качества идентификации параметров проводились опытным путём и, в общем случае, применение такого подхода требует проведения серии сложных экспериментов, длительного времени и существенных финансовых затрат.

Другим способом решения задачи определения качества идентификации является

аналитический подход — разработка критерия меры или степени идентифицируемости. Разработка универсального критерия степени идентифицируемости, позволяющего вычислять качество определения параметров матрицы модели различных динамических объектов, является важной задачей. Особенную актуальность эта задача приобретает при исследовании проектируемых динамических объектов и их алгоритмического обеспечения.

Критерии идентифицируемости. Пусть объект описывается уравнениями вида [2]:

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{G}\mathbf{w}(t); \quad (1)$$

$$\mathbf{z}(t) = \mathbf{H}\mathbf{x}(t) + \mathbf{v}(t), \quad (2)$$

где $\mathbf{x}$ — n-вектор состояния; $\mathbf{u}$ — l-вектор управления; $\mathbf{w}$ — r-вектор возмущения; $\mathbf{z}$ — m-вектор измерений; $\mathbf{v}$ — m-вектор измерительного шума; $\mathbf{A}$ — $(n \times n)$-матрица системы; $\mathbf{B}$ — $(n \times l)$-матрица управления; $\mathbf{G}$ — $(n \times r)$-матрица входного возмущения; $\mathbf{H}$ — $(m \times n)$-матрица измерений.

Известны различные способы определения идентифицируемости или условия определимости [6—8]. Критерий, предложенный в работе [6], позволяет определить принципиальную возможность осуществления процедуры идентификации.

Линейная система называется полностью идентифицируемой, если при заданном векторе начальных условий $\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}(t_0)$ матрица параметров $\mathbf{A}$ может быть однозначно восстановлена за конечный отрезок времени идентификации по одной временной последовательности $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$.

Иначе, пара $(\mathbf{A}, \mathbf{x}_0)$ полностью идентифицируема или идентифицируема вполне, когда множество пар $(\mathbf{A}, \mathbf{x}_0)$, объединённых общей интегральной кривой $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t)$, вырождается в точку $\mathbf{A}$. В противном случае пара неидентифицируема.

Необходимое и достаточное условие полной идентифицируемости пары $(\mathbf{A}, \mathbf{x}_0)$ имеет вид

$$rank\left[\mathbf{W}_0\right] = \\ = rank\left[\mathbf{x}_0, \mathbf{A}\mathbf{x}_0, \mathbf{A}^2\mathbf{x}_0, \ldots, \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{x}_0\right] = n, \quad (3)$$

где $\mathbf{W}_0$ — матрица идентифицируемости.

Данный критерий предполагает определение идентификации параметров динамической системы. Известен критерий, предложенный в работе [7], основанный на конкретном критерии идентифицируемости.

Анализируется линейная модель сигнала с известной и наблюдаемой дисперсией. Исследован процесс оценивания матрицы $\mathbf{B}$ по наблюдаемым последовательно данным, а не по всей выборке, при известном векторе управления $\mathbf{u}$ и предположении, что матрица $\mathbf{A}$ устойчива.

Для получения оценки безусловного максимума правдоподобия нужно использовать все имеющиеся данные, и, кроме того, дополнительная трудность состоит в необходимости оценивания начального состояния. При построении оценки, которая является последовательной (или «текущей») и не использует какую-либо оценку состояния, необходимо предположить, что выполнено «условие определимости», которое накладывает ограничение на входную последовательность, т. е. при выполнении условия определимости (и устойчивости матрицы $\mathbf{A}$) ковариационная матрица погрешности имеет вид

$$E\left[\left(\mathbf{B} - \hat{\mathbf{B}}\right)\left(\mathbf{B} - \hat{\mathbf{B}}\right)^T\right] \to 0 \text{ при } n \to \infty. \quad (4)$$

Вычисление критерия идентифицируемости по данной методике предполагает сложные математические вычисления, поэтому на практике применять его затруднительно.

Другой известный критерий идентифицируемости предложен в работе [8]. Исследуется система одновременных уравнений в структурной форме, определяющих связь между экзогенными и эндогенными переменными. На практике часто применяется критерий идентифицируемости в алгебраической форме, полученный на основе метода матричных делителей нуля. Представленные критерии идентифицируемости не позволяют проводить сравнение качества идентификации параметров различных моделей и не всегда удобны в применении на практике.

Таким образом, все упомянутые критерии определения идентифицируемости непригодны для использования при сравнении качественных характеристик в общем случае.

Метод вычисления степени идентифицируемости параметров стационарной модели динамического объекта. Недостатками рассмотренных методов определения идентифицируемости являются необходимость проведения сложных вычислений и отсутствие численной оценки степени идентифицируемости конкретного параметра матрицы модели.

Проведём синтез критерия степени идентифицируемости стационарной модели динами-

ческого объекта, воспользовавшись структурой критерия степени наблюдаемости переменных состояния динамического объекта [9, 10]. Рассмотрим математическую модель исследуемого динамического объекта, которая имеет вид

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{\Phi}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_{k-1}, \tag{5}$$

где $\mathbf{x}_k$ — n-вектор состояния; $\mathbf{\Phi}$ — $(n \times n)$-матрица системы; $\mathbf{\Gamma}$ — $(n \times r)$-матрица входного шума; $\mathbf{w}_{k-1}$ — r-вектор входного шума, который является дискретным аналогом белого гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием.

Часть вектора состояния определяется по формуле

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \tag{6}$$

где $\mathbf{z}_k$ — m-вектор измерений; $\mathbf{H}$ — $(m \times n)$-матрица измерений; $\mathbf{v}_k$ — m-вектор измерительного шума, который является дискретным аналогом белого гауссовского шума с нулевым математическим ожиданием, причем $\mathbf{v}_j$ и $\mathbf{w}_k$ некоррелированы между собой, т. е. $E\left[\mathbf{v}_j\mathbf{w}_k^T\right] = 0$ при любых j и k.

Ставится задача оценивания неизвестных постоянных параметров матрицы объекта $\mathbf{\Phi}$, которая входит в уравнение объекта (5). Уравнение измерений имеет вид (6).

Вектор состояния $\mathbf{x}_{n+1}$ можно выразить через его значение в первый момент времени и, подставив выражение для $\mathbf{x}_{n+1}$ в уравнение измерений $\mathbf{z}_{n+1}$, получим:

$$\begin{aligned}\mathbf{z}_{n+1} &= \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^n \begin{bmatrix}\mathbf{H}\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}\\ \dots\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-1}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}\mathbf{z}_1\\ \mathbf{z}_2\\ \dots\\ \mathbf{z}_n\end{bmatrix} - \\ &- \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^n \begin{bmatrix}\mathbf{H}\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}\\ \dots\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-1}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}\mathbf{v}_1\\ \mathbf{H}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_1\\ \dots\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-2}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_1 + \dots + \mathbf{v}_n\end{bmatrix} + \\ &+ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-1}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_1 + \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-2}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_2 + \dots + \mathbf{H}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_n + \mathbf{v}_{n+1}.\end{aligned} \tag{7}$$

Не теряя общности постановки задачи, предположим, что измеряется одна компонента вектора состояния. Введём обозначения:

$$\begin{bmatrix}\lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_n\end{bmatrix} = \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^n \begin{bmatrix}\mathbf{H}\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^2\\ \dots\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-1}\end{bmatrix}^{-1}; \tag{8}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_1^0 &= \gamma_1\mathbf{w}_1 + \gamma_2\mathbf{w}_2 + \dots + \gamma_n\mathbf{w}_n - \\ &-\lambda_1\mathbf{v}_1 - \lambda_2\mathbf{v}_2 - \dots - \lambda_n\mathbf{v}_n + \mathbf{v}_{n+1} = \\ &= \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^n \begin{bmatrix}\mathbf{H}\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^2\\ \dots\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-1}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}\mathbf{v}_1\\ \mathbf{H}\mathbf{w}_1\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}\mathbf{w}_1 + \mathbf{H}\mathbf{w}_2 + \mathbf{v}_3\\ \dots\\ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-2}\mathbf{w}_1 + \dots + \mathbf{v}_n\end{bmatrix} + \\ &+ \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-1}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_1 + \mathbf{H}\mathbf{\Phi}^{n-2}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_2 + \dots + \mathbf{H}\mathbf{\Gamma}\mathbf{w}_n + \mathbf{v}_{n+1}.\end{aligned} \tag{9}$$

Таким образом, задача сводится к определению неизвестных элементов вектора-столбца $[\lambda_1\ \lambda_2\ \dots\ \lambda_n]$ по вновь сформированным измерениям. Для $n + 1$, $n + 2$, ..., $2n$ моментов времени по аналогии можно записать уравнения для вновь сформированных измерений:

$$\begin{bmatrix}z_{n+1}\\ z_{n+2}\\ \dots\\ z_{2n}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}z_1 & z_2 & \dots & z_n\\ z_2 & z_3 & \dots & z_{n+1}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ z_n & z_{n+1} & \dots & z_{2n-1}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\lambda_1\\ \lambda_2\\ \dots\\ \lambda_n\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}v_1^0\\ v_2^0\\ \dots\\ v_n^0\end{bmatrix}. \tag{10}$$

Отсюда можно выразить вектор-столбец, состоящий из неизвестных параметров $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$:

$$\begin{bmatrix}\lambda_1\\ \lambda_2\\ \dots\\ \lambda_n\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}z_1 & z_2 & \dots & z_n\\ z_2 & z_3 & \dots & z_{n+1}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ z_n & z_{n+1} & \dots & z_{2n-1}\end{bmatrix}^{-1}\left\{\begin{bmatrix}z_{n+1}\\ z_{n+2}\\ \dots\\ z_{2n}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}v_1^0\\ v_2^0\\ \dots\\ v_n^0\end{bmatrix}\right\}. \tag{11}$$

Уравнение для вектора неизвестных параметров имеет вид

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= f_1(z_1, \dots, z_{2n}) + v_1^{00};\\ \lambda_2 &= f_2(z_1, \dots, z_{2n}) + v_2^{00};\\ &\dots\\ \lambda_n &= f_n(z_1, \dots, z_{2n}) + v_n^{00},\end{aligned} \tag{12}$$

где

$$\begin{bmatrix}f_1(z_1, \dots, z_{2n})\\ f_2(z_1, \dots, z_{2n})\\ \dots\\ f_n(z_1, \dots, z_{2n})\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}z_1 & z_2 & \dots & z_n\\ z_2 & z_3 & \dots & z_{n+1}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ z_n & z_{n+1} & \dots & z_{2n-1}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}z_{n+1}\\ z_{n+2}\\ \dots\\ z_{2n}\end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix}v_1^{00}\\ v_2^{00}\\ \dots\\ v_n^{00}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}z_1 & z_2 & \dots & z_n\\ z_2 & z_3 & \dots & z_{n+1}\\ \dots & \dots & \dots & \dots\\ z_n & z_{n+1} & \dots & z_{2n-1}\end{bmatrix}^{-1}\begin{bmatrix}v_1^0\\ v_2^0\\ \dots\\ v_n^0\end{bmatrix}.$$

Точность определения параметров зависит от интенсивности приведённого измерительного шума, значения которого могут достигать существенных величин, что приводит к недостоверному определению параметров λ_1, λ_2, ..., λ_n. Поэтому для определения неизвестных параметров целесообразно использовать алгоритмы сглаживания измерительных шумов и алгоритмы оценивания. В качестве алгоритмов оценивания можно использовать адаптивные модификации фильтра Калмана [3, 11]. В этом адаптивном алгоритме оценивается дисперсия измерительного шума с помощью выражения

$$\hat{r}_k^i = \frac{1}{2}\sqrt{\left\{p_0^i k - E\left[\left(v_k^i\right)^2\right]\right\}^2 + 4E\left[\left(v_k^i\right)^2\right]p_0^i(k-1)} - \\ -\frac{1}{2}\left\{p_0^i k - E\left[\left(v_k^i\right)^2\right]\right\}^2. \qquad (13)$$

В практических приложениях часто необходимо знать степень идентифицируемости параметров, т. е. качественные характеристики идентифицируемых параметров: возможную точность идентификации параметров и время, за которое можно осуществить идентификацию параметра с заданной точностью.

Судить о мере идентифицируемости можно по двум характеристикам: точности идентификации и времени сходимости. Критерий, по которому определяется степень идентифицируемости стационарных систем, имеет вид [11]:

$$Di^i = \frac{E\left[\left(\lambda_i\right)^2\right]R_0}{E\left[\left(z_i\right)^2\right]\hat{R}^i}, \qquad (14)$$

где $E[(\lambda_i)^2]$ — дисперсия произвольной i-й компоненты вектора параметров λ; $E[(z_i)^2]$ — дисперсия непосредственно измеряемого вектора состояния; $R_0 = E[v^2]$ — дисперсия исходного измерительного шума; $\hat{R}^i = \hat{r}_k^i$ — дисперсия приведённого измерительного шума.

В критерии степени идентифицируемости (14) мерой качества идентификации является скаляр. Эта особенность позволяет проводить сравнение степеней идентифицируемости компонент векторов параметров матриц различных объектов.

Разработка численного критерия степени идентифицируемости параметров нестационарных моделей динамических систем. Критерии степени идентифицируемости (14) предполагают анализ объектов, описываемых стационарными уравнениями вида (5) и (6). Однако часто встречаются случаи, когда уравнения объекта имеют явно выраженный нестационарный характер. Для определения степеней идентифицируемости параметров нестационарных моделей динамических систем критерий необходимо модифицировать.

Пусть уравнение объекта описывается в дискретном виде

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{\Phi}_{k-1}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{\Gamma}_{k-1}\mathbf{w}_{k-1}, \qquad (15)$$

где $\mathbf{x}_k$ — вектор состояния; $\mathbf{\Phi}_{k-1}$ — матрица объекта; $\mathbf{\Gamma}_{k-1}$ — матрица входа; $\mathbf{w}_{k-1}$ — вектор входного возмущения.

Уравнение измерений имеет вид

$$\mathbf{z}_k = \mathbf{H}_k\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k, \qquad (16)$$

где $\mathbf{z}_k$ — вектор измерений; $\mathbf{H}_k$ — матрица измерений; $\mathbf{v}_k$ — вектор ошибок измерения.

В этом случае вектор состояния $\mathbf{x}_{k+n}$ можно выразить его значением $\mathbf{x}_k$ в начальный момент времени в виде

$$\mathbf{x}_{k+n} = \mathbf{\Phi}_{k+n-1}\ldots\mathbf{\Phi}_k\mathbf{x}_k + \mathbf{\Phi}_{k+n-1}\ldots \\ \ldots\mathbf{\Phi}_{k+1}\mathbf{\Gamma}_k\mathbf{w}_k + \ldots + \mathbf{\Gamma}_{k+n-1}\mathbf{w}_{k+n-1}. \qquad (17)$$

Подставив выражение для $\mathbf{x}_{k+n}$ в уравнение измерений $\mathbf{z}_{k+n}$, получим

$$\mathbf{z}_{k+n} = \mathbf{H}_{k+n}\mathbf{\Phi}_{k+n-1}\ldots\mathbf{\Phi}_k\mathbf{x}_k + \\ + \mathbf{H}_{k+n}\mathbf{\Phi}_{k+n-1}\ldots\mathbf{\Phi}_{k+1}\mathbf{\Gamma}_k\mathbf{w}_k + \\ + \ldots + \mathbf{H}_{k+n}\mathbf{\Gamma}_{k+n-1}\mathbf{w}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n}. \qquad (18)$$

Подставив в это уравнение выражение $\mathbf{x}_k$, получим

$$\mathbf{z}_{k+n} = \mathbf{H}_{k+n}\mathbf{\Phi}_{k+n-1}\ldots\mathbf{\Phi}_k\mathbf{O}_k^+\mathbf{z}_k^* - \\ - \mathbf{H}_{k+n}\mathbf{\Phi}_{k+n-1}\ldots\mathbf{\Phi}_k\mathbf{O}_k^+\mathbf{v}_k^* + \\ + \ldots + \mathbf{H}_{k+n}\mathbf{\Gamma}_{k+n-1}\mathbf{w}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n}, \qquad (19)$$

где

$\mathbf{z}_k^* = \begin{bmatrix} \mathbf{z}_k \\ \mathbf{z}_{k+1} \\ \ldots \\ \mathbf{z}_{k+n-1} \end{bmatrix}$; $\mathbf{O}_k^+$ — псевдообратная матрица

$$\mathbf{O}_k = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_k \\ \mathbf{H}_{k+1}\mathbf{\Phi}_k \\ \ldots \\ \mathbf{H}_{k+n-1}\mathbf{\Phi}_{k+n-2}\ldots\mathbf{\Phi}_k \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{v}_k^* = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_k \\ \mathbf{H}_{k+1}\mathbf{\Gamma}_k\mathbf{w}_k + \mathbf{v}_{k+1} \\ \ldots \\ \mathbf{H}_{k+n-1}\mathbf{\Phi}_{k+n-2}\ldots\mathbf{\Phi}_{k+1}\mathbf{\Gamma}_k\mathbf{w}_k + \ldots \\ \ldots + \mathbf{H}_{k+n-1}\mathbf{\Gamma}_{k+n-2}\mathbf{w}_{k+n-2} + \mathbf{v}_{k+n-1} \end{bmatrix}.$$

Введём обозначения:

$$\begin{bmatrix}\lambda_{1,k} & \lambda_{2,k} & \dots & \lambda_{n,k}\end{bmatrix} = \mathbf{H}_{k+n}\Phi_{k+n-1}\dots\Phi_k\mathbf{O}_k^+; \quad (20)$$

$$\begin{aligned}\mathbf{v}_k^0 &= \gamma_{1,k}\mathbf{w}_k + \gamma_{2,k}\mathbf{w}_{k+1} + \dots + \gamma_{n,k}\mathbf{w}_{k+n-1} - \\ &- \lambda_{1,k}\mathbf{v}_k - \lambda_{2,k}\mathbf{v}_{k+1} - \dots - \lambda_{n,k}\mathbf{v}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n} = \\ &= \mathbf{H}_{k+n}\Phi_{k+n-1}\dots\Phi_k\mathbf{O}_k^+\mathbf{v}_k^* + \dots + \\ &+ \mathbf{H}_{k+n}\Gamma_{k+n-1}\mathbf{w}_{k+n-1} + \mathbf{v}_{k+n}.\end{aligned} \quad (21)$$

Тогда постановка задачи сводится к определению неизвестных нестационарных элементов вектора-столбца $\begin{bmatrix}\lambda_{1,k} & \lambda_{2,k} & \dots & \lambda_{n,k}\end{bmatrix}$ по вновь сформированным измерениям, т. е.

$$\begin{aligned}\lambda_{1,k} &= f_{1,k}\left(z_k, \dots, z_{k+2n-1}\right) + v_k^{00}; \\ \lambda_{2,k} &= f_{2,k}\left(z_k, \dots, z_{k+2n-1}\right) + v_{k+1}^{00}; \\ &\dots \\ \lambda_{n,k} &= f_{n,k}\left(z_k, \dots, z_{k+2n-1}\right) + v_{k+n-1}^{00},\end{aligned} \quad (22)$$

где

$$\begin{bmatrix} f_{1,k}\left(z_k,\dots,z_{k+2n-1}\right) \\ f_{2,k}\left(z_k,\dots,z_{k+2n-1}\right) \\ \dots \\ f_{n,k}\left(z_k,\dots,z_{k+2n-1}\right)\end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} z_k & z_{k+1} & \dots & z_{k+n-1} \\ z_{k+1} & z_{k+2} & \dots & z_{k+n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{k+n-1} & z_{k+n} & \dots & z_{k+2n-2}\end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z_{k+n} \\ z_{k+n+1} \\ \dots \\ z_{k+2n-1}\end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} v_k^{00} \\ v_{k+1}^{00} \\ \dots \\ v_{k+n-1}^{00}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_k & z_{k+1} & \dots & z_{k+n-1} \\ z_{k+1} & z_{k+2} & \dots & z_{k+n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{k+n-1} & z_{k+n} & \dots & z_{k+2n-2}\end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} v_k^0 \\ v_{k+1}^0 \\ \dots \\ v_{k+n-1}^0\end{bmatrix}.$$

Поэтому критерий степени идентифицируемости параметров модели динамических нестационарных систем имеет вид:

$$Di_k^i = \frac{E\left[\left(\lambda_{i,k}\right)^2\right]R_0}{E\left[\left(z_{i,k}\right)^2\right]\widehat{R}_k^i}, \quad (23)$$

где $E[(\lambda_{i,\,k})^2]$ — дисперсия произвольной i-й компоненты вектора параметров λ; R_0 — дисперсия исходного измерительного шума; $E[(z_{i,\,k})^2]$ — дисперсия непосредственно измеряемого вектора состояния; $\widehat{R}_k^i = \hat{r}_k^i$ — дисперсия приведённого измерительного шума.

Таким образом, формализованная зависимость (23) используется для определения степени идентифицируемости параметров матрицы $\mathbf{\Phi}_{k-1}$. Дисперсия исходного измерительного шума определяется из практических соображений в соответствии с режимом работы измерительной системы или принимается значение из паспорта измерительного прибора. Определённые сложности возникают при вычислении приведённого измерительного шума. Однако при использовании скалярного адаптивного алгоритма оценивания дисперсия приведённого измерительного шума вычисляется на каждом шаге функционирования алгоритма. Качество идентификации или эффективности идентификации определяется максимально достижимой точностью идентификации и необходимым временем достижения заданной точности идентификации.

Заключение. Исследованные численные критерии степени идентифицируемости имеют ясный физический смысл, отличаются простотой и универсальностью, а также позволяют вычислять качество идентификации параметров в виде скаляра. Критерий отличается простотой и удобен в практических приложениях. Интуитивно ясно, что имеется связь [9] между степенью наблюдаемости и степенью идентифицируемости, но для получения формализованных зависимостей в явном виде требуются дополнительные исследования. Систематизация результатов подобных исследований существенно дополнит теорию качественного анализа систем.

Работа выполнена при поддержке the Programme of Introducing Talents of Discipline to Universities in P.R. China («Программа 111», No B 16025).

Библиографические ссылки

1. **Эйкхофф П.** Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 680 с.

2. **Кузовков Н.Т., Карабанов С.В., Салычев О.С.** Непрерывные и дискретные системы управления и методы идентификации. М.: Машиностроение, 1978. 221 с.

3. **Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Цибизова Т.Ю.** Системы управления летательными аппаратами и алгоритмы обработки информации. М.: изд-во МГОУ, 2006. 235 с.

4. **Ивахненко А.Г., Мюллер Й.Я.** Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев: Техника, 1985. 375 с.

5. **Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М.** Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. 432 с.

6. **Балонин Н.А.** Теоремы идентифицируемости. СПб.: изд-во «Политехника», 2010. 48 с.

7. **Балакришнан А.В.** Теория фильтрации Калмана. М.: Мир, 1988. 168 с.

8. **Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д**. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. М.: Финансы и статистика, 1985. 471 с.

9. **Шэнь Кай, Неусыпин К.А.** Исследование критериев степеней наблюдаемости, управляемости и идентифицируемости линейных динамических систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. № 11. С. 723—731.

10. **Шэнь Кай, Неусыпин К.А.** Критерий степени наблюдаемости переменных состояния нестационарных систем // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 6. С. 10—16.

11. **Неусыпин К.А., Пролетарский А.В., Кузнецов И.А.** Синтез численного критерия меры идентифицируемости параметров моделей динамических систем // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 3. С. 9—13.

УДК 628.9:681.7

В.В. Байнев
(Институт электроники и светотехники, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)

bw14@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ СЕТКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены проблемы проектирования современных световых приборов и их оптических систем. Представлена математическая модель для расчёта и моделирования световых приборов, описаны иерархические структуры в моделировании их геометрии, которые реализованы в разработанном программном комплексе. С его помощью осуществляется моделирование светодиодных оптических систем и светильников на основе светодиодов путём моделирования поверхностей, трассировки лучей и расчёта фотометрического тела.

Ключевые слова: светодиод; оптическая система; линза; отражатель; световой прибор; расчёт; фотометрическое тело; программный комплекс; иерархическая структура; моделирование.

The problems of designing modern light devices and their optical systems are considered. A mathematical model for the calculation and modeling of light devices is presented, hierarchical structures in modeling their geometry, which are implemented in the developed software package, are described. By means of this software package, it is possible to simulate LED optical systems and LED-based fixtures by modeling surfaces, tracing rays and calculating a photometric body.

Key words: LED; optical system; lens; reflector; light device; calculation; photometric body; software package; hierarchical structure; modeling.

Введение. Постановка задачи. Развитие конструкций световых приборов (СП) в значительной мере определяется совершенствованием и развитием методов их светотехнического расчёта. Результаты этого расчёта во многом определяют форму и размеры оптической системы и всего СП, а также его светотехнические параметры, которые, в свою очередь, зависят от области применения прибора.

Светотехнический расчёт — это решение последовательности прямых задач при разработке СП, т. е. нахождение его светораспределения при известных параметрах оптической системы и источника света. Известны различные методы решения прямой задачи расчёта СП, основанные на методах элементарных отображений, баланса потоков, численно-лучевых методах [1].

Оптический расчёт является основным этапом в разработке светового прибора, поскольку определяет не только технические, но и потребительские его свойства. В результате проведения оптического расчёта определяются габаритные и аберрационные характеристики, параметры оптической системы и источников излучения, обеспечивающих заданные фотометрические характеристики светового прибора. Он позволяет моделировать взаимодействие световых пучков лучей с системой линз, отражателей и др. [2].

В настоящее время для расчёта отражающих (преломляющих) поверхностей свободной формы используются различные численные и итерационные методы, позволяющие оптимизировать форму преломляющих поверхностей исходя из условия формирования заданного

светового распределения. Эффективность существующих методов недостаточно высока, и задача расчёта оптики для формирования заданной освещённости имеет большое практическое значение [3]. В большинстве случаев расчёт оптики — это трудоёмкий и длительный процесс. Если оптический расчёт выполнен некорректно или с ошибками, выяснится это только после выполнения всех остальных этапов проектирования и изготовления прибора, когда уже истрачены все запланированные временны́е и материальные ресурсы. Поэтому подразумевается использование вычислительной техники и специализированного программного обеспечения, позволяющих избавить инженеров от выполнения трудоёмких расчётов, многовариантного анализа и большого объёма графических работ. Автоматизированные системы для расчёта и моделирования световых приборов, использующие современные программные средства, существенно расширяют возможности современной светотехники [4].

Иерархические структуры в моделировании геометрии световых приборов. При решении широкого круга задач сложные объекты часто представляются в виде совокупности более простых, которые, в свою очередь, также разделяются на более мелкие составляющие. Этот процесс осуществляется до тех пор, пока не будет достигнута требуемая степень детализации с представлением объекта в виде древовидной (иерархической) структуры. Такой подход является очень удобным и оптимальным при расчёте и проектировании многих технических систем, в том числе и СП. В связи с этим было принято решение рассматривать СП в виде иерархической структуры. В этом случае корневым элементом дерева выступает непосредственно сам СП, на следующем уровне иерархии расположены корпус, оптическая система, источник света, защитное стекло, узел подвеса, электрика (рис. 1). Каждая из

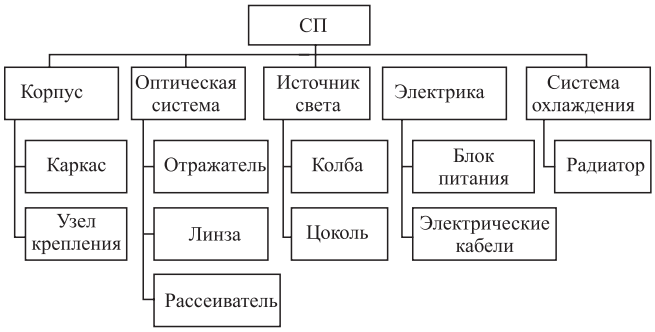

Рис. 1. Иерархическая структура СП

этих частей, в свою очередь, может быть представлена более детально. Например, оптическая система — в виде совокупности отражателя, линзы и рассеивателя.

Элементы в этой структуре являются логическими узлами. Дочерние узлы наследуют значения свойств и параметров родительских узлов. То есть если скрыть какой-либо узел, то скроются и все его потомки. Аналогично, если у дочернего узла явно не указан тип материала, то он наследуется из родительского.

Также каждый родительский узел задаёт геометрический базис для дочерних узлов. Все координаты являются относительными. Если перемещается, вращается или масштабируется в пространстве какой-либо узел (например, источник света), то его составляющие (колба, цоколь) также будут перемещаться, вращаться и масштабироваться вместе с ним, образуя одну неделимую сущность.

Геометрия логических узлов. Для вычисления абсолютных координат узлов используются следующие аффинные преобразования:

перемещение на вектор $\vec{P} = (p_x, p_y, p_z)$:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix};$$

поворот вокруг оси X на угол r_x:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos r_x & -\sin r_x & 0 \\ 0 & \sin r_x & \cos r_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix};$$

поворот вокруг оси Y на угол r_y:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos r_y & 0 & -\sin r_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin r_y & 0 & \cos r_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix};$$

поворот вокруг оси Z на угол r_z:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos r_z & -\sin r_z & 0 & 0 \\ \sin r_z & \cos r_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix};$$

масштабирование вдоль осей с коэффициентами s_x, s_y, s_z:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Преобразования координат точек можно осуществлять в любой последовательности, но наиболее распространён следующий порядок: перемещение, повороты вокруг осей Z, Y, X, масштабирование. Чтобы задать другой порядок, достаточно создать несколько вложенных узлов и к каждому применить нужные типы преобразований в требуемой последовательности начиная с узла высшего уровня.

Таким образом, окончательное выражение для преобразования относительных координат в абсолютные по заданному базису родительского узла имеет вид

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos r_x & -\sin r_x & 0 \\ 0 & \sin r_x & \cos r_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times$$
$$\times \begin{pmatrix} \cos r_y & 0 & -\sin r_y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin r_y & 0 & \cos r_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos r_z & -\sin r_z & 0 & 0 \\ \sin r_z & \cos r_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times$$
$$\times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_x \\ 0 & 1 & 0 & p_y \\ 0 & 0 & 1 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Логические узлы на более низких уровнях абстракции должны быть представлены в виде реальных объектов, например отражающих поверхностей, светоизлучающих элементов, теплопроводящих пластин. Геометрия таких узлов моделируется с помощью триангуляционных сеток.

Триангуляционные сетки при геометрическом моделировании световых приборов. Сама по себе триангуляционная сетка состоит из вершин и граней. Вершины задают положение точек в пространстве, грани связывают три заданные вершины плоским треугольником. На рис. 2 приведён пример модели светодиода (СД) с поверхностью, представленной в виде триангуляционной сетки.

При светотехнических расчётах возникает задача моделирования гладких поверхностей, таких как параболоиды, сферы, цилиндры, поскольку такие формы в большинстве случаев имеют оптические системы, обеспечивающие требуемое светораспределение [5]. Однако если при трассировке лучей считать грань триангуляционной сетки плоской, то лучи будут отражаться от неё пучками (рис. 3). В этом случае результат расчёта светораспределения не будет соответствовать действительности: появятся всплески и провалы на поверхности фотометрического тела там, где должен получаться ровный участок. Лишь значительное повышение плотности триангуляции (т. е. увеличение числа граней, приходящихся на единицу площади) может частично избавить от появления данного нежелательного эффекта.

В связи с этим был введён третий компонент триангуляционной сетки — ребро. Оно связывает две вершины и указывает, как вычислять векторы нормалей в связанных вершинах для смежных граней. Для этого каждое ребро задаёт либо заострение, либо плавный

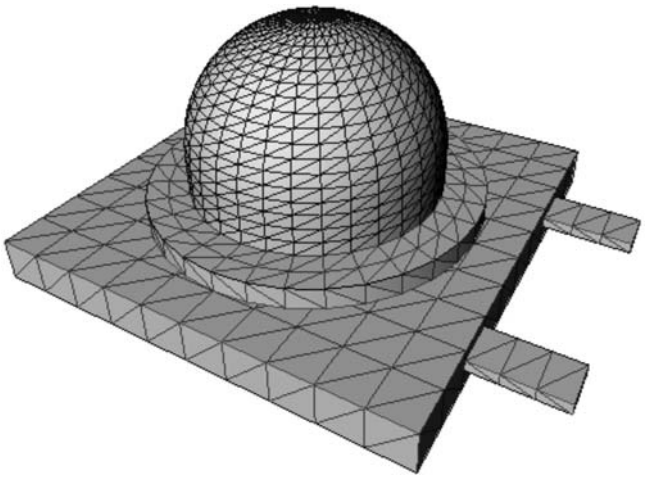

Рис. 2. Представление модели СД с помощью триангуляционной сетки

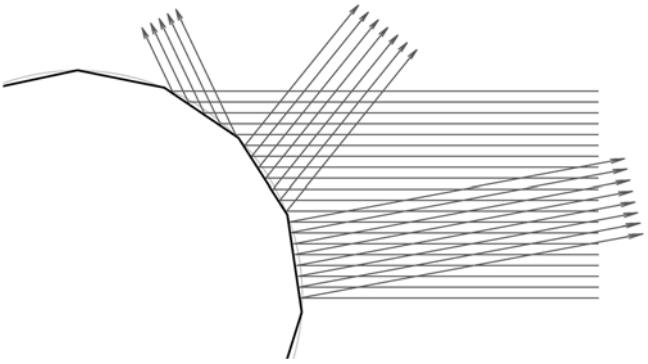

Рис. 3. Расхождение световых пучков, отраженных от плоских граней

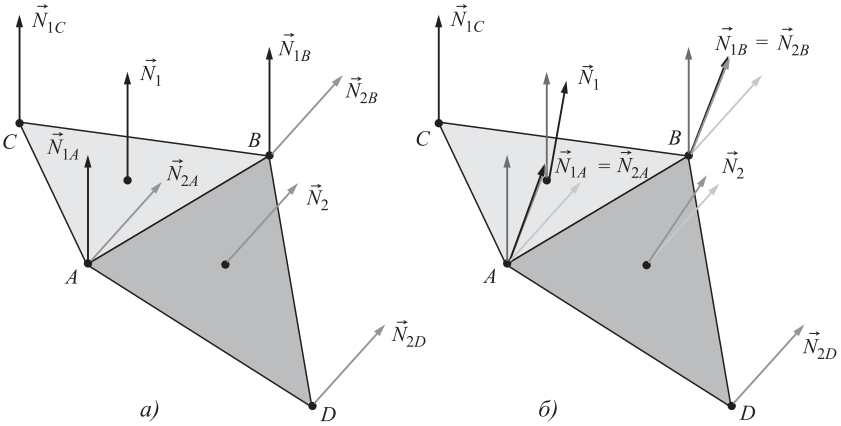

Рис. 4. Вычисление нормалей в вершинах:
а — ребро *AB* задаёт заострение; *б* — ребро *AB* задаёт плавный переход; более светлым тоном показаны нормали соответствующих граней до сглаживания, приведённые на рис. 4, *а*

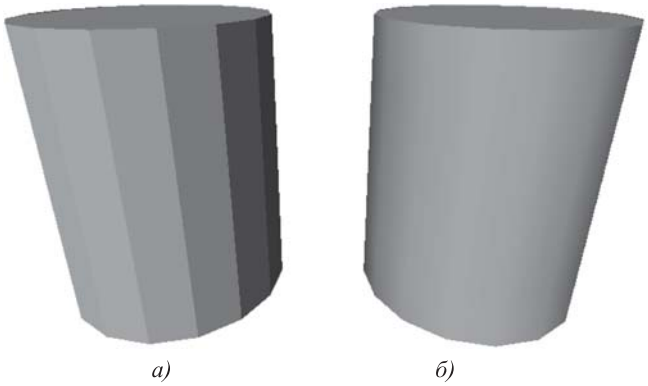

Рис. 5. Поверхности цилиндров с разными типами вертикальных рёбер:
а — рёбра задают заострение; *б* — рёбра задают плавный переход

переход между смежными гранями. В первом случае (рис. 4, *а*) векторы нормалей в обеих вершинах будут перпендикулярны к плоскостям соответствующих граней. Во втором (рис. 4, *б*) — векторы нормалей в этих вершинах для каждой грани будут совпадать друг с другом ($\vec{N}_{1B} = \vec{N}_{2B}; \vec{N}_{1A} = \vec{N}_{2A}$) и вычисляться как нормализованное среднее арифметическое перпендикулярных к граням векторов $\overrightarrow{N_k}$:

$$\vec{N} = \left\| \sum_{k=1}^{n} \overrightarrow{N_k} / n \right\|,$$

где n — число векторов в вершине.

В случае плавного перехода между гранями направление вектора нормали будет зависеть от расположения точки на поверхности треугольника, в которой вычисляется вектор нормали по формуле

$$\vec{N} = \left(\overrightarrow{N_A} - \overrightarrow{N_C}\right)\alpha + \left(\overrightarrow{N_B} - \overrightarrow{N_C}\right)\beta,$$

где $\overrightarrow{N_A}, \overrightarrow{N_B}, \overrightarrow{N_C}$ — векторы нормалей в соответствующих вершинах треугольника *ABC*; α, β — барицентрические координаты точки на поверхности треугольника.

На рис. 5 представлены два варианта цилиндрических поверхностей, заданных одинаковым набором вершин и граней триангуляционных сеток и различающихся только типом вертикальных рёбер.

Применение расширенного способа задания триангуляционной сетки с применением рёбер позволяет значительно упростить процесс аппроксимации гладких поверхностей без увеличения плотности самой сетки.

Формирование результирующей модели. Во многих СП имеются одинаковые элементы (например, светодиоды). Чтобы для каждого узла модели не создавать и не хранить одинаковые триангуляционные сетки, была обращена зависимость сетки от узла: каждый узел указывает на сетку, геометрию которой он использует. Данный принцип моделирования схематично представлен на рис. 6.

При использовании приведённого принципа достаточно смоделировать одну или несколько базовых форм (деталей), создать и расположить в пространстве логические узлы и привязать данные формы к этим узлам.

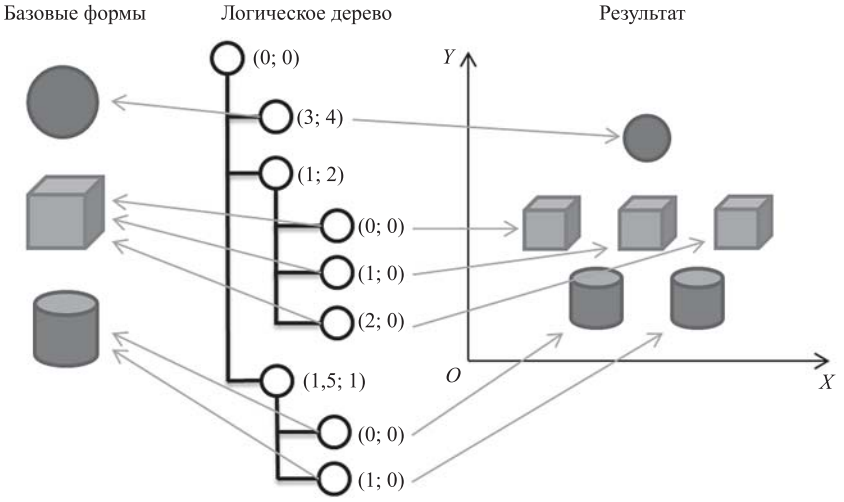

Рис. 6. Условная схема формирования результирующей модели на основе базовых форм и логического дерева

В результате получается модель, состоящая из одинаковых элементов. При корректировании формы одной детали синхронно будут изменяться формы других. Практическое применение такой схемы продемонстрировано на примере светодиодного модуля (рис. 7, см. обложку). Однако при трассировке лучей необходимо денормализовать такую структуру путём дублирования узлов и построения одной глобальной триангуляционной сетки.

Таким образом, представленные базовые методы построения и организации геометрических моделей вполне применимы к моделированию конструктивных элементов СП. Это существенно облегчает процесс расчёта, исследования и анализа разрабатываемых приборов.

Практическая реализация моделирования СП. Описанные модели положены в основу разработанного программного комплекса, с помощью которого моделируются светодиодная оптика и приборы на её основе. Расчёт вторичной оптики светодиодов является одной из наиболее сложных задач в светотехнике. Разработанный программный комплекс позволяет по известному световому распределению светодиода и требуемому световому распределению прибора смоделировать геометрию линзы с излучающей поверхностью, обеспечивающей комфортное зрительное восприятие и легко воспроизводимой современными методами производства.

В качестве исходных данных для расчёта используются следующие параметры: кривая силы света (КСС — функция, описывающая зависимость силы света светодиода от направления наблюдения в выбранной плоскости, например в горизонтальной; является сечением светового распределения этой плоскостью) светодиода, стандартная (требуемая) КСС прибора, показатель преломления материала оптики, габаритные размеры линзы [6].

На рис. 8 (см. обложку) показан пример расчёта светораспределения светильника, где на двух нижних изображениях приведено фотометрическое тело с разных ракурсов. Цветная шкала, содержащая информацию о минимальном и максимальном значениях силы света, помогает «на глаз» оценить силу света в конкретном направлении. КСС, приведённая на рис. 8, *б*, является сечением фотометрического тела заданной плоскостью.

Исследуя и анализируя полученные данные о светораспределении, проектировщик пытается подобрать такие параметры модели оптической системы, которые позволят получить требуемые характеристики светового прибора.

На рис. 9, 10 (см. обложку) показан процесс построения модели TIR-оптики для единичного светодиода, трассировки лучей для заданного типа поверхности с получением фотометрического тела.

Заключение. В современной светотехнике расчёт и моделирование светотехнических характеристик светодиодных модулей и световых приборов — актуальная задача. Разработанный программный комплекс позволяет значительно облегчить процесс проектирования оптических светодиодных систем и повысить их качество. В данном комплексе световой прибор как сложное изделие рассматривается в виде иерархической структуры: родительских и дочерних узлов, геометрия которых моделируется с помощью триангуляционных сеток. Для сглаживания поверхности оптического элемента и фотометрического тела введено ребро в качестве дополнительного элемента триангуляционной сетки. Такое задание триангуляционной сетки позволяет существенно упростить процесс аппроксимации гладких поверхностей. В разработанной программе результирующая модель формируется на основе базовых форм и логического дерева, что обеспечивает синхронность изменения форм однотипных элементов. С помощью данного программного комплекса было осуществлено моделирование светодиодной вторичной оптики путём разработки моделей поверхностей, трассировки лучей для заданного типа поверхности с получением фотометрического тела.

Библиографические ссылки

1. **Кущ О.К.** Оптический расчёт световых и облучательных приборов на ЭВМ. М.: Энергоатомиздат, 1991. 152 с.

2. **Байнев В.В., Байнева И.И.** Оптические системы для светодиодов // Фотоника. 2016. № 2 (56). С. 84—93.

3. **Fournier F.R., Cassarly W.J., Rolland J.P.** Fast freeform reflector generation using source-target maps // Optics Express. 2010. Vol. 18. No. 5. P. 5295—5304.

4. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Применение программ оптического моделирования в учебной и научной деятельности // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. № 4 (28). С. 53—62.

5. **Федосин С.А., Байнев В.В.** Геометрические модели и их программная реализация для компьютерного исследования и проектирования световых приборов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 6. С. 35—40.

6. **Bayneva I.I.** Concerns Of Design Of The Energy-Efficient Fixtures // Intern. J. of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No. 3. P. 6479—6487.

УДК 621.9.048.7

Б.М. Бржозовский, д-р техн. наук, проф., **Е.П. Зинина,** д-р техн. наук,
В.В. Мартынов, д-р техн. наук, проф.
(Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.),
С.А. Юнин
(ООО «ТОСС», г. Саратов)

v_martynov@mail.ru

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Представлены результаты разработки и испытаний управляемого источника питания для стабилизации процесса воздействия низкотемпературной плазмы на поверхность металлических изделий.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение; низкотемпературное плазменное воздействие; стабилизация; управляемый источник питания; обратная связь.

The development and testing results of a controlled power source for stabilizing the process of low-temperature plasma action on the surface of metal products are introduced.

Keywords: surface hardening; low-temperature plasma action; stabilization; controlled power supply; feedback.

Поверхностное упрочнение является одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных свойств металлических изделий различного технологического назначения, работающих в различных условиях, в том числе экстремальных. Разработано большое число методов поверхностного упрочнения [1, 2], в том числе метод, основанный на воздействии на поверхностный слой изделия низкотемпературной плазмой комбинированного разряда пониженного давления. Плазма формируется вокруг обрабатываемой поверхности при наложении сверхвысокочастотного электромагнитного и электростатического полей [3].

Изучение физических процессов, возникающих при взаимодействии низкотемпературной плазмы комбинированного разряда с упрочняемой поверхностью, позволило установить следующее:

от внутренней границы плазменного облака к обрабатываемой поверхности движутся заряженные частицы по направлению силовых линий электростатического поля;

изменение физико-механических свойств поверхности вызвано протеканием на ней низкоэнергетических процессов при взаимодействии частиц плазмы, в ходе которых происходит выделение потенциальной энергии (физическая и химическая адсорбция, рекомбинация);

адсорбция нейтральных атомов стимулирует процессы пассивации поверхности, связанные с образованием защитной плёнки;

адсорбция на поверхности как положительных, так и отрицательных ионов стимулирует рекомбинационные процессы, в ходе которых выделяется энергия, равная энергии, затраченной на их образование, т. е. энергия ионизации. При этом энергия, выделяющаяся при рекомбинации, на порядок превышает энергию, выделяющуюся при адсорбции;

величина кинетической энергии электронов определяет время их взаимодействия как с частицами плазмы, так и с поверхностными атомами, что, в свою очередь, определяет вероятность протекания процессов с участием электронов: образования отрицательных ионов (или прилипания электронов к нейтральным атомам), гомогенной и гетерогенной рекомбинации, ионизации (в плазме), нагрева поверхности;

скорость электронов, определяющая их кинетическую энергию, позволяет поддерживать процесс упрочнения на требуемом технологическом уровне, что способствует формированию поверхности с заданными свойствами.

Основным условием формирования заданных свойств является поддержание энергетического баланса электронов, а также баланса процессов накопления и нейтрализации заряженных частиц на поверхности изделия за

счёт знакопеременной полярности наведённого поверхностного заряда, которую должен обеспечивать источник питания, способный:

подавать на изделие потенциал смещения определённой величины;

целенаправленно изменять величину потенциала в ходе плазменного воздействия.

Первое является необходимым, второе — достаточным условием обеспечения эффективности процесса упрочнения по критерию значимого повышения микротвердости поверхностного слоя за счёт формирования в нём нанокомпозитных структур.

Представленные материалы были положены в основу проектирования и изготовления управляемого источника питания со стабилизацией выходного напряжения (рис. 1).

Источник обеспечивает возможность подачи на изделие:

постоянного стабилизированного напряжения от 0 до 300 В с током нагрузки до 10 мА;

импульсного напряжения амплитудой 350 В с регулируемой длительностью импульсов в диапазоне 1...25 % периода их следования.

Реализация импульсного режима работы привела к ограничению частоты работы задающего генератора широтно-импульсного модулятора (ШИМ) до 3 кГц, так как при большей частоте плавная регулировка скважности представляла бы определённые сложности.

Напряжение источника задаётся вручную с передней панели управления или по управляющей программе с компьютера через USB-соединение.

Источник представляет собой электронный преобразователь напряжения, включающий импульсный регулятор для преобразования постоянного напряжения 12 В в регулируемое напряжение от 0 до 300 В, ШИМ, плату связи и управления, устройство вывода информации. Мощность от электросети передаётся на вход источника через понижающий трансформатор с выпрямителем, что обеспечивает электробезопасность персонала, эффективность работы, а также защиту от помех в электросети за счёт двойного преобразования и разделения напряжений. Подобное построение источника наиболее эффективно, поскольку он в этом случае:

не будет рассеивать лишней энергии по сравнению с линейным источником питания, который, регулируя выходное напряжение, непрерывно рассеивает её на *p—n*-переходах силовых транзисторов;

более компактен, чем трансформаторный источник с линейным стабилизатором;

не уступает линейному и трансформаторному источникам по эффективности преобразования.

Для упрощения в качестве управляющей платы использована плата Arduino UNO, что обеспечивает удобство изготовления и лёгкую организацию интерфейса для управления источником с помощью компьютера. В качестве устройства индикации использован 24-символьный, двухстрочный жидкокристаллический дисплей фирмы Data Vision типа LCD 2402, построенный на базе контроллера HD44780. Кроме дисплея на передней панели источника расположены энкодер задания выходного напряжения, кнопка определения режима работы («Старт»/«Стоп») и тумблер, определяющий тип выходного напряжения (импульсное или постоянное). Импульсный источник питания распределённый, плата преобразователя содержит лишь импульсные силовые ключи, схему фильтрации и цепи обратной связи, сам же сигнал ШИМ формируется микроконтроллером с платы Arduino UNO. Для обеспечения необходимого диапазона регулирования преобразователь построен как прямоходовый преобразователь напряжения с оптически развязанной обратной связью, сигнал которой поступает на основную плату управления и используется для расчёта необходимых параметров задания режима работы ШИМ. С одной стороны, это снижает быстродействие источника, однако в режиме малого и плавного изменения сопротивления нагрузки данное решение себя оправдывает. В целом же использование платы Arduino UNO позволяет легко и быстро как изменить

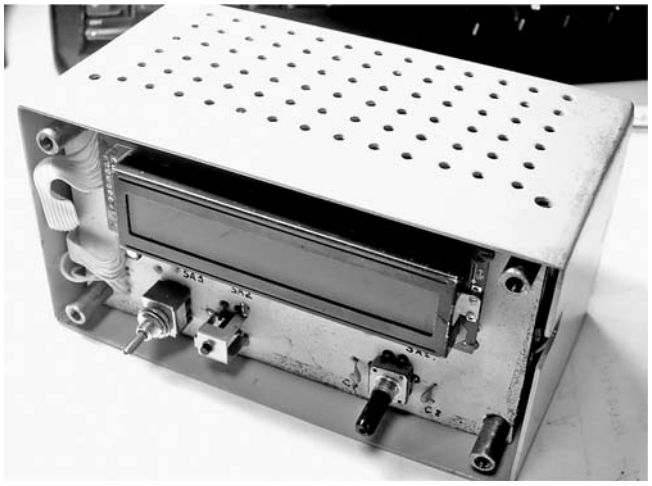

Рис. 1. Управляемый источник питания

(в случае необходимости) общую конфигурацию источника, так и организовать любой интерфейс для взаимодействия с оператором или системой управления.

Линейный выпрямитель для источника представляет из себя понижающий трансформатор АС 220 В на 12 В, двухполупериодный выпрямитель, фильтрующие и накопительные конденсаторы. Выходной разъём — цилиндрической формы 5,5×2,5 мм для подключения к плате Arduino UNO.

Импульсный трансформатор преобразователя напряжения имеет тороидальный сердечник с габаритными размерами 25×15×5 мм. Первичная обмотка содержит 11 витков провода МЛ 0,4 мм^2, вторичная — 337 витков провода МЛ 0,1 мм^2.

Первой на сердечник наматывается слоями виток к витку по всей длине сердечника вторичная обмотка, слои изолируются друг от друга лентой ФЛ-0,01мм. Крайние выводы обмотки выполняются тонким проводом типа МГТФ-0,12. Витки первичной обмотки равномерно распределяются поверх изолированной вторичной обмотки и закрепляются на краях липкой лентой.

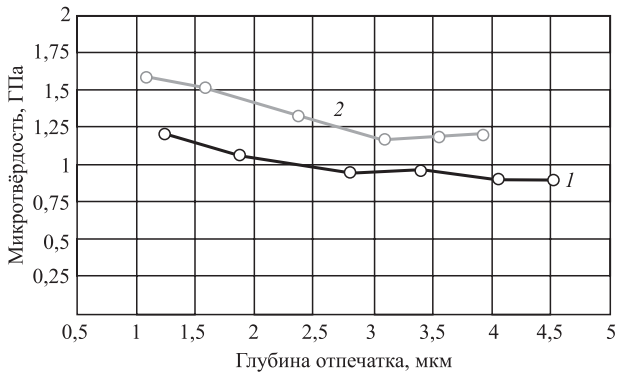

Рис. 2. Вариации микротвёрдости поверхности медных образцов при обработке со стандартным (*1*) и спроектированным (*2*) источниками

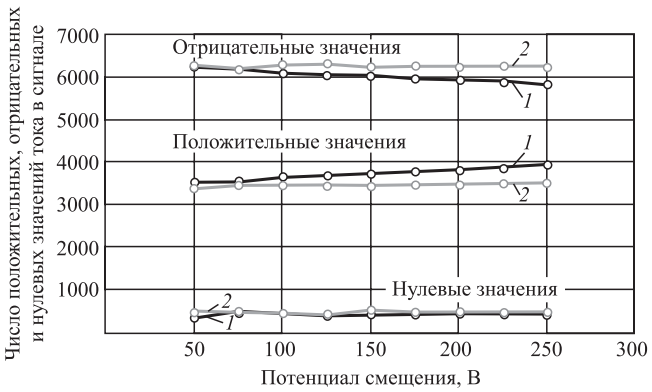

Рис. 3. Поведение параметров структуры сигнала тока смещения в зависимости от потенциала смещения на образце:

1 — стандартный источник; *2* — спроектированный источник

Для проверки работоспособности и возможностей источника были проведены его испытания в сравнении со стандартным источником постоянного тока Б5-50 [4] при плазменной обработке медных образцов ∅2,3×60 мм на длине 20 мм в течение 4 мин при одинаковых значениях режимных параметров. Результаты испытаний (рис. 2) показали, что:

средняя микротвердость при использовании стандартного источника составила 1,0 ГПа, при использовании спроектированного источника — 1,34 ГПа;

суммарное уплотнение исходной структуры при использовании стандартного источника составило 0,9 ГПа, при использовании спроектированного источника — 1,25 ГПа.

Для объяснения механизма, обеспечившего получение данного результата, было выполнено исследование структуры сигналов тока смещения, записанных при обработке с различными потенциалами смещения. Его результаты (рис. 3) показали, что отношение отрицательных значений сигналов тока смещения к положительным при повышении потенциала смещения снижается:

у стандартного источника в 1,2 раза;

у спроектированного источника в 1,04 раза.

Проверка значимости снижения, выполненная по *t*-критерию Стьюдента [5], показала, что с вероятностью 0,95 снижение в обоих случаях является значимым, однако в первом случае значимость выражается гораздо сильнее, поскольку вычисленные значения *t*-критерия составили соответственно 20,0 и 2,47 при табличном значении 2,37.

Таким образом, спроектированный источник позволяет вести обработку с большей гарантией получения положительного результата, поскольку у него имеется существенный резерв для повышения стабильности поддержания требуемых значений параметров: изменение (вплоть до автоматического управления) рабочих параметров канала обратной связи. Для этого потенциал смещения с выхода источника $U'_{вых}$ программно сравнивается с потенциалом, рассчитанным по значению входного сигнала $U_{вх}$, представляющего собой импульс определённой длины, с помощью выражения вида

$$U_{вых}(U_{вх}) = [\mathrm{sqrt}(60U_{вх} + 18\ 769) - 125]\cdot 25/6,$$

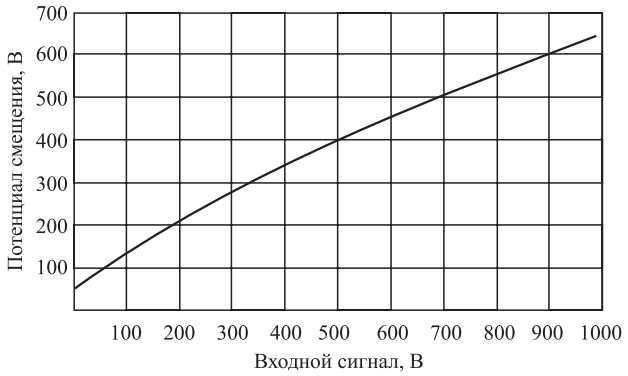

Рис. 4. Расчётная кривая для выходного сигнала источника (потенциала смещения)

полученного по результатам тестирования источника (рис. 4). В случае если разность ΔU между $U_{вых}$ и $U'_{вых}$ превысит заданное предельное значение $\Delta U_{пр}$, длина входного импульса $U_{вх}$ либо уменьшается, либо увеличивается на единицу разряда времени в зависимости от знака ΔU. В рабочем диапазоне используемых при упрочнении потенциалов смещения (50...300 В) подобное решение будет обеспечивать стабилизацию потенциала в условиях действия на источник возмущений независимо от их физической природы (температура окружающей среды, изменение параметров оптрона и др.), так как принципом управления является управление по отклонению.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-00030).

Библиографические ссылки

1. **Григорьев С.Н.** Методы повышения стойкости режущего инструмента. М.: Машиностроение, 2009. 368 с.

2. **Horvat M., Kralik M.** Hardening of surface layers // Acta Technica corvininesis: Bulletin of Engineering. Bratislava, Slovakia. 2015. Vol. 8, Iss. 3. P. 138—139.

3. **Бржозовский Б.М., Мартынов В.В., Зинина Е.П.** Упрочнение режущего инструмента воздействием низкотемпературной плазмы комбинированного разряда. Саратов, Сарат. гос. техн. ун-т, 2009. 176 с.

4. **Источники** питания постоянного тока Б5-46, Б5-47, Б5-48, Б5-49, Б5-50: техническое описание и инструкция по эксплуатации 3.233.220 ТО. М., Машприборинторг. 56 с.

5. **Каримов Р.Н.** Обработка экспериментальной информации. Ч.1. Разведочный анализ. Анализ качественных данных. Саратов, Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. 112 с.

Уважаемые авторы и читатели!

Редакция и редакционная коллегия сообщают:
межотраслевой научно-технический журнал «Автоматизация. Современные технологии»
успешно прошёл аккредитацию в ВАК при Минобрнауки России
для публикации работ соискателей учёных степеней
по отрасли науки:
05.00.00 — технические науки
и четырём группам специальностей:
05.02.00 — машиностроение и машиноведение;
05.07.00 — авиационная и ракетно-космическая техника;
05.11.00 — приборостроение, метрология
и информационно-измерительные приборы и системы;
05.13.00 — информатика, вычислительная техника и управление.
Напоминаем: статьи следует подавать в редакцию заблаговременно!
С правилами оформления статей можно ознакомиться на сайте mashin.ru

УДК 004.9:658.345

Д.Е. Иванов, Т.В. Громова, д-р техн. наук, **Т.Н. Швецова-Шиловская,** д-р техн. наук, проф., **О.В. Полехина,** канд. техн. наук
(ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии», г. Москва)
dir@gosniiokht.ru

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СОПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАРУБЕЖНЫМИ И ОТЕЧЕСТВЕННЫМИ ПРОГРАММНЫМИ ПРОДУКТАМИ

Разработаны технологии сопряжения информационно-аналитической системы оценки показателей надёжности оборудования опасных производственных объектов с зарубежными и отечественными универсальными программными комплексами анализа надёжности и безопасности. Приведены примеры сопряжения с зарубежным программным комплексом Relex на основе использования внешних источников данных: (.xls) Microsoft Office Excel; (*.mdb) Microsoft Office Access; (*.xml) Extensible Markup Language. Сопряжение с отечественным программным комплексом «Арбитр» возможно в форме СУБД MS Access, MS Excel при наличии у данного комплекса баз данных по характеристикам надёжности химико-технологического оборудования.*

Ключевые слова: информационно-аналитическая система; сопряжение; оценка показателей надёжности; технологическое оборудование; опасный производственный объект.

The conjugation technologies of the information-analytical system for reliability indicators valuation of equipment of hazardous production facilities with foreign and domestic universal software complexes for analysis of reliability and safety are developed. Examples of conjugation with the foreign software complex Relex based on the use of external data sources are given: (.xls) Microsoft Office Excel; (*.mdb) Microsoft Office Access; (*.xml) Extensible Markup Language. Conjugation with the domestic software complex «Arbitrator» is possible in the form of DBMS MS Access, MS Excel in the presence of data bases in this complex with the reliability characteristics of chemical technology equipment.*

Keywords: information-analytical system; conjugation; valuation of reliability indicators; technological equipment; dangerous production facility.

Исследование зарубежных программных продуктов анализа показателей надёжности сложных систем Relex, Isograph, iQRAS и других показал, что они могут выполнять импорт практически всех типов исходных данных из форматов электронных таблиц (*.xls), баз данных (*.mdb, db, dbf), текстовых, логистических (LSAR), BOM-файлов и осуществлять экспорт в Access, Excel, текстовую информацию.

В отечественных же программных продуктах отсутствуют подобные развитые операции сопряжения с внешним программным обеспечением.

Поэтому целью данной статьи является описание технологий сопряжения информационно-аналитической системы оценки показателей надёжности оборудования опасных производственных объектов с зарубежными и отечественными программными продуктами.

Разработаны технологии сопряжения информационно-аналитической системы с аналогичными зарубежными и отечественными программными комплексами.

С зарубежным программным комплексом Relex сопряжение реализовано на основе использования внешних источников данных: (*.xls) Microsoft Office Excel; (*.mdb) Microsoft Office Access; (*.xml) Extensible Markup Language.

Сопряжение с отечественным программным комплексом «Арбитр» возможно в форме СУБД MS Access, MS Excel при наличии у данного комплекса баз данных по химико-технологическому оборудованию.

Таким образом, разработаны технологии сопряжения информационно-аналитической системы с другими программными продуктами, что позволяет осуществлять обмен данными и оценивать результаты прогнозирова-

ния показателей надёжности, использовать базы данных и расчётные модули различных программных продуктов.

Специалисты ФГУП «ГосНИИОХТ» разработали программно-аналитический комплекс по оценке показателей надёжности, готовности и ремонтопригодности оборудования опасных химических объектов, диагностики и прогноза остаточного ресурса (ПАК НГР) [1—4]. ПАК НГР состоит из трёх подсистем:

информационно-аналитической системы по надёжности, готовности, ремонтопригодности оборудования опасных производственных объектов (ИАС НГР), включающей: информационную базу данных по надёжности, готовности и ремонтопригодности оборудования опасных производственных объектов (ОПО); информационно-аналитическую систему сбора, анализа и обработки эксплуатационной информации о надёжности, готовности и ремонтопригодности типового оборудования опасных производственных объектов;

программно-аналитического комплекса по исследованию надёжности, готовности и ремонтопригодности типового оборудования опасных производственных объектов на этапах проектирования и эксплуатации (ПК НГР);

программно-аналитической системы диагностики и оценки надёжности, готовности и ремонтопригодности оборудования опасных производственных объектов и прогноза его остаточного ресурса на этапе эксплуатации (ПАС НГР).

ПАК НГР разработан в среде Borland Delphi 7, в качестве базы данных используется Microsoft Access. Программный комплекс ПАК НГР позволяет осуществлять переключение (передачу управления) между независимыми подпрограммами ИАС НГР, ПАС НГР и ПК НГР.

Информационно-аналитическая система для оценки показателей надёжности оборудования опасных производственных объектов может быть сопряжена с другими отечественными и зарубежными универсальными программными комплексами анализа надёжности и безопасности. Следует отметить, что существующие аналогичные отечественные программные продукты не имеют возможности сопряжения с другими программными средствами и базами данных.

Проведённый анализ методов сопряжения современных программных комплексов показал, что наиболее универсальным и одновременно простым в реализации является метод импорта-экспорта данных [5].

Подсистема сопряжения с другими базами данных и программными комплексами состоит из двух модулей (рис. 1): модуль импорта данных и модуль экспорта данных. Модуль импорта данных формирует последовательность импортируемых данных в соответствии с определённым алгоритмом и осуществляет запись этой последовательности во внешний файл определённого общепринятого формата. Модуль экспорта данных позволят провести анализ исходного файла, выделять в последовательности символов конкретные значения, соответствующие искомым данным, и осуществлять их экспорт в систему.

Наиболее развитым зарубежным программным средством анализа надёжности на сегодняшний день является Relex, интегрирующий в себе обширный набор моделей и методов анализа надёжности, безопасности, технической эффективности (в связи с приобретением фирмы Relex Software Corporation компанией Parametric Technology Corporation программа Relex была переименована в WindChill Quality Solutions). В программе Relex реализованы модели прогнозирования безотказности элементной базы (электронной и механической), качественные методы анализа (FMEA, FMECA, HAZOP), основные модели и методы анализа сложных систем (логико-вероятностные, Марковские, статистическое моделирование), модели расчёта и оптимиза-

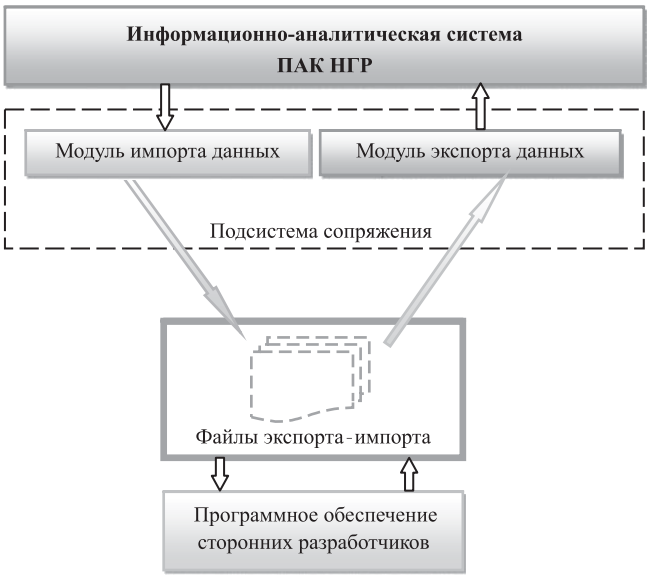

Рис. 1. Структура подсистемы сопряжения информационно-аналитической системы ПАК НГР

ции ЗИП и технического обслуживания, методы статистической обработки результатов эксплуатации и испытаний [6—8].

Сопряжение Relex и информационно-аналитической системы (ИАС) ПАК НГР для оценки показателей надёжности оборудования опасных производственных объектов (ОПО) может быть реализовано двумя способами.

Первый способ связан с созданием внешних источников данных, доступных для чтения и записи со стороны как Relex, так и информационно-аналитической системы (ИАС). В качестве внешних источников можно использовать файлы многих форматов (*.txt, *.xls и др.), однако наиболее удобным является использование файлов баз данных, в частности, в форматах базы данных MS Access. Как уже отмечалось, рассматриваемая информационно-аналитическая система создана в среде программирования Delphi и позволяет получить доступ к Access. Relex имеет мощные встроенные средства экспорта-импорта данных в (из) формат *.mdb базы данных Access.

Схема взаимодействия Relex — ИАС способом общего доступа к внешним файлам базы данных показана на рис. 2. Сопряжение осуществляется с помощью встроенной в Relex утилиты (мастера) импорта-экспорта внешней информации — Import/Export wizard. При работе с мастером необходимо выполнить следующие действия:

1. Определить модуль Relex, в который будет передана информация. Доступны следующие модули:

прогнозирования надёжности элементной базы (Reliability Prediction). В этом модуле осуществляется расчёт интенсивностей отказов элементов на основе международных стандартов и справочников (MIL-HDBK-217, Telcordia, NSWC-98/LE1, PRISM, 217plus), а также статистических данных, поставляемых американским Центром анализа надёжности (Reliability Information Analysis Center — RiAC);

анализа видов, последствий и критичности отказов (FMEA, FMECA), основывающийся на военных и промышленных стандартах MIL-STD-1629, SAE, AIAG, Ford FMEA, SAE ARP 5580;

блок-схем надёжности (Reliability Block Diagram — RBD), в рамках которого может быть осуществлён анализ надёжности сложных резервированных структур и решены оптимизационные задачи надёжности по выбору количества ЗИП и определению интервалов межпрофилактического обслуживания;

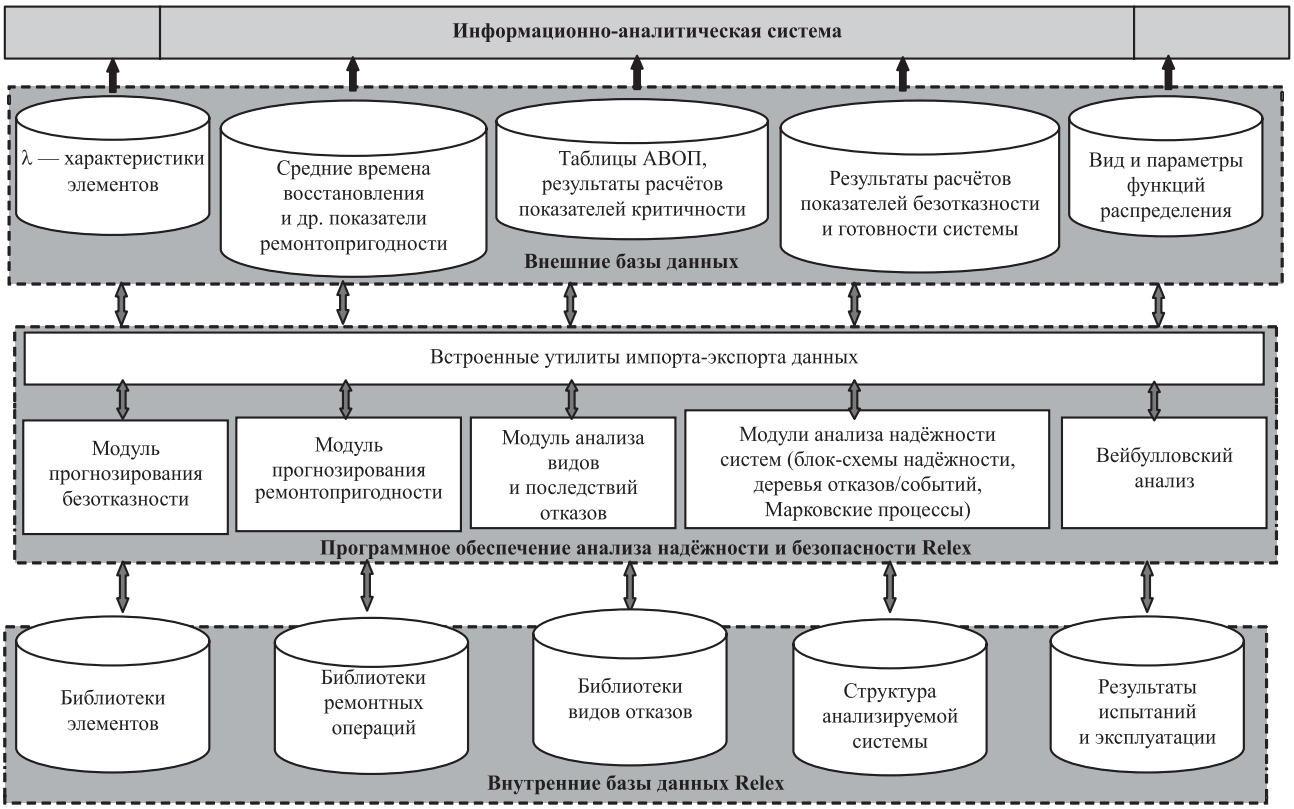

Рис. 2. Сопряжение Relex — ИАС по внешним источникам данных

деревьев отказов/деревьев событий (Fault Tree/Event Tree), обычно используемый для решения задач анализа безопасности;

Марковского моделирования (Markov), позволяющий строить сложные модели надёжности систем с учётом последовательности и зависимости возникновения случайных событий отказов компонентов;

экономического анализа на всех этапах жизненного цикла систем (Life Cycle Cost — LCC) [6—8].

2. Выбрать источник данных. В случае использования базы данных Access далее выбирают объект базы (таблица, запрос).

3. Описать тип передаваемых данных. Тип данных зависит от выбранного модуля Relex. Например, если выбран модуль Reliability Prediction, то это могут быть параметры элементов, сборок, древовидная иерархическая структура анализируемой системы (системное дерево — System Tree). Если рабочим модулем является RBD, то передаче подлежат три типа объектов — расчётные параметры блоков, параметры обслуживания и параметры ЗИП.

4. Определить режим передачи (обновление существующих данных или добавление новых).

5. Построить карту соответствия передаваемых данных полям внутренних таблиц базы данных Relex. При построении карты следует учитывать ограничения по совместимости различных типов данных (строковые, числовые, логические).

6. При необходимости сохранить выполненные действия в специальном шаблонном файле для импорта-экспорта и запустить мастер.

Рассмотрим пример передачи в Relex иерархической структуры из ИАС ПАК НГР. Экспорт данных в Relex осуществляется для расчёта интенсивностей отказов элементов по справочнику для прогнозирования безотказности механического оборудования [9] и проведения анализа надёжности в модуле деревьев отказов.

ИАС ПАК НГР содержит две таблицы, хранящие информацию о структуре и составе анализируемых объектов — RefTab и TreeTab. Таблица RefTab является таблицей-справочником, в которую занесены уникальные идентификаторы, названия элементов оборудования опасного производственного объекта и характеристики надёжности.

Таблица TreeTab хранит иерархическое описание анализируемого объекта в виде дерева. В Relex передаются объединённые таблицы TreeTab и RefTab по полям уникального идентификатора CodEl.

Для того чтобы Relex мог однозначно восстановить структуру дерева, необходимо в объединённую таблицу добавить два служебных поля — Level (уровень узла дерева) и isPart (признак элемента, т. е. конечного узла дерева). Для корневого узла поле Level имеет значение 0, для конечного узла дерева isPart — принимает значение true.

На рис. 3 и 4 показаны виды экранов с главной формой ИАС и мастера импорта-экспорта Relex соответственно.

Рисунок 5 иллюстрирует результат импорта данных из ИАС в Relex. Верхнее окно Relex содержит системное дерево, созданное в процессе работы мастера импорта на основе данных таблиц RefTab и TreeTab. Нижнее окно содержит дерево отказов технологической подсистемы производственного объекта.

После проведения расчёта показателей надёжности на модулях Relex результаты расчётов возвращаются в базу данных ИАС с помощью мастера Relex Export Wizard. Процедура экспорта организуется аналогично импорту по описанной выше процедуре с той лишь разницей, что источник и приёмник данных меняются местами. Чтобы избежать повторения рутинных операций по настройке масте-

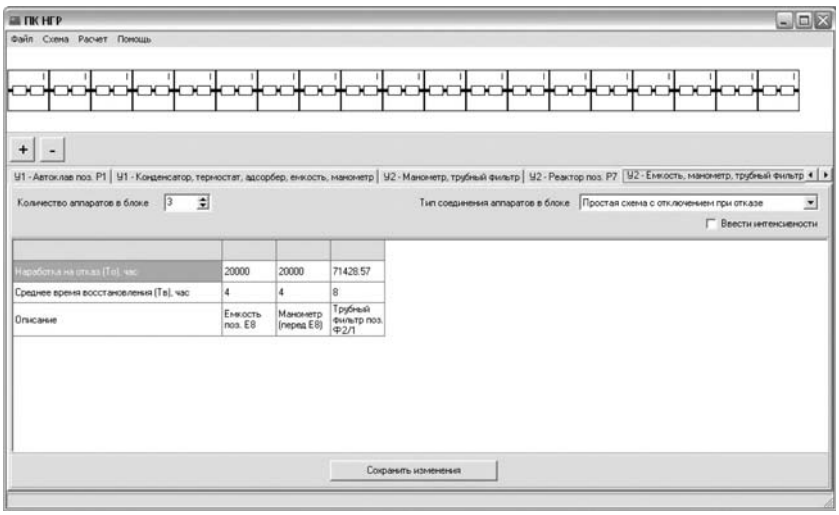

Рис. 3. Главная форма ИАС

Рис. 4. Вид экрана мастера импорта-экспорта Relex

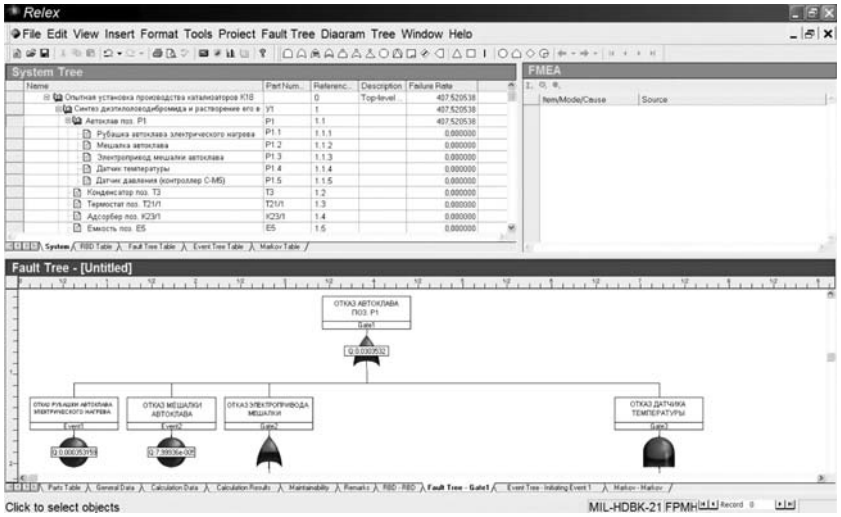

Рис. 5. Результат импорта данных из ИАС в Relex

ра, описанные действия по импорту-экспорту сохраняются в виде файлов-шаблонов Relex. При необходимости провести повторные действия по обмену данными пользователю достаточно вызвать шаблон, который автоматически запустит импорт-экспорт с нужными настройками.

Второй способ сопряжения основан на COM-технологии, что позволяет внешним программам использовать внутренние сервисы с помощью механизма интерфейсов. Component Object Model (COM) — это двоичный стандарт, в котором определены способы взаимодействия программ, написанных на разных языках или работающих на различных платформах. COM-объект — это многократно используемый программный объект, соответствующий спецификациям COM. Приложения способны подключаться к COM-объекту динамически во время выполнения. Интерфейс COM — это множество логически взаимосвязанных методов объекта (рис. 6).

Реализация второго способа сопряжения возможна вплоть до версии Relex 7.7. Более поздние версии Relex ориентированы на общеязыковую среду выполнения CLR платформы Net Framework. Отметим, что серверами автоматизации являются, в частности, такие популярные приложения, как Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), Seagate Crystal Reports, Microsoft Internet Explorer, а также такие программные средства, как Relex и Isograph. В общем случае клиент и сервер находятся в разных адресных пространствах, поэтому для управления сервером клиент должен обращаться к методам объектов, находящихся в другом адресном пространстве. Для этой цели используется технология LRPC (Local Remote Procedure Calls — локальные вызовы удалённых процедур). Каждый COM-сервер и каждый класс COM-объектов обладает уникальным 128-битовым идентификатором GIUD (Global Unique Identifier). При обращении к классам COM-объектов он иногда называется CLSID (идентификатор класса). Информация обо всех COM-серверах и классах COM-объектов хранится в системном реестре, что позволяет клиенту «не знать», в каком каталоге (или на каком компьютере локальной сети) находится COM-сервер. Сервер автоматизации предоставляет для доступа интерфейсы специального типа — IDispatch (диспетчерский интерфейс), которые реализуют двухэтапный процесс обмена данными с клиентом с обязательной упаковкой (распаковкой) данных в формат VARIANT. Это делает возможным использовать серверы, написанные на языках со строгой типизацией (например, C++, Pascal), клиентам, у которых нет строгого контроля соответствия типов (на-

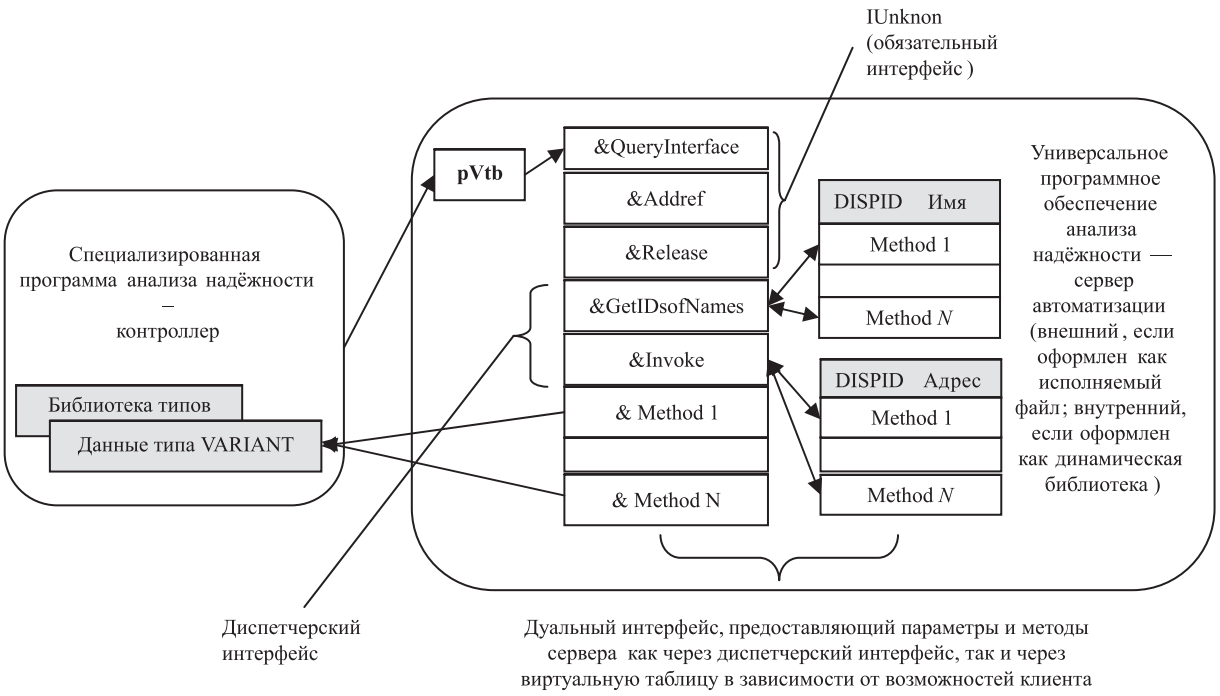

Рис. 6. Сопряжение ИАС — Relex, основанное на COM-технологии

пример, VBScript). Более эффективным методом доступа является обращение к методам интерфейса напрямую через таблицу указателей, называемую vtable. Для этого контроллеру необходимо знать номера и типы параметров методов интерфейса. Эти сведения предоставляются в библиотеке типов (type libraary), некоторой аналогией которой может быть скомпилированная, независимая от языка версия заголовочного файла C++.

Объекты, доступные в Relex как в сервере автоматизации, обеспечивают доступ практически ко всем модулям, а следовательно, к реализованным в них моделям и методам, файлам, библиотекам, утилитам импорта-экспорта.

Все команды системного меню (File, View, Edit, System->Calculate и др.) доступны как методы объекта приложения (объект «Relex»). Объект «Project» обеспечивает интерфейс к следующим группам методов: методы манипуляции с системным деревом, деревом отказов и таблицами FMEA; методы создания, открытия и сохранения файлов проектов; расчёт показателей надёжности; обновление библиотек элементов; создание отчётов. Объект «Project» позволяет пользователю читать и редактировать поля записей, определяющих текущее состояние элемента системного дерева, узла дерева отказов, строки таблиц FMEA, параметры прогнозирования безотказности и ремонтопригодности, настройки проекта, через набор свойств (TreeData, FaultTreeData, FMECA Data, FileInfo и пр.). Доступ к операциям задания параметров и проведения расчётов на блок-схемах надёжности предоставляет объект RBD через соответствующие методы и свойства (Calculate, RBDCalcSetUp). Автоматизация экономических расчётов реализуется объектом LCC, статистических — объектом Weibull и пр. Существует специальный инструментарий, позволяющий ознакомиться с составом COM-объектов, например, OLE/COM Object Viewer оболочки Microsoft Visual Studio. Использование COM-технологии позволяет создавать специальное программное обеспечение, реализующее углублённое решение некоторых частных (но иногда очень актуальных) задач анализа надёжности и безопасности, оформлять его в виде контроллеров автоматизации и при необходимости сопрягать с универсальными коммерческими системами типа Relex на двоичном уровне и во времени выполнения (см. рис. 6).

При использовании COM-технологии для организации сопряжения Relex рассматривается как сервер автоматизации, а ИАС — как контроллер (клиент). Сервисы Relex, доступные клиенту через интерфейсы, перечислены в табл. 1.

Таблица 1

Основные объекты автоматизации Relex

Объект	Предоставляемый интерфейс
CCF	К файлу групп отказов по общей причине
Correlation	К файлу корреляций (соответствия внутренних и внешних кодов элементов)
Defaults	К файлу значений параметров по умолчанию
Event Parameters	К библиотеке базовых событий (поддержка анализа деревьев отказов)
Weibull	К модулю статистического (Вейбулловского) анализа
FDIOutputs	К файлу признаков отказов (поддержка анализа ремонтопригодности)
Groups	К файлу групп обслуживания (поддержка анализа ремонтопригодности)
FIN	К файлу эквивалентных отказов (поддержка FMEA)
ImportExport	К утилитам импорта-экспорта
Library	К библиотекам элементов Relex
MissionProfile	К файлу профиля задания
Modes	К библиотекам видов отказов
Phrases	К файлу фраз Relex (поддержка FMEA)
Project	К проекту Relex
RBD	К модулю RBD (блок-схемы надёжности)
Tasks	К файлам заданий на обслуживание
UserDefined Values	К файлам значений пользователя (User-Defined Values files)

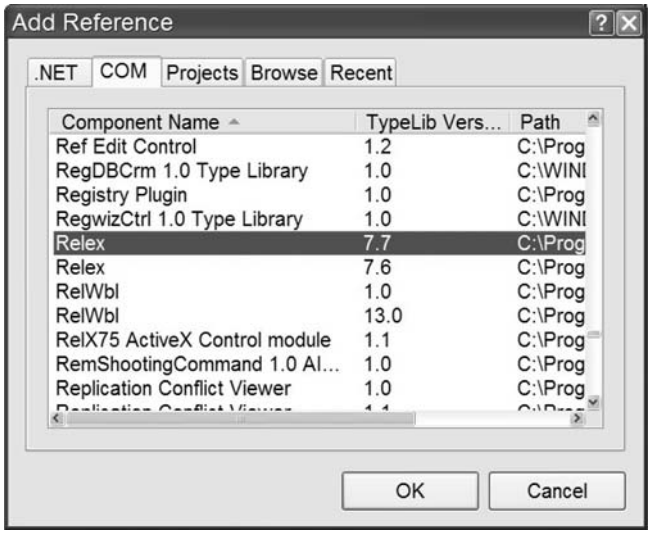

Рис. 7. Добавление ссылки на Relex в проект контроллера

Конкретная реализация программного сопряжения клиента и сервера автоматизации зависит от выбранной среды программирования. В настоящее время большинство коммерческого программного обеспечения, в том числе Relex, разрабатывается в среде Microsoft Visual Studio на языке C# [10].

Для организации вызова сервисов Relex из программы контроллера, написанной на языке C#, необходимо добавить ссылку на Relex в проект контроллера. Добавление ссылки осуществляется в диалоговой панели обозревателя решения (Solution Explorer) на вкладке COM (рис. 7). Добавление ссылки делает доступным коду контроллера пространство имен Relex, позволяет создать объект проекта Relex: Relex.Project rp = new Relex.Project() и вызвать требуемый метод сконструированного объекта.

Например, доступ к вершинному событию дерева отказов обеспечивается методом GetTopGates(), для доступа к узлу дерева по уникальному идентификатору ID надо вызвать метод GetFaultTreeRecord(int ID), доступ к активному элементу системного дерева обеспечивает метод GetCurTree(), добавления сборки к системному дереву организуются с помощью метода AddAssembly(string Name, bool Child), где Name — имя сборки, Child — признак конечного элемента (листа) системного дерева, NumberofFMEARecords() — позволяет определить количество видов отказов и т. д. Описание полного списка методов Relex для интерфейсов, перечисленных в табл. 1, имеется во встроенной справке программного продукта. Кроме того, после подключения ссылки на Relex среда программирования Visual Studio даёт разработчику программы исчерпывающие подсказки о его объектах и методах. На рис. 8 показано окно инспектора объектов Visual Studio, содержащего полный список объектов библиотеки Relex.

Определённые трудности при разработке кодов сопряжения ИАС ПАК НГР с Relex могут быть вызваны динамической идентификацией типов возвращаемых значений некоторых методов. Динамическая идентификация типов (RTTI) приводит к тому, что определение типа объекта становится возможным только во время выполнения программы. Решение проблемы осуществляется путём использования в коде внедрённого в C# механизма рефлексии [10], позволяющего иден-

тифицировать и использовать типы данных, известные только во время выполнения:

```
// Создание объекта rpj типа Project
Relex.Project rpj = new Project();
// Присоединение к объекту rpj файла проекта Relex OXO.RPJ
if (!rpj.OpenDocument(»OXO.RPJ»))
{MessageBox.Show(«Невозможно открыть проект Relex!»);
return;}
// Получение информации о динамическом типе, возвращаемом методом GetTopGates
dynamic tg = rpj.GetTopGates();
Type t = tg.GetType();
MessageBox.Show(t.Name);
// пример доступа по индексу к произвольной вершине дерева
int i = 0;
rpj.GetFaultTreeRecord(0); // вершина с индексом 0 стала активной текущей вершиной
Relex.FaultTreeData cft = rpj.CurFaultTreeRecord;
MessageBox.Show(t_cft.Name);
MessageBox.Show(cft.Name + cft.Description);
rpj.GetFaultTreeRecord(1); // вершина с индексом 1 стала активной текущей вершиной
Relex.FaultTreeData cft = rpj.CurFaultTreeRecord;
cft.InputValue = 1e-6; // задание расчётного параметра
rpj.UpdateCurFaultTreeRecord();// обновление активной записи.
```

Разработанные на примере Relex процедуры могут быть использованы также для сопряжения ИАС ПАК НГР с другим внешним программным обеспечением, в том числе с отечественными программными продуктами (например, Арбитр) при доработке последних в части, касающейся организации проблемно ориентированных баз данных химико-технологического оборудования в форматах СУБД MS Access или Excel.

Для обеспечения сопряжения ИАС ПАК НГР с аналогичными программными продуктами необходимо реализовать процедуры импорта и экспорта данных в совместимых форматах данных (рис. 9).

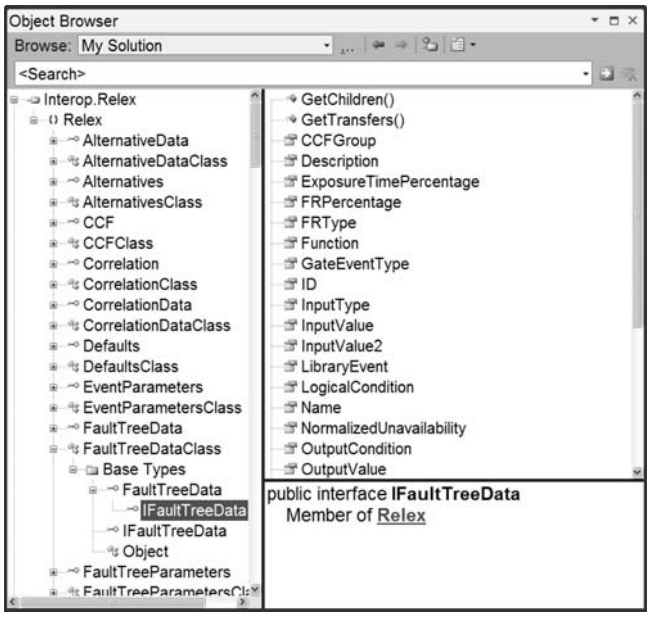

Рис. 8. Инспектор объектов Visual Studio

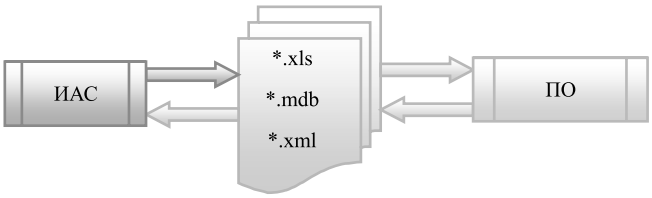

Рис. 9. Экспорт-импорт данных

В качестве таких форматов экспорта-импорта данных целесообразно применять следующие стандартные типы файлов: (*.xls) Microsoft Office Excel; (*.mdb) Microsoft Office Access; (*.xml) Extensible Markup Language.

В табл. 2 показана необходимая структура информации, экспортируемой из ИАС ПАК НГР для её импорта в программный комплекс Windchill Quality Solutions.

Таким образом, разработаны технологии сопряжения информационно-аналитической системы с аналогичными зарубежными и

Таблица 2

Структура информации, экспортируемой из ИАС ПАК НГР

Name	Description	Tag	Failure Rate Calculated	Failure Rate Specified	MTTR	Level	IsPart
Краткое наименование элемента	Полное наименование элемента	Уникальный идентификатор данного узла дерева	Интенсивность отказов (расчётная)	Интенсивность отказов (нормативная)	Интенсивность восстановления	Уровень узла дерева	Признак элемента, т. е. конечного узла дерева

отечественными программными комплексами. С зарубежным программным комплексом Relex сопряжение реализовано на основе использования внешних источников данных: (*.xls) Microsoft Office Excel; (*.mdb) Microsoft Office Access; (*.xml) Extensible Markup Language. Сопряжение с отечественным программным комплексом «Арбитр» возможно в форме СУБД MS Access, MS Excel при наличии у данного комплекса баз данных по химико-технологическому оборудованию.

Разработанные технологии сопряжения информационно-аналитической системы программно-аналитического комплекса по оценке показателей надёжности, готовности и ремонтопригодности оборудования опасных химических объектов, диагностики и прогноза остаточного ресурса с другими программными продуктами позволяют осуществлять обмен данными, оценивать результаты прогнозирования показателей надёжности, полученные на основе созданного программного комплекса с результатами, полученными другими исследователями. Получены свидетельства о государственной регистрации (ПАК НГР) [1—4].

Библиографические ссылки

1. **Иванов Д.Е., Швецова-Шиловская Т.Н., Гамзина Т.В., Громова Т.В., Полехина О.В., Афанасьева А.А., Назаренко Д.И., Викентьева М.А.** Программно-аналитический комплекс по оценке показателей надёжности, готовности и ремонтопригодности оборудования опасных производственных объектов, диагностики и прогноза остаточного ресурса (ПАК НГР) // Свид-во о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613601. 2013.

2. **Швецова-Шиловская Т.Н., Гамзина Т.В., Громова Т.В., Полехина О.В., Афанасьева А.А., Назаренко Д.И., Иванов Д.Е., Викентьева М.А.** Информационно-аналитическая система по надёжности, готовности, ремонтопригодности оборудования опасных химических объектов (ИАС НГР) // Свид-во о регистрации электронного ресурса № 18595. 2012.

3. **Швецова-Шиловская Т.Н., Гамзина Т.В., Громова Т.В., Полехина О.В., Афанасьева А.А., Назаренко Д.И., Иванов Д.Е., Викентьева М.А.** Программно-аналитический комплекс по оценке показателей надёжности, готовности и ремонтопригодности оборудования опасных химических объектов, диагностики и прогноза остаточного ресурса (ПАК НГР) // Свид-во о регистрации электронного ресурса № 18596. 2012.

4. **Швецова-Шиловская Т.Н., Гамзина Т.В., Громова Т.В., Полехина О.В., Афанасьева А.А., Назаренко Д.И., Иванов Д.Е., Викентьева М.А.** Программно-аналитическая система для диагностики и оценки надёжности, готовности, ремонтопригодности оборудования опасных химических объектов и прогноза его остаточного ресурса (ПАС НГР) // Свид-во о регистрации электронного ресурса № 18597. 2012.

5. **Мишарин А.С., Шубинский И.Б.** Функциональная надёжность информационно-управляющих систем на федеральном железнодорожном транспорте // Известия РАН. Теория и системы управления. 2004. № 1. С. 155—162.

6. **Викторова В.С., Кунтшер Х.П., Петрухин Б.П., Степанянц А.С.** Relex — программа анализа надёжности, безопасности, рисков // Надёжность. 2003. № 4 (7). С. 42—64.

7. **Викторова В.С., Степанянц А.С.** Использование модулей Relex при анализе надёжности и безопасности систем // Надёжность. 2004. № 2 (9). С. 64—71.

8. **Викторова В.С., Степанянц А.С.** Анализ программного обеспечения моделирования надёжности и безопасности систем // Надёжность. 2006. № 4 (19). С. 46—57.

9. **Handbook** of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment // Carderockdiv. NSWC-94/L04. 1994. 143 с.

10. **ГОСТ 26656—85.** Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.gostinfo.ru (дата обращения: 20.04.2017).

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация. Современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала.
При этом ссылка на журнал обязательна.

УДК 378.1

Т.Ю. Цибизова, д-р пед. наук, проф., **В.Н. Зимин,** д-р техн. наук, проф.
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

vesta952006@yandex.ru

РАЗРАБОТКА СПОСОБА РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИИ АБИЛИТАЦИИ СТУДЕНТОВ И ВЫПУСКНИКОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Исследован процесс реализации функции абилитации в ходе подготовки студентов образовательных организаций высшего образования путём активного вовлечения обучающихся в научно-исследовательскую работу и практическую деятельность при непосредственном участии работодателей. Представлена информационная модель и исследованы факторы, влияющие на процесс абилитации. Предложен комплекс мероприятий, способствующий эффективной реализации функции абилитации в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ключевые слова: абилитация; информатизация управления; информационное общество; информационная модель; профессиональная деятельность; самоорганизующаяся модель.

The habilitation function realization process in the course of student's preparation in the higher education organizations by active involvement of students in research and practical work with the direct participation of employers is researched. The information model is presented and the factors influencing the process of habilitation are investigated. A set of measures to facilitate the effective implementation of the habilitation function in the MSTU by name N.E. Bauman are proposed.

Keywords: habilitation; informatization of management; information society; information model; professional activity; self-organizing model.

Введение. Современные сложные социально-экономические системы функционируют в условиях активного формирования глобального информационного общества. Доминирующим фактором, определяющим успешность индивидуума, организации и государства в информационном обществе, является наличие большого объёма знаний, полученных в процессе беспрепятственного доступа к информации и эффективной работе с ней. Осуществляется переход от «информатизации управления» к «информатизации жизни» [1]. Адаптация к новому образу жизни, эффективное использование возможностей, предоставляемых информационным обществом, являются необходимой составляющей современного человека. Альтернативный тип поведения ведёт к стагнации и деградации личности, различным девиациям, разрушению психики, асоциальному поведению и снижению профессионального уровня.

Современный этап развития общества характеризуется ускорением формирования процесса социальной институционализации информационно-коммуникационного образовательного пространства [2], что объясняется сложными политическими и социально-экономическими процессами, связанными с переходом к рыночным отношениям, реструктуризацией производства, сменой условий и стереотипов жизни. Следует отметить такой определяющий фактор, как огромные интеллектуальные и психоэмоциональные нагрузки, которые дезорганизуют становление новых социально-экономических отношений в стране и усложняют адаптацию человека в обществе, в частности студента в вузе и молодого специалиста на предприятии.

Реализация функции абилитации. Успешная реализация функции абилитации наряду с обучением и образованием обеспечивает комплексную подготовку человека к профессиональной деятельности, а также его профессиональную самореализацию [3].

При переходе обучающегося к новому качественному профессиональному уровню на каждом этапе подготовки определяющим является выход из пространства знаний в пространство деятельности и жизненных смыслов [4].

Обычно проблема абилитации обучающегося решается с помощью постоянного прогнозирования индивидуальной профессио-

нальной траектории и её коррекции на основе субъективных представлений и влияния различных социальных факторов, таких как изменение предложений на рынке труда, изменение трендов предпочтений, формируемых государственной политикой, и др.

Функция абилитации наряду с обучением и образованием обеспечивает комплексную подготовку к профессиональной деятельности и профессиональную самореализацию человека, расширяет возможности для создания сложных систем в творческой лаборатории одной личности.

Информационная модель. Отличительной особенностью современного этапа развития общества является высокая степень информатизации [5]. Для учёта этой особенности при реализации функции абилитации необходимо исследовать ситуацию более подробно, а именно формализовать влияние внешней среды на обучающегося.

Рассмотрим группу обучающихся, характеризующуюся некоторой степенью неорганизованности, неопределённости знания о предмете изучения — энтропией $S(t)$. Обозначим через $H(t)$ информацию, связанную с предметом изучения и поступающую в группу из разных источников — от преподавателей, из учебной и научной литературы, Интернета, от других членов группы и т. д. Классифицируем информацию по двум типам: информация первого типа уменьшает энтропию, структурирует и упорядочивает знания о предмете изучения (−); информация второго типа — ошибочная, не нужная обучающимся, морально устаревшая (+).

Поток потребляемой группой информации описывается уравнением [6]

$$\frac{dH(t)}{dt} = -\rho_1 S(t) + \rho_2 H(t),$$

где $-\rho_1 S(t)$ и $+\rho_2 H(t)$ — потоки информации первого и второго типов соответственно.

Баланс потока энтропии определяется выражением

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\mu_1 S(t)H(t) - \mu_2 S^2(t)H(t) + \\ + \alpha S^2(t) + \beta H(t) + \gamma S(t),$$

где $-\mu_1 S(t)H(t)$ — уменьшение энтропии вследствие взаимодействия с информацией, получаемой обучающимися при реализации образовательного процесса; $-\mu_2 S^2(t)H(t)$ — уменьшение энтропии в дискуссионном процессе, относящемся к предмету изучения; $\alpha S^2(t)$ — увеличение энтропии, обусловленное взаимными контактами слушателей в области, не относящейся к изучаемому предмету; $\beta H(t)$ — увеличение энтропии, обусловленное контактами обучающихся с лишней информацией; $\gamma S(t)$ — прирост энтропии в непроизводительные периоды (отсутствие обучающихся).

Комплексная модель имеет вид

$$\begin{cases} \dfrac{dH(t)}{dt} = -\rho_1 S(t) + \rho_2 H(t); \\ \dfrac{dS(t)}{dt} = -\mu_1 S(t)H(t) - \mu_2 S^2(t)H(t) + \\ + \alpha S^2(t) + \beta H(t) + \gamma S(t). \end{cases}$$

Подобные априорные модели имеют заранее определённую структуру и в условиях изменений внешней среды и собственного состояния объекта исследования с течением времени становятся неадекватными. В связи с этим целесообразно вместо априорных моделей использовать модели, построенные в ходе реализации процесса обучения, например, осуществлять построение модели методом самоорганизации, нейронными сетями, генетическими алгоритмами и др. [6].

Рассмотрим метод самоорганизации, позволяющий строить модели в условиях минимума априорной информации. Отличительной особенностью самоорганизующихся моделей является их «нефизичность», поэтому выделить доминирующие факторы, определяющие исследуемый процесс, не представляется возможным. Однако самоорганизующиеся модели адекватны исследуемому процессу и отличаются высокой точностью при удачно выбранном ансамбле критериев селекции, а также позволяют автоматически исключить лишние, случайные и неинформативные переменные состояния, определить связи между значимыми переменными оптимальным образом.

Самоорганизующаяся модель имеет следующий вид [7]:

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^{n} a_i \mu_i (f_i x),$$

здесь n — число базисных функций в модели; μ_i — базисные функции из параметризованного множества $F_p = \left\{ a_j \mu_j (f_j x) \middle| j = \overline{1, m} \right\}$ (каждой базисной функции ставится в соответствие двумерный вектор параметров $(a_i, f_i)^{\mathrm{T}}$, где a — амплитуда; f — частота).

Построенная самоорганизующаяся модель может быть использована для анализа информационной составляющей при исследовании процесса абилитации.

Исследование особенностей реализации процесса абилитации на современном этапе. В процессе реализации функции абилитации студентов и выпускников вузов обычно выделяют три основные группы проблем: организационно-социальные, организационно-экономические и организационно-психологические.

Отсутствие профессионального опыта у подавляющего большинства выпускников вузов и молодых специалистов объясняется тем, что профессиональная деятельность во время обучения, как правило, заключается в прохождении нескольких практик и не позволяет глубоко вникнуть в технологический и производственный процессы.

В последнее время наблюдается снижение уровня знаний студентов и выпускников вузов. В процессе профессионального тестирования выпускники часто демонстрируют низкие, а иногда и отрицательные результаты, что объясняется значительным асоциальным напряжением, приводящим к снижению результатов, которые демонстрируют студенты и выпускники, а также невысоким уровнем личного образования.

Организационно-экономические факторы включают такие основные проблемы, как низкий уровень оплаты труда, несоответствие объёмов и содержания труда получаемой заработной плате, прогнозируемое отсутствие карьерного роста, что оценивается негативно и обосновано возрастным психологическим состоянием. Сформированная профессиональная траектория часто базируется на идеализированном представлении о реальности и предусматривает только бурный неуклонный карьерный рост. Если идеализированная профессиональная траектория не отвечает реальным ожиданиям, появляется когнитивный диссонанс, возникают фрустрирующие ситуации, существенно усложняется или прекращается процесс абилитации. Перечисленные особенности обусловливают ряд организационно-психологических проблем и усложняют проведение процесса абилитации.

Для успешной реализации функции абилитации необходимо решить целый комплекс задач, в частности: скорректировать матрицу компетенций выпускников адекватно запросам рынка труда; сформировать список вакансий для конкретного специалиста, выделить приоритетные вакансии с учётом субъективных компетенций; удовлетворить запросы работодателей с учётом требований к кандидату; провести сравнительный анализ компетенций специалистов и требований работодателей; систематически корректировать компетентностные модели; активнее привлекать обучающихся к исследовательской и проектной деятельности в процессе реализации подготовки на стадиях «абитуриент — студент» [8].

Абилитация студентов реализуется силами вузов в неразрывной связи с профилирующими предприятиями. Регламентация этого процесса должна быть предусмотрена учебными планами и включает:

формирование профессиональной траектории с учётом всех особенностей и изменений на всех этапах: абитуриент — студент — молодой специалист;

сопровождение обратившихся при реализации их индивидуальных профессиональных траекторий, консультационная помощь при возникновении фрустрирующих ситуаций;

регулярное привлечение студентов на условиях неполной занятости к профессиональной деятельности, что позволяет эффективнее формировать практические компетенции у студентов;

прогнозирование и мониторинг рынка труда, а также формирование предложений от предприятий для вузов в части определения тематики курсовых и выпускных квалификационных работ, содержания спецкурсов, учебных и производственных практик.

Перечисленные элементы институциональной среды позволят обеспечить эффективную и успешную абилитацию студентов и выпускников вузов.

Заключение. Комплексный подход к решению задачи подготовки обучающегося к работе в организациях по выбранной специальности предполагает, в частности, адаптацию к своей будущей профессиональной деятельности на предприятиях выбранного профиля, основы которой закладываются в процессе профессиональной ориентации на этапах подготовки студента.

Ожидание лёгкого профессионального роста, неадекватная оценка необходимых трудозатрат для достижения успеха и самооценка объясняются возрастным психологическим состоянием, а также сформированной профессиональной траекторией, которая базируется на идеализированном представлении о реальности и подразумевает только неуклонный

профессиональный и карьерный рост. При несоответствии реальности ожиданиям возникает когнитивный диссонанс, появляются фрустрирующие ситуации, существенно усложняется или прекращается процесс абилитации.

Все эти особенности приводят к ряду организационно-психологических проблем в процессе адаптации абитуриента, студента и выпускника вуза.

Неадекватная самооценка обучающегося и искажённое представление о будущей профессиональной деятельности являются прямым следствием неадекватной индивидуальной профессиональной траектории.

Реализация программ подготовки обучающихся в соответствии с универсальной моделью помогает решать следующие задачи: корректировать модели компетенций абитуриентов и студентов, адекватные запросам рынка труда; проводить сравнительный анализ компетенций будущих специалистов и требований работодателей; систематически корректировать компетентностные модели; формировать профессиональную траекторию с учётом всех особенностей и изменений на всех этапах: абитуриент — студент — молодой специалист; устранять факторы или причины возникновения фрустрирующих ситуаций; регулярно привлекать студентов к профессиональной деятельности, что позволит эффективнее формировать практические компетенции у студентов.

Таким образом, представленная модель носит универсальный характер и может быть использована в различных практических приложениях, имеющих целью подготовку востребованного в современных условиях выпускника образовательной организации.

Библиографические ссылки

1. **Бранский В.П.** Теоретические основания социальной синергетики // Вопросы философии. 2009. № 4. С. 112—129.

2. **Мешков Н.А., Цибизова Т.Ю.** Реализация инновационных форм обучения в информационно-коммуникационном образовательном пространстве // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 12. С. 16—20.

3. **Попович Л.Г., Гришин Д.С., Шарков А.А.** Синтез институциальной среды в сфере обеспечения занятости с учётом функции абилитации // Научное обозрение: гуманитарные исследования. 2012. № 4. С. 149—154.

4. **Милованов В.П.** Неравновесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация. М.: Эдиториал УРСС, 2001. С. 264.

5. **Шафрин Ю.А.** Информационные технологии. В 2 ч. М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. 378 с.

6. **Неусыпин К.А., Цибизова Т.Ю.** Стратегическое управление организацией: учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 32 с.

7. **Неусыпин К.А.** Разработка способа абилитации студентов и выпускников вузов // Отечественная и зарубежная педагогика. 2013. № 6 (15). С. 43—49.

8. **Цибизова Т.Ю.** О формах преемственности научно-исследовательской деятельности обучающихся в образовательном процессе «школа—вуз» // Вестник Московского государственного областного университета. Сер.: «Педагогика». 2011. № 2. С. 49—55.

Требования по оформлению библиографических ссылок

Список литературных источников, на которые делаются ссылки в тексте статьи, составляется в порядке цитирования и оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1—2003 и ГОСТ Р 7.0.5—2008 (указываются фамилии и инициалы авторов, точное название книги или сборника, издательство, год и место издания, количество страниц в книге, а для журнальных статей — фамилии и инициалы авторов, название статьи, название, год выхода и номер журнала, страницы размещения статьи). Ссылки на иностранную литературу даются на языке первоисточника без сокращений. При ссылке на электронные ресурсы обязательно указывать дату обращения, например, 26.06.2017.

Согласно требованиям зарубежных баз данных список литературных источников необходимо также транслитерировать на латинский шрифт (фамилия и инициалы авторов, название источника публикации и место издания), при этом технические сокращения должны быть переведены с использованием общепринятых обозначений (номер — N, том — V., страницы — P. и т. п.). Для транслитерации русскоязычных наименований можно воспользоваться сервисом http://translit.ru/.

УДК 378.1

Е.В. Чернега
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
О.М. Августан, С.А. Марданов, Д.А. Сергеев
(Mail.ru Group, г. Москва),

evcher66@gmail.com

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ НА БАЗЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «ТЕХНОПАРК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

Рассмотрены способы реализации образовательного процесса в структурах Технопарка МГТУ им. Н.Э. Баумана. Представлены наиболее популярные образовательные программы проекта «Технопарк» и исследованы их особенности: многофункциональность и преемственность. Описаны поэтапная модель реализации процесса опережающей инженерной подготовки и особенности реализации дополнительного образования.

Ключевые слова: система образования; опережающее образование; инженерное образование; образовательные услуги; образовательная технология; дополнительное образование; опережающая инженерная подготовка.

The realization methods of the educational process in the structures of the Technopark MSTU by name N.E. Bauman are considered. The most popular educational programs of the «Technopark» project arere presented and their features (multifunctionality and succession) are studied. A step-by-step model for the implementation of the advanced engineering training process and specifics of the implementation of supplementary education are described.

Keywords: education system; advanced education; engineering education; educational services; educational technology; additional education; advanced engineering training.

Введение. Изменение условий и стереотипов жизни, высокие интеллектуальные и психоэмоциональные нагрузки вносят определённое своеобразие в реформирование системы образования и усложняют становление новых гуманистических идеалов человечества и лучших традиций российских образовательных учреждений [1, 2].

Изучение отечественного и зарубежного опыта формирования системы опережающего образования, а также анализ её организационной структуры и материально-технического обеспечения, сложившихся традиций, форм, методов и содержания подготовки инженеров позволили выделить следующие приоритетные направления опережающего инженерного образования:

— формирование инновационного мышления в экономике для разных категорий производства и менеджмента предприятий на основании глубокого исследования и анализа потребности реализовать трудоустройство членов общества с повышенной конкурентоспособностью в образовательных услугах;

— совершенствование программ комплексной опережающей инженерной подготовки и повышения квалификации лиц с повышенными возможностями путём освоения новых образовательных технологий:

анализа и прогнозирования кадровых потребностей промышленного комплекса России по обучению и переподготовке по перспективным промышленным технологиям;

предпринимательства, менеджмента и государственного управления;

специальных возможностей, а также информационно-компьютерных, современных информационных технологий обучения различных категорий студентов и школьников;

исследовательской и проектной деятельности в общеобразовательной школе;

— совершенствование организационной структуры системы комплексного опережающего инженерного образования, определение

конкретных перспектив её дальнейшего развития [3].

Для повышения эффективности и качества образования необходимо поддерживать и укреплять развитие разнообразных образовательных программ профессионального самоопределения обучающихся в профессионально ориентирующей образовательной среде высшего учебного заведения.

Организация образовательного процесса. Роль образовательных программ профессионального самоопределения и опережающего инженерного образования учащихся состоит в выявлении способных к тому или иному виду научно-технического творчества учащихся, развитии и усилении мотивации к выбору профессии, дальнейшему обучению и, таким образом, в повышении качества подготовки учащихся путём организации и сопровождения практико-ориентирующего обучения [4, 5].

В соответствии с федеральным законом от 29 декабря 2013 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» «Система образования создаёт условия для непрерывного образования посредством реализации основных образовательных программ и различных дополнительных образовательных программ, предоставления возможности одновременного освоения нескольких образовательных программ, а также учёта имеющихся образования, квалификации, опыта практической деятельности при получении образования» (п. 7 ст. 10).

В рамках работы научно-образовательного центра (НОЦ) «Технопарк информационных технологий» в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с компанией Mail.ru к таким образовательным программам можно отнести следующие:

— двухгодичная программа и семестровые курсы для студентов всех факультетов МГТУ им. Н.Э. Баумана на основе конкурсного отбора, непосредственно связанные с профессиональной ориентацией и приобретением практических навыков в области профессиональной деятельности:

лабораторная работа (опыт, эксперимент, сравнение, анализ);

учебно-исследовательская работа (выполнение контрольных заданий, самостоятельная работа);

практико-ориентированная работа (учебный практикум, практика);

научно-исследовательские и проектные работы (семестровая или годовая работа творческого, исследовательского, проектно-технологического характера);

— практико-ориентированная работа в проектах «Техноатом» и «Технополис» для студентов в рамках молодёжных объединений (конструкторских бюро, бизнес-инкубаторов, творческих мастерских), включающая исследовательскую и инновационную деятельность, позволяющая участвовать в реальных разработках работодателей;

— стажёрская программа в подразделениях Mail.ru для студентов, позволяющая перейти в штатные сотрудники организации;

— олимпиада для школьников «Технокубок» (входит в перечень олимпиад Министерства образования и науки Российской Федерации), основной целью которой является выявление наиболее одарённых учащихся, желающих и умеющих учиться, способных самостоятельно творчески мыслить, склонных к исследовательской деятельности, наиболее подготовленных к получению дальнейшего образования;

— лекционный курс, который читают лучшие IT-разработчики и специалисты для студентов технических университетов в целях привлечения обучающихся к участию в освоении новейших технологий и их применении в образовании, науке и профессиональной деятельности, размещаемый в дальнейшем на YouTube-канале «Технострим»;

— летняя школа обучения преподавателей информатики, целями которой являются повышение качества преподавания информатики в школе, подготовка абитуриентов к поступлению, пробуждение интереса к информационным технологиям;

— научно-образовательные программы для молодёжи, осуществляющие многофункциональную комплексную деятельность по образованию, воспитанию и развитию творческих и интеллектуальных способностей молодёжи, представляющие собой подготовку, организацию и проведение различных мероприятий: олимпиад, чемпионатов, конкурсов конференций, школ-семинаров, выставок, школ-лабораторий и т. п.

Все указанные образовательные программы обеспечены учебными планами, рабочими программами и другими учебно-методическими комплексами дисциплин, необходи-

мыми для ведения образовательной деятельности, представляющей множество вариаций векторов образовательных траекторий, предоставляющих возможность для интеллектуального и творческого развития личности.

Исследовательская и инновационная деятельность в рамках реализации образовательных программ Технопарка направлена на удовлетворение личностных потребностей в творчестве, построена в соответствии с учебным планом и расписанием занятий, имеет планируемые результаты, организационно-педагогические условия, конкурсную составляющую и критерии оценки. Профессиональная направленность, творческая составляющая, использование в учебном процессе научных методов, решение актуальных задач расширяют предметную область и позволяют в процессе обучения создать адекватную модель окружающего мира [6, 7]. Форма обучения, основанная на методах научного познания, и порождаемая ею внутренняя мотивация многократно увеличивают продуктивность образовательного процесса.

Целью научно-образовательных программ для молодёжи является воспитание **особо перспективных** молодых людей, способных создавать и внедрять научные новшества, современную технику и высокие технологии в приоритетных отраслях инновационной промышленности и экономики.

При реализации таких программ явно прослеживается преемственность: «школьник — студент — специалист» [8]. Многофункциональность программ предоставляет возможность обучающимся принимать участие в мероприятиях разного уровня, зависящего от их возраста и образования. У каждой программы свои специфика, задачи и формы организации. Переход от одной программы к другой обосновывается конкретной работой (исследования, проект, модель и т. д.) или результатом (участие в соревнованиях, конкурсах, чемпионатах и т. д.). Данная модель имеет систематизирующие факторы: наблюдается законченность каждого этапа и создаются условия для перехода на следующий этап; соблюдается принцип открытости и мобильности; учащимся обеспечивается комфортная эмоциональная среда — «ситуация успеха» и развивающее общение [9].

В федеральном законе «Об образовании в Российской Федерации» под дополнительным образованием понимается: «дополнительное образование — вид образования, который направлен на всестороннее удовлетворение образовательных потребностей человека в интеллектуальном, духовно-нравственном, физическом и (или) профессиональном совершенствовании и не сопровождается повышением уровня образования» (п. 14 ст. 2).

С общих позиций, дополнительное образование можно представить как самостоятельное звено в системе образования и самообразования, которое даёт возможность:

массовости и общедоступности занятий на основе добровольного объединения обучающихся по интересам;

развития инициативы, творчества и самодеятельности личности;

разнообразия образовательных траекторий, соответствующих многовариантности образовательных программ профессиональной ориентации;

преемственности образовательного процесса обучающихся с учётом возрастных, образовательных и индивидуальных особенностей личности.

Поскольку тенденция на повышение качественного уровня образования обусловливает многообразный спектр образовательных интересов личности, которые в условиях формального образовательного процесса удовлетворить в полной мере можно не всегда, в условиях дополнительного образования создаются условия для исследовательской деятельности личности с последующей формой организации самостоятельного творчества, формируя потребность в творческом восприятии мира и осмыслении самого себя в этом мире.

Такая модель организации опережающего инженерного образования как дополнительное образование в условиях Технопарка МГТУ им. Н.Э. Баумана реализует исследовательский подход к организации образовательного процесса, в основу которого положены педагогические принципы поэтапного формирования умений и навыков. Её конечный результат: подготовка функционально грамотной, мобильной личности с высоким уровнем общеобразовательной, трудовой, политехнической подготовки и сформированной общей культурой, с готовностью к профессиональному самоопределению, профессиональной и социальной деятельности.

В качестве основных требований, предъявляемых к образовательным программам до-

полнительного образования, выступают преемственность и вариативность. С учётом этого, создание научно-методической основы дополнительного образования в рамках Технопарка означает:

во-первых, создание необходимых и достаточных условий по выбору дополнительного образования не как дополнения к основному, а как вариативной возможности «расширения» и «пополнения» знаний;

во-вторых, возможность получения образовательной услуги более высокого качества, реализуемой на базе и с использованием ресурсов современного вуза.

Таким образом, определяя социально-педагогический потенциал дополнительного образования целесообразно выделить его отличительные особенности:

возможность расширения образовательного пространства при условии наличия (и многообразия) векторов образовательных программ;

возможность мобильного «входа» и «выхода» личности из образовательного процесса как устойчивого и вместе с тем постоянно расширяющегося личностного образовательного пространства, создающего условия саморазвития и самореализации [10].

Заключение. Развитие системы опережающего инженерного образования будет приобретать инновационно-социализирующую тенденцию своего развития, поскольку как составляющая подсистемы непрерывного образования она отражает ситуацию в экономике, социальной, политической, духовной и культурной сферах современного общества, самой системе образования в условиях постиндустриального этапа развития.

В данном контексте определение сущности такого дополнительного образования заключается в том, что эта система формируется как открытая социально-педагогическая система, призванная осуществлять социальные цели и функции, существенно влияя на потребность в образовании и развитии личности.

Библиографические ссылки

1. **Мешков Н.А., Цибизова Т.Ю.** Реализация инновационных форм обучения в информационно-коммуникационном образовательном пространстве // Качество, инновации, образование. 2011. № 2 (79). С. 16—21.

2. **Александров А.А., Ван С., Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Комплексные инновационные разработки в инжиниринговом центре «Авионика» / В сб. «Современные аспекты фундаментальных наук»: тр. второго междунар. симпозиума. 2015. С. 150—154.

3. **Пролетарский А.В., Неусыпин К.А.** Особенности использования современных информационных технологий в образовании // European Social Science Journal. 2014. № 1-1 (40). С. 63—65.

4. **Цибизова Т.Ю.** Подготовка высококвалифицированных специалистов в системе непрерывного профессионального образования (на примере МГТУ им. Н.Э. Баумана) // European Social Science Journal. 2011. № 2 (5). С. 154—159.

5. **Цибизова Т.Ю., Терехова Н.Ю.** О перспективах развития высшего образования в современных условиях // European Social Science Journal. 2013. № 2 (30). С. 62—67.

6. **Терехова Н.Ю., Брекалов В.Г., Цибизова Т.Ю.** Индивидуализация траектории обучения студента по совместным учебным планам технической направленности в международном образовательном пространстве / В сб. «Инновационное развитие России: условия, противоречия, приоритеты»: мат. IX Междунар. науч. конф. В 3 ч. 2013. С. 437—442.

7. **Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю., Кленин А.И.** Информационная модель выбора стратегии развития образовательного процесса // European Social Science Journal. 2013. № 9-3 (36). С. 61—68.

8. **Терехова Н.Ю.** Инновационная техническая поддержка сложного образовательного продукта // Профессиональное образование и общество. 2016. № 2 (18). С. 129—132.

9. **Александров А.А., Сяофэн В., Пролетарский А.В., Юн Хэ., Неусыпин К.А., Шэнь К.** Разработка концепции комплексного непрерывного обучения с использованием информационных технологий / В сб. «Актуальные проблемы современного российского общества»: тр. междунар. науч.-практ. конф. 2014. С. 34—42.

10. **Орешкина А.К., Цибизова Т.Ю.** Развитие преемственности образовательных процессов в системе непрерывного образования. М.: МГОУ, 2010. С. 228.

Уважаемые читатели!

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении
по каталогу «Пресса России» — **индекс 27838.**

УДК 378

Е.В. Чернега
(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана),
О.М. Августан, С.А. Марданов, Д.А. Сергеев
(Mail.ru Group, г. Москва),
К.В. Марданова
(Санкт-Петербургский государственный экономический университет)

s.mardanov@corp.mail.ru

ДУАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ В РАБОТЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА «ТЕХНОПАРК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

Исследуется дуальный подход в системе высшего профессионального образования как метод инновационной трансформации высшей школы, в основе которого лежит принцип тесного взаимодействия образовательной сферы и индустрии — заказчика кадров нового поколения. Рассматривается работа «Технопарка» МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве успешного примера реализации дуального подхода в российской образовательной системе.

Ключевые слова: дуальное образование; инновационные образовательные технологии; высококвалифицированные специалисты; рынок труда.

The dual approach in the system of higher professional education as a method of higher school innovative transformation based on the principle of close interaction between the educational sphere and industry — customer of the new generation staff us studied. The work of the Technopark of MSTU by name N.E. Bauman as a successful example of implementing a dual approach in the Russian educational system is considered.

Keywords: dual education; innovative educational technologies; highly qualified specialists; labor market.

Всё более активное развитие общества, переход к информационным технологиями и информационной экономике, изменения на рынке труда, произошедшие в последнее десятилетие, всё чаще ставят вопросы подготовки специалистов нового поколения, а также пересмотра сложившихся традиционных подходов в образовательной системе. Выход российского образования на международную арену возможен, в первую очередь, лишь при условии модернизации современной образовательной системы, включающей в себя внедрение инновационных образовательных технологий, а главное, подготовку высококвалифицированных специалистов, которые способны к самореализации и существованию в условиях быстро меняющего современного общества. На сегодняшний день одной из ключевых проблем, с которой сталкивается система высшего профессионального образования при подготовке специалистов, является разрыв между теоретическими знаниями, получаемыми в стенах университета, и практическими навыками, которые ожидают работодатели. Действующие государственные образовательные стандарты, к сожалению, предполагают неравное соотношение теоретического и практического обучения, и как результат, образовательная система построена таким образом, что теория и практика обучения существуют в разрыве друг от друга. Современные исследования в области рынка труда отмечают, что существующая на данный момент традиционная система подготовки специалистов во многом отстаёт от реальных потребностей современного производства и экономики. Низкий процент трудоустройства выпускников по специальности, слабая интеграция образовательной системы и индустрии подтверждают необходимость реформирования существующей системы и ставят вопрос о необходимости формирования новых подходов к подготовке специалистов. Особенно эти вопросы актуальны в IT-индустрии, где развитие технологий идёт семимильными шагами.

По данным экономического мониторинга образования, который проводится по заданию Министерства образования и науки Российской Федерации, доля затрат на доучивание специалистов на предприятии составляет порядка 40 %. С каждым годом этот процент растёт, как и потери компаний, которые не

включены в образовательный процесс. Таким образом, вопрос пересечения интересов индустрии и образовательного учреждения выходит на первый план, так как общность целей системы высшего профессионального образования и индустрии состоит в результатах обучения — подготовке высококвалифицированных специалистов с определённым набором навыков и компетенций. Ведь одной из основных задач любой организации, помимо получения прибыли, является развитие кадрового потенциала организации, а целью высшего учебного заведения — подготовка востребованных специалистов, отвечающих современным требованиям рынка труда. Современные процессы глобализации общества, усиления конкуренции на рынке труда, выход крупных компаний на международный рынок привели к ситуации, когда основным ресурсом и капиталом страны в целом, каждой компании, предприятия или организации является специалист с высоким уровнем компетенций, креативным мышлением и творческим подходом к решению задач.

Одним из наиболее перспективных и одновременно эффективным способом решения данных задач является система дуального образования, которое всё чаще начинает применяться в отечественной системе высшего образования. Под дуальным образованием, как правило, понимается инновационный тип организации профессионального образования, которое предполагает согласованное взаимодействие образовательной и производственной сфер в подготовке специалистов определённого профиля, построенное на единстве трёх методологических оснований: аксиологического (паритетность гуманистических и технико-технологических ценностей и целей), онтологического (компетентностный подход) и технологического (овладение профессиональной деятельностью, системой общественно-профессиональных отношений) [1, с. 11]. В основе дуального образования лежит принцип взаимосвязи теории и практики, который позволяет будущим специалистам ознакомиться не только с теоретической базой, но и применить эти знания на практике путём решения высокотехнологических задач.

Таким образом, подобная технология одновременно отвечает интересам всех участников образовательного процесса: индустрии, учебного заведения и государства. Для индустрии возможность участия в процессе дуального образования — это подготовка специалистов, которые полностью отвечают их требованиям, а также сокращение издержек на подбор и переобучение персонала.

Учебное заведение, со своей стороны, путём использования технологий дуального образования повышает уровень подготовки выпускников и процент их трудоустройства, а также обеспечивает себе хорошую репутацию среди работодателей. Для государства результат подготовки специалистов по дуальной системе обучения, в первую очередь, отражается в снижении уровня безработицы, повышении производительности труда и росте востребованности российских технологий и кадров на международном рынке.

На сегодняшний день система дуального образования является одной из самых эффективных форм подготовки специалистов, которая имеет широкое распространение в ряде государств. В России эта система стала реализовываться лишь в последние годы. Как правило, переход студентов на новую систему образования производится с 3-го курса. К этому времени студенты в полном объёме изучают цикл общеобразовательных дисциплин и получают достаточное количество базовых знаний по специальности. В этом случае дуальная система становится для студентов экспериментальной площадкой, на которой проверяется качество полученных знаний, теоретические знания получают практическую оболочку, что особенно актуально в рамках требований компетентностной модели подготовки специалистов.

Одним из ярких примеров реализации дуальной системы является «Технопарк» МГТУ им. Н.Э. Баумана и Mail.ru Group. Это уникальный проект в российской образовательной системе, в рамках которого у студентов МГТУ есть возможность получить профессиональные навыки, дополнив теоретическую составляющую практической, что позволит студентам стать более востребованными на рынке труда. Основную роль в развитии этих необходимых навыков специалистов играют разработанная система преподавания проекта «Технопарк»: новейшие эффективные методы активного обучения, компьютерные технологии, российский и европейский опыт преподавания не только преподавателей МГТУ им. Н.Э. Баумана, но и сотрудников—преподавателей компании Mail.ru Group, а также использование форсайт-технологий при разработке кейсов и заданий, которые требуют от будущих специалистов высокотехнологичных решений.

Студенты «Технопарка» в рамках основной программы за четыре семестра изучают 15 дисциплин: это примерно 900 ч аудиторной работы и ещё около 600 ч — самостоятельной. В течение первого года преподаватели рассказывают о технологиях разработки, методах анализа качества алгоритмов и программного обеспечения: первый семестр уходит на изучение веб-технологий, алгоритмов и структуры данных, особенностей программирования на C/C++, второй — на программирование на Java (где студенты разрабатывают игровой сервер), СУБД, фронтенд-разработку и проектирование интерфейсов. Второй год посвящён специальным дисциплинам, направленным на развитие профессиональных навыков: проектирование высоконагруженных систем, основы безопасности интернет-приложений, Quality Assurance в разработке программного обеспечения, мобильная разработка, управление продуктом, управление разработкой веб-сервисов, тренинги по soft skills, бизнес- и системный анализ для архитекторов и др. [2, с. 18].

Все курсы уникальные: они разработаны специально для «Технопарка». Каждый семестр разрабатывается новый курс и материал, каждый курс является уникальным и полностью отвечают современным требованиям IT-рынка. Один раз в год в «Технопарке» проходят «Дни карьеры», где студенты встречаются с руководителями направлений Mail.ru Group, общаются, рассказывают о себе и выбирают место для будущей стажировки. Сегодня в Mail.ru Group работает более 50 выпускников «Технопарка».

Подобный проект — живой пример социального партнёрства крупной технологической компании и ведущего технического вуза России, целью которого является подготовка будущих лидеров IT-области на основе дуальной образовательной системы. Анализируя внедрение дуальной системы нельзя не отметить ряд преимуществ. Во-первых, дуальная система образования усиливает практическую направленность специалистов путём внедрения принципа «от практики к теории», таким образом, студент больше сталкивается с производственными задачами и учится применять обширные теоретические знания при решении высокотехнологичных задач. Во-вторых, повышается уровень развития студентов путём приобретения компетенций, востребованных современным обществом и рынком труда. В-третьих, сами работодатели участвуют в оценке качества подготовки специалистов. У работодателей есть уникальная возможность оценить уровень подготовки специалистов непосредственно в производственных условиях. Таким образом, у компании есть возможность самостоятельно создать высокоподготовленный кадровый резерв данной отрасли. В-четвёртых, повышается уровень подготовки преподавателей, которые должны владеть не только теоретическими знаниями, но и на практике уметь их применять, что способствует росту профессионального уровня и развитию творческого потенциала.

На сегодняшний день основной мегазадачей и идеологией системы высшего профессионального образования должна являться система, при которой студенты накапливают и совершенствуют свои знания, умения и навыки на протяжении всего периода обучения, которые позже трансформируются в их конкурентные преимущества на рынке труда. В результате учебные заведения реализуют свою инновационную функцию — опережающая подготовка кадров для индустрии, которые соответствуют новым профессиональным и образовательным стандартам, основанным на компетенциях.

Реализация инновационной образовательной программы, в основе которой лежит дуальный подход, будет способствовать переходу российской системы образования на качественно новый уровень подготовки высококвалифицированных специалистов, отвечающих требованиям современной экономики и востребованных на рынке труда.

Таким образом, можно сделать вывод, что система дуального образования является одной из наиболее востребованных обществом и экономикой, так как согласованное взаимодействие образовательной и производственной сфер при подготовке специалистов является эффективной основой для создания специалистов нового поколения в соответствии с новыми профессиональными и образовательными стандартами, основанными на компетенциях.

Библиографические ссылки

1. **Землянский В.В.** Дуальная система подготовки специалистов как форма интеграции профессионального образования и производства // Интеграция образования. 2010. № 3. С. 9—14.

2. **Волошин Д.А.** Формирование профессиональной направленности студентов в образовательном пространстве проекта «Технопарк» МГТУ им. Н.Э. Баумана: дис. ... канд. пед. наук. М., 2015. 163 с.

УДК 675.03.031.81: 577.15

А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф., **Е.В. Чернышова, Е.Ю. Микова, В.С. Логойда**
(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

elenabok@mail

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Рассмотрен критерий свободы выбора решений, который является основой одноимённого принципа построения технической стратегии и эконометрической модели. Реформы, проведённые на автомобильном транспорте, должны отражаться в информационном обеспечении. При эволюционном развитии системы информационного обеспечения автомобильного транспорта его относительная эффективность со временем имеет тенденцию к уменьшению. Система управления нивелирует отклонения и создаёт условия для развития всей системы в определённом русле. Для поддержания оптимальной эффективности функционирования автомобильного транспорта с помощью информационного обеспечения разработаны три принципа формирования технической стратегии: доминирующей политики, свободы выбора решений и внешнего дополнения. Доказать целесообразность выбора того или иного принципа можно лишь после построения модели и обработки результатов моделирования. Прежде чем строить модель, необходимо определить исходные данные и условия её функционирования.

Ключевые слова: дорожное проектирование; информационное обеспечение; транспорт; автоматизированные системы управления.

The criterion of the choice of solutions choice freedom, which is the basis for the same name principle of the technical strategy and an econometric model construction is considered. Reforms carried out in motor transport should be reflected in information support. At the evolutionary development of the information system for motor transport, its relative effectiveness over time tends to decrease. The control system levels deviations and creates conditions for the development of the entire system in a certain channel. Three principles for the formation of a technical strategy, dominant policy, solutions choice freedom and external addition, to maintain the optimal efficiency of the motor transport functioning with the help of information support is developed. Prove the feasibility of choosing a particular principle can only be after building a model and processing the results of modeling. Before building a model, it is necessary to determine the initial data and the conditions for its functioning.

Keywords: road design; information support; transport; automatic control systems.

Как показали исследования [1], отдельные информационные процессы должны описываться статистическими моделями. В то же время динамичность всей системы не вызывает сомнения. И, наконец, несмотря на кажущееся разнообразие автомобильный транспорт имеет ограниченный выбор систем. Поэтому для анализа выбрана экономическая модель статистической идентификации.

Любое решение следует принимать с учётом того, что через определённое время необходимо будет снова оценивать ситуацию и принимать новое решение, т. е. использовать принцип свободы выбора.

В настоящее время невозможно предвидеть развитие автомобильного транспорта и его информационного обеспечения в дальнейшей перспективе, поэтому в процессе принятия решений необходимо предусмотреть некоторую свободу выбора, так как «жёсткое» решение может быть сорвано в результате непредсказуемых изменений в системе автомобильного транспорта [2]. В действительности реалистичное управление должно лежать в некотором «коридоре» возможных ситуаций. Вызвано это инерционностью изменения показателей функционирования автомобильного транспорта. Быстрота изменения экономической, технической, социальной политики зависит от реальных изменений параметров автомобильного транспорта.

Критерий свободы выбора решений определяется как мера эффективности решений, принимаемых на предыдущем этапе. Радиус

действия R как меры свободы выбора решений можно рассчитать по формуле

$$R^2 = \sum_1^n g_i \left(\delta x_i\right)^2,$$

где g_i — веса переменных величин (определяются методом экспертных оценок); δx_i — решения, принимаемые при $t = 0$.

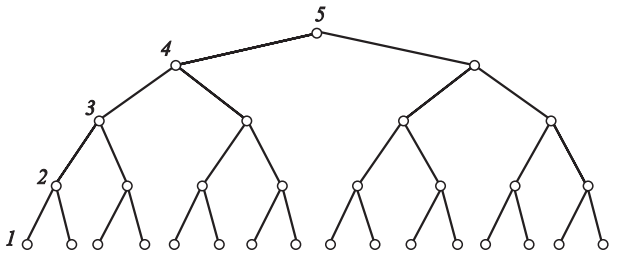

Рис. 1. Схема обобщения конкретных понятий:
1 — конкретное понятие специалиста (ситуация); *2* — обобщение нескольких понятий в группы (микрообобщение); *3* — обобщение нескольких групп в классы (макрообобщение); *4* — суперобобщение; *5* — некоторая абстрактная ситуация

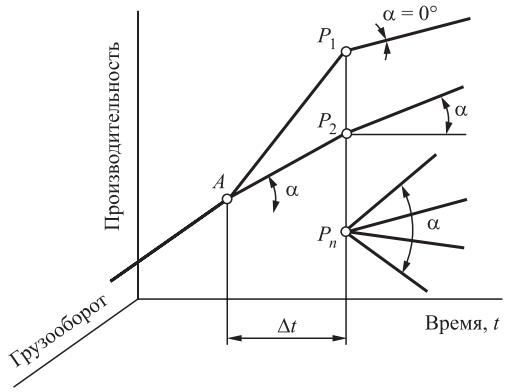

Рис. 2. Гистограмма тематической направленности автомобилизации

Рис. 3. Оценка функционирования автомобильного транспорта с помощью критерия свободы выбора

Сущность критерия свободы выбора заключается в самоорганизации процесса, когда под действием внешней среды из определённого множества точек по принципу селекции происходит отбор *n* точек, т. е. *n* решений. В следующем поколении происходит также отбор *n* решений и т. д. Подробно об использовании этого принципа и составлении модели функционирования автомобильного транспорта будет описано ниже (рис. 1).

С точки зрения информационного обеспечения критерий свободы выбора требует создания широкой сети тематической направленности, большего её разнообразия. Если представить состав информационного обеспечения в виде гистограммы с нормальным законом распределения (рис. 2), построенной на основе использования методики определения оптимальных параметров информационного обеспечения автомобильного транспорта, в которой по оси абсцисс распределена тематическая направленность, а по оси ординат — тираж, то можно чётко определить сферы деятельности различных организаций по видам информационного обеспечения.

Так, специализированные издательства должны выпускать основную массу научно-технической информации, используемой большинством специалистов автомобильного транспорта, остальной литературой должны заниматься научно-исследовательские, проектные и учебные институты [3]. Эти издания не должны уничтожаться, на них должны быть составлены тематические планы, даже несмотря на их экономическую неэффективность в данный момент. В перспективе именно они могут обеспечить необходимую свободу выбора в трудной ситуации.

Сказанное можно проиллюстрировать на схеме критерия свободы выбора (рис. 3).

Главная цель — от бесконечного множества ситуаций прийти к определённому множеству возможных решений [4] (улучшить качество ремонта, типаж подвижного состава, структуру парка, перевести часть ведомственных транспортных средств в транспорт общего пользования или наоборот и т. д.).

При этом роль централизованного научно-технического информационного обеспечения заключается: в создании цепи взаи-

модействия между отдельными конкретными ситуациями и альтернативными решениями руководства; обобщении ситуаций микро-, макро- и суперпонятий; замыкании цепи на уровне принятия решений.

Процесс обобщения понятий от 1 до *n*-го уровня принятия решений можно сравнить с оценкой качества и эффективности информационного обеспечения, проводимого по оценочно-определительным таблицам. По сути, в обоих случаях рассматриваются одни и те же понятия.

Единственным условием для возможности провести между ними аналогию, а следовательно, практически использовать, является равенство количества рассматриваемых уровней принятия решений [5]. Так, в данном случае (см. рис. 1) и в оценочно-определительных таблицах рассматривается пять уровней и пять различных направлений развития системы автомобильного транспорта.

Как видно из схемы, можно рассматривать неограниченное количество понятий и ситуаций. Под понятием можно подразумевать любое направление развития автомобильного транспорта, поэтому тематическая направленность может быть самая разнообразная, а следовательно, нет необходимости введения в таблицу каких-либо ограничений.

Таким образом, каждый уровень схемы можно рассматривать как определяемый уровень управления, а в каждой характеристике оценочно-определительной таблицы каждый пункт также можно рассматривать как уровень управления.

Заключение. В целом оценочно-определительная таблица представляется как схема (см. рис. 1) со всеми уровнями управления в обратном порядке нумерации. Характеристика представляет такую же схему, состоящую из *n* уровней (пунктов). Комплексное рассмотрение оценочно-определительной таблицы и схемы позволяет легче разобраться во всех механизмах взаимодействия автомобильного транспорта и его информационного обеспечения и с меньшими затратами энергии использовать все положительные стороны этого процесса для повышения качества и эффективности функционирования автомобильного транспорта.

Проведённое исследование критерия свободы выбора позволило совместно с методикой определения оптимальных параметров информационного обеспечения автомобильного транспорта построить гистограмму тематической направленности информационного обеспечения и научно-исследовательских работ.

Библиографические ссылки

1. **Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V.** Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision (A.V. Skrypnikov, S.V. Dorokhin, V.G. Kozlov and E.V. Chernyshova) // Journal of Engineering and Applied Sciences. January 2017. Vol. 12. No. 2. С. 511—515.

2. **Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Ермоленко В.В.** Концепция построения компьютерных баз по физическим эффектам // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 11. С. 16—20.

3. **Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Эль Иаали Т.** Технологии безопасности распределенных информационных систем на базе грид-технологий. Тенденции инновационных процессов в науке: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф. М.: РИО ЕФИР, 2015. 200 с.

4. **Скрыпников А.В., Гусев Ю.В., Капустин В.П., Логойда В.С.** Структуризация полученных в сети множеств информации и свойств запросов и алгоритмизации разбиения множеств видов информации на классы: матер. II междунар. науч.-практ. конф. «Стандартизация, управление качеством и обеспечение информационной безопасности в перерабатывающих отраслях АПК и машиностроении». Воронеж, ВГУИТ. 28 окт. 2016. С. 434 — 448.

5. **Дубровин А.С., Сайко Д.С., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю.** Интеграция объектных и реляционных возможностей СУБД ключевых систем информационной инфраструктуры // Фундаментальные исследования. № 9. Ч. 2. С. 253—258.

Уважаемые читатели!

Редакция предлагает руководителям организаций, ищущих новые рынки для реализации своей продукции, услуги по размещению рекламы и объявлений.

Цены за публикацию рекламы умеренные.

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Технологическая интенсификация напряжённого состояния в стеснённых условиях локального нагружения. *Вестник машиностроения.* 2017. № 3.

На основе конечно-элементного моделирования рассмотрено влияние условий нагружения на напряжённо-деформированное состояние упругопластического тела. Предложены схемы нагружения, рассмотрено влияние масштабного фактора в стеснённых условиях деформирования. Результаты позволяют вести поиск конструкции инструмента и схемы нагружения, обеспечивающие упрочнение маложёстких валов в стеснённых условиях деформации.

Прогнозирование предельных значений прочностных показателей хаотически армированных полимерных композитов с антифрикционными дисперсными добавками. *Вестник машиностроения.* 2017. № 3.

Проведено численное моделирование и исследованы зависимости предельных значений прочностных характеристик при одноосном сжатии антифрикционных полимерных композитов от содержания компонентов.

Исследование производительности процесса скругления кромок полимерно-абразивными щётками. *Вестник машиностроения.* 2017. № 3.

Представлены результаты экспериментальных исследований производительности процесса скругления кромки в зависимости от режимов обработки (скорости резания, подачи и применяемой щётки). Установлена связь между производительностью и силой резания.

Влияние параметров процесса дуговой наплавки упрочняющего слоя на свойства поверхности заготовок. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2017. № 3.

Выполнен анализ дуговой наплавки порошковой проволокой на стальную подложку, основанный на физико-математическом моделировании формирования наплавочной ванны. Определены параметры процесса наплавки, при которых минимизируются перемешивание наплавляемого сплава с металлом подложки, а также формирование закалочных структур и возникновение трещин без предварительного подогрева подложки.

Разработка технологии гибки трубопроводов скручиванием зоны изгиба. *Заготовительные производства в машиностроении.* 2017. № 3.

Статья посвящена вопросам разработки нестандартного оборудования для гибки трубопроводов в условиях скручивания зоны изгиба в заготовительном мелкосерийном и крупносерийном производствах в машиностроении.

Совершенствование технологии горячей объёмной штамповки детали «корпус водосчётчика». *Заготовительные производства в машиностроении.* 2017. № 3.

В целях ликвидации дефекта «скрытая трещина» в горячештампованной заготовке детали «корпус водосчётчика», изготовленной из свинцовой латуни ЛС 59-1, в производственных условиях проведено исследование, по результатам которого регламентирован порядок нагрева заготовок перед штамповкой. Путём поэтапной штамповки установлено оптимальное соотношение размеров исходной заготовки, выбран эффективный метод неразрушающего контроля наличия указанного дефекта.

Исследование влияния технологических условий обработки точением режущим инструментом с износостойкими покрытиями на параметры качества поверхностного слоя деталей машин. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2017. № 3.

Рассмотрены характер и степень влияния наноструктурированных покрытий режущего инструмента на параметры процесса резания и качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. Получены уравнения обрабатываемости для расчётного определения оптимальных режимов резания. Разработана методика назначения технологических условий обработки, обеспечивающих требуемые параметры качества поверхностного слоя детали с учётом трибологических характеристик покрытий режущего инструмента.

Теоретическое и экспериментальное исследование метода комбинированного прошивания (протягивания) отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией в условиях применения металлоплакирующих смазок. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2017. № 3.

С учётом параметров очага деформации и явления избирательного переноса при трении уточнена и адаптирована формула А.Л. Воронцова для прогнозирования удельного усилия комбинированного прошивания (протягивания) отверстий инструментом с регулярной микрогеометрией воздействующих поверхностей в условиях применения инновационных металлоплакирующих смазок, реализующих фундаментальное научное открытие «эффект безызносности при трении Гаркунова—Крагельского».

Жаростойкие покрытия на основе сплавов системы Cr—Al. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2017. № 3.

Предложена технология жидкофазного алюминирования хромированной стали с последую-

щим диффузионным отжигом для формирования жаростойких покрытий на основе алюминидов хрома. Представлены результаты исследований влияния режимов алюминирования и диффузионного отжига на кинетику роста и химический состав покрытий.

Модернизация адаптивной фрикционной муфты с бифункциональным управляющим устройством. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2017. № 3.

Приведены результаты исследования модернизированной адаптивной фрикционной муфты с бифункциональным устройством. Показано, что расположение пружин нажимного устройства под острым углом к плоскости вращения муфты повышает номинальный вращающий момент в 1,03...1,41 раза в зависимости от коэффициента усиления.

Методика разработки индуктора и условий индукционной пайки труб. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2017. № 3.

Приведена методика определения конструкции и основных параметров индуктора, обеспечивающего при пайке труб с косостыковой разделкой качественное формирование паяного соединения. Рассмотрены технологические приёмы, обеспечивающие высокую стабильность качества паяных соединений труб с большими размерами сечений.

Квантовые потоки как вихревые сверхструктуры. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2017. № 3.

Исследованы процессы нанесения покрытий на основе соединений переходных металлов (дихалькогенидов, нитридов, карбидов, оксидов) вакуумными ионно-плазменными методами. Обнаружено явление переноса потоков вещества без диссипации энергии вдоль эквипотенциальных поверхностей слоистого анизотропного твёрдого тела с постоянными энергетическими барьерами, определяемыми формой и структурой кристаллических поверхностей в диссипативных системах, с изоэнергетическими уровнями энергии выше уровня Ферми и ниже зоны проводимости, где образуется соответствующая энергетическая щель. Установлено существование подобия между элементарными частицами и закономерности их движения. Следствием подобия частиц является подобие таких явлений, как сверхнизкое трение, сверхпроводимость, сверхтекучесть. Показана возможность образования квантовых потоков в виде сверхструктур на эквипотенциальных поверхностях конденсированных тел.

Оценка возможностей повышения экономичности и экологичности газового двигателя КАМАЗ регулированием его активного рабочего объёма. *Автогазозаправочный комплекс.* 2017. № 3.

Приводятся результаты расчётно-экспериментального исследования возможностей повышения среднеэксплуатационной топливной экономичности и снижения токсичности выбросов газового двигателя КАМАЗ путём отключения части цилиндров. Показано, что при реализации 13-ступенчатого испытательного цикла можно отключением четырёх цилиндров на режимах малых нагрузок ожидать повышения топливной экономичности двигателя до 13,5 %, а также достигнуть снижения удельных выбросов CO, CH соответственно до 35 и 22 % при некотором повышении выбросов оксидов азота по сравнению с показателями полноразмерного двигателя.

Вязкостные характеристики многокомпонентных и эмульгированных топлив. *Автогазозаправочный комплекс.* 2017. № 3.

Истощение запасов нефтяных месторождений и ухудшающаяся экологическая обстановка приводят к необходимости поиска новых альтернативных источников энергии. Показаны преимущества использования топлив растительного происхождения в качестве альтернативных моторных топлив. Исследованы вязкостные характеристики многокомпонентных и эмульгированных топлив.

Практическая реализация энергетических систем с интегрированной электромобильностью. *Автогазозаправочный комплекс.* 2017. № 3.

Одной из важнейших проблем на пути широкой электромобилизации является безопасность и надёжность энергоснабжения, функции которого реализуются электрозаправочной инфраструктурой с экономичной и экологичной зарядкой аккумуляторов. Попробуем разобраться, какой она должна быть в плане использования конкретных устройств, встроенных в интегральную энергосистему.

Фото- и хемилюминесценция углеводородов фракций Абшеронской нефти и обратимое аккумулирование ими световой энергии. *Автогазозаправочный комплекс.* 2017. № 3.

Исследована фото- и хемилюминесценция 50°-ных фракций Абшеронской (морской) нефти и углеводородов её остатка (>500 °C). Рассмотрено влияние термо- и фотовоздействия на их хемилюминесценцию. Установлено, что под действием фотооблучения происходят фотофизические и фотохимические процессы, эффективность которых увеличивается с увеличением температуры кипения фракций. Выявлено, что растворы всех фракций обладают переменной люминесценцией, которая в наиболее высококипящей фракции приобретает многие цвета радуги. Установлены радикальные и молекулярные механизмы термохемилюминесценции и фототермохемилюминесценции, обратимое аккумулирование световой энергии и её высокая эффективность в высококипящих фракциях Абшеронской нефти.