

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Щедринов А.В., Сериков С.А., Колмыков В.В. Автоматическая система ограничения раскачивания груза ...	3
Носов О.А., Васечкин М.А. К расчёту подшипников,питаемых через пористую поверхность	9
Морозова Е.В., Редько С.Г. Модели и алгоритмы имитации технологических процессов производства стеклотары ...	11
Петриченко Г.С., Дудник Л.Н. Выбор параметров контроля технического состояния для цифровых блоков корпоративной сети на основе использования методов факторного анализа	16

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Егорова А.А., Акчурин М.Р. Направления развития автоматизации процессов управления и мотивации персонала на предприятии	22
Шумилов В.Ф., Шумилова Н.И. Метод плавнойстыковки режимов в управляемых системах	26
Чернышев А.Б. Интерпретация критерия абсолютной устойчивости для нелинейных распределённых систем	28
Янишевская А.Г., Иволгин А.А. Модернизация структуры сетей сотовой связи	32

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Ерошкин С.Ю. Вопросы научно-технологического прогнозирования экономики	40
---	----

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов	47
-----------------------------	----

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Shchedrinov A.V., Serikov S.A., Kalmynkov V.V. Automatic system of the load swinging restriction	3
Nosov O.A., Vasechkin M.A. Calculation of the bearings with nutrition through porous surface	9
Morozova E.V., Redko S.G. Models and algorithms for technological processes imitation of the empty bottles and jars production	11
Petrichenko G.S., Dudnik L.N. Technical state control parameters choice for corporative net digital blocks from a utilization of the factor analysis methods	16

MODERN TECHNOLOGIES

Egorova A.A., Akchurin M.R. Development direction for process automation of personnel control and personnel motivation on enterprise	22
Shumilov V.F., Shumilova N.I. Smooth regime mating method in the control systems	26
Chernyshov A.B. Absolute firmness criterion interpretation for non-linear distributed systems	28
Yanishevskaya A.G., Ivolgin A.A. Structures modernization of the honeycomb connection nets	32

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Eroshkin S.Yu. Questions of the economy scientific-technological prediction	40
--	----

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review	47
--------------------------	----

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499) 269 4897, по e-mail realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок (499) 269 6600, 269 5298

Художественный редактор *Галицина Т.Н.*
Компьютерный набор *Путинов В.Н.*
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А.*

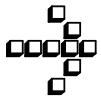
Набрано в ФГУ “Научно-исследовательский институт –
Республиканский исследовательский
научно-консультационный центр экспертизы”
123995, Москва, ул.Антонова-Овseenко, 13.Тел.: (499) 795 1789

Сдано в набор 27.11.09. Подписано в печать 27.01.10.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч.изд.л.6,85. Заказ 88. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»
142110, Московская обл., г.Подольск,
ул.Кирова, 15

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

ООО «Издательство Машиностроение»,
«Автоматизация и современные технологии», 2010 г.



УДК 681.52

А.В. Щедринов, канд. техн. наук, проф. (Липецкий филиал Международного института компьютерных технологий), **С.А. Сериков**, канд. техн. наук, **В.В. Колмыков**
(ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат»)

kolmykov_vv@mail.ru

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ РАСКАЧИВАНИЯ ГРУЗА

Рассмотрены автоматические системы успокоения колебаний груза, транспортируемого мостовым краном. Проведён анализ существующих систем управления. Предложена автоматизированная система, содержащая модель груза в системе регулирования.

Ключевые слова: мостовой кран, колебания груза, система ограничения раскачивания, электропривод, автоматическая система регулирования, математическая модель, корректирующий сигнал, показатель качества.

Swinging quieting automatic systems for load transporting by bridge crane are considered. Analysis of existing control systems was carried out. Automatic system comprising load model in the adjustment system is proposed.

Key words: bridge crane, load swinging, system of swinging restriction, electric drive, automatic adjustment system, mathematical model, corrective signal, quality index.

На промышленных предприятиях наиболее распространённым и универсальным подъёмно-транспортным механизмом является мостовой кран. Обеспечивая технологический процесс доставкой сырья и полуфабрикатов, осуществляя транспортировку готовой продукции или участвуя в монтаже, краны являются важным звеном технологического процесса, нередко определяющим производительность основной технологической линии.

Минимизация колебаний при перемещении груза является серьёзным резервом повышения производительности. Поэтому одной из перспективных задач рационального управления механизмами кранов является разработка автоматических систем управления, способствующих эффективному гашению колебаний груза.

В настоящее время разработаны способы, обеспечивающие автоматическое успокоение колебаний груза. При их использовании крановщик подаёт только начальный командный сигнал, а движение механизма автоматически формируется системой управления электроприводом.

Один из таких способов заключается в поддержании постоянного ускорения точки подвеса в течение времени, кратного периоду собственных колебаний груза [1]. Недостатком является сравнительно большое время переходного процесса, кратное периоду собственных колебаний груза.

Другой способ [1] заключается в формировании закона изменения ускорения на трёх времен-

ных интервалах. На первом и третьем интервалах поддерживается одинаковое постоянное ускорение, на втором интервале ускорение равно нулю. Продолжительность первого и третьего интервалов одинакова (поэтому на каждом из них изменение скорости равно половине разности между конечной и установившейся скоростью). Общая длительность первых двух интервалов составляет половину периода колебания груза. Недостатком описанного способа является также сравнительно большое время переходного процесса, хотя оно и меньше, чем при поддержании постоянного ускорения точки подвеса.

В более сложных системах автоматического успокоения колебаний используются датчики угла отклонения груза, что позволяет с помощью специальных компьютерных программ осуществлять противодействие возникающей силе раскачивания в автоматическом режиме. Примером является запатентованная система управления портовыми кранами *SmartCrane*, использующая датчик угла отклонения для компенсации колебаний, вызванных ветровыми нагрузками (при работе на открытом воздухе) и возникающих при подъёме груза [2].

Одной из систем, способной осуществлять высокоточное, быстрое и плавное передвижение груза с полным отсутствием раскачивания, является система автоматического регулирования колебаний *HIPAC* (*Highly Intelligent Pendulum and Automation Control*) фирмы «Siemens».

Принцип работы системы *HIPAC* заключается в том, что задание на скорость при горизонтальном перемещении груза формируется микропроцессорной системой *HIPAC* на основании актуальной величины угла отклонения груза и скорости передвижения тележки. *HIPAC* корректирует задание на скорость передвижения тележки, влияя на ускорение при отклонении груза от равновесия [3]. Угол отклонения груза от вертикальной оси изменяется специализированной системой с камерой *SIMATIC VS710*, регистрирующей угол отклонения луча, излучаемого внешним источником света от рефлектора, укреплённого на грузозахвате.

Применение системы *HIPAC* позволяет ограничить раскачивание груза. Однако существует ряд недостатков, препятствующих внедрению подобных систем на отечественных промышленных предприятиях. Во-первых, высокая стоимость комплекта оборудования для установки системы *HIPAC* (процессорный модуль *HIPAC*, камера и отражатель). Во-вторых, применение сложного датчика отклонения груза ухудшает надёжность системы.

Недостатки рассмотренных способов подавления колебаний приводят к тому, что разработка доступной и эффективной автоматической системы гашения колебаний транспортируемого груза в подъёмно-транспортных механизмах является актуальной задачей.

Решение задачи гашения колебаний груза, транспортируемого мостовым краном, заключается в формировании такого закона управления скоростью электроприводов моста и тележки, чтобы после достижения заданной скорости колебания груза были минимальными, а амплитуда колебаний по возможности ограничивалась в переходных процессах пуска и торможения. Для этого в систему управления приводов тележки и моста вводится корректирующий сигнал, пропорциональный величине отклонения груза от положения равновесия в соответствующей плоскости движения (моста, тележки) и полученный по математической модели системы «точка подвеса – груз» [4]:

$$\frac{d^2x_0}{dt^2} + \frac{K_{\text{св}}}{m_r} \frac{dx_0}{dt} + \left(1 + \frac{m_r}{m_t}\right) \frac{g}{l_p} x_0 = a_t;$$

$$\frac{d^2y_0}{dt^2} + \frac{K_{\text{св}}}{m_r} \frac{dy_0}{dt} + \left(1 + \frac{m_r}{(m_t + m_r)}\right) \frac{g}{l_p} y_0 = a_m,$$

где $K_{\text{св}}$ – коэффициент сопротивления воздуха; x_0, y_0 – отклонение груза от положения равновесия в плоскостях движения тележки и моста; m_r, m_t – масса груза и тележки соответственно; a_t, a_m – ускорение двигателя тележки и моста; l_p – длина подвеса.

Для реализации такого способа управления требуется наличие замкнутой цифровой системы регулирования координатами электропривода. Наиболее

перспективными представляются частотно-регулируемые приводы переменного тока с микропрограммным управлением. Характерной тенденцией автоматизированного электропривода является широкое применение асинхронных двигателей. В настоящее время наиболее перспективным и экономичным методом управления привода переменного тока представляется привод с векторным управлением. Наиболее распространённой системой векторного управления является система с косвенной ориентацией вектора потокосцепления ротора [5]. Подобная система реализована в приводах фирм «Siemens» (*Simovert, Sinamics*), Германия; «Schneider» (*Altivar*), Франция; «Allen Bradley» (*Power Flex*), США и др.

На рис. 1 приведена структурная схема электромеханической системы мостового крана с включённой в систему регулирования моделью раскачивающегося груза. На основании вычисленных значений ускорений моста a_m и тележки a_t (сигнал с задатчика интенсивности), а также измеренных с помощью датчиков длины подвеса l_p и массы груза m_r строится математическая модель раскачивающегося груза, по которойрабатываются корректирующие сигналы для привода передвижения моста $U_{\text{кор. м}}$ и привода передвижения тележки $U_{\text{кор. т}}$.

Математическая модель раскачивающегося груза программно реализована на управляющем контроллере, осуществляющем управление движением крана. Корректирующий сигнал поступает на вход регулятора скорости и позволяет воздействовать на скорость привода при отклонении груза от положения равновесия.

В начальный момент пуска точка подвеса груза разгоняется с постоянным ускорением, определяемым величиной уставки задатчика интенсивности. При этом груз под действием сил инерции отклоняется от вертикального положения в плоскостях движения тележки x_0 и моста y_0 . Движение груза с ускорением приводит к появлению ненулевого корректирующего сигнала, уменьшающего задание на входе регулятора скорости. В какой-то момент величина задания, поступающего на регулятор скорости, становится достаточной для того, чтобы регулятор скорости вышел из режима ограничения, причём это происходит до достижения приводом заданной скорости. Следовательно, в конце переходного процесса уменьшается ускорение привода, и груз достигает точки подвеса. В результате после завершения переходного процесса отклонение груза практически отсутствует.

Введение в систему регулирования приводов передвижения моста и тележки корректирующих сигналов позволяет значительно снизить колебания груза (рис. 2, 3). Раскачивание груза ограничивается за счёт того, что регулятор скорости вследствие действия корректирующего сигнала выходит из ограничения до достижения заданной

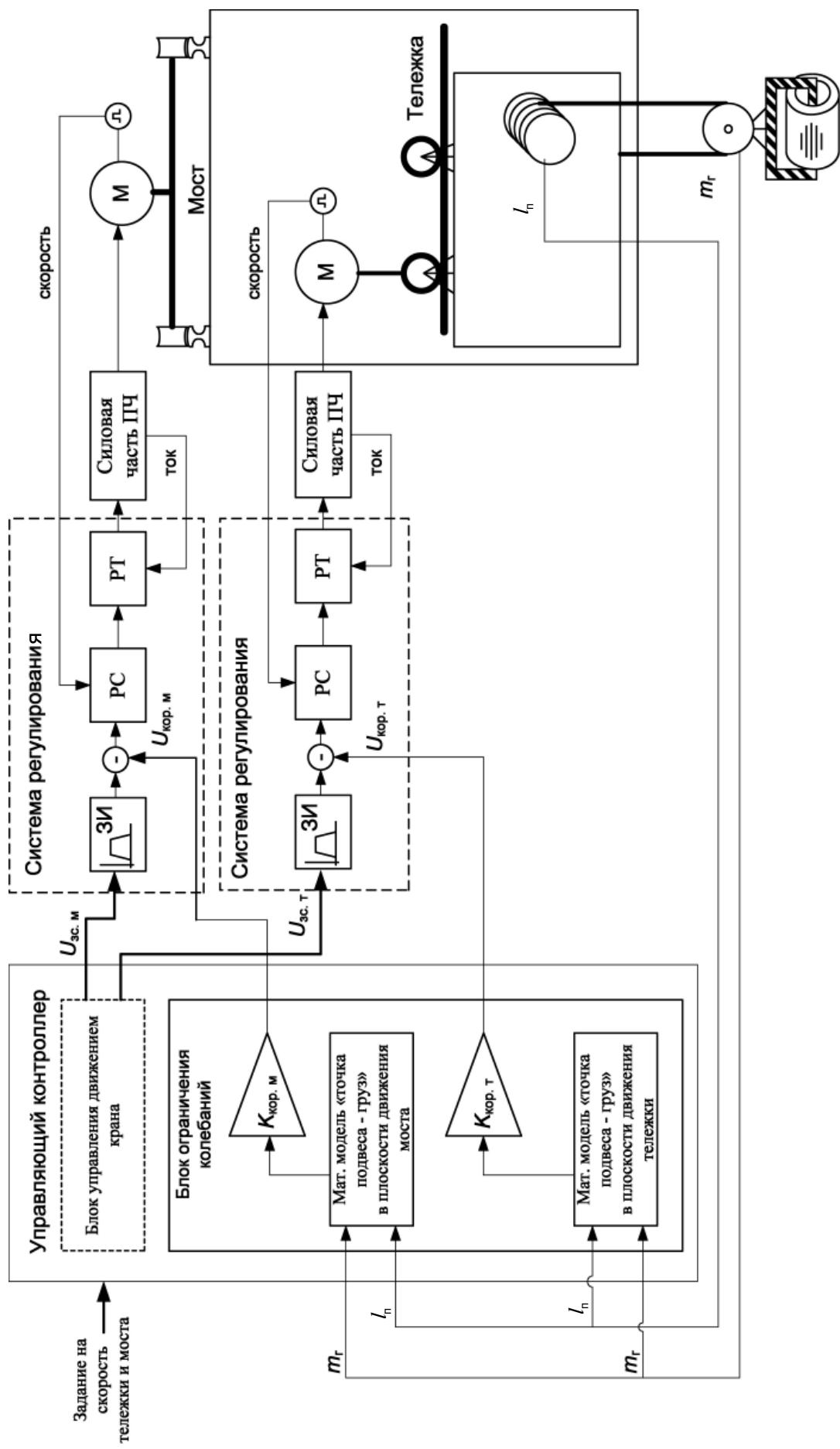


Рис. 1. Автоматическая система ограничения колебаний груза:

$U_{зс. м}, U_{зс. т}$ — задание на скорость моста и тележки соответственно; ЗИ — задатчик интенсивности; РС — регулятор скорости; РТ — регулятор тока; ПЧ — преобразователь частоты

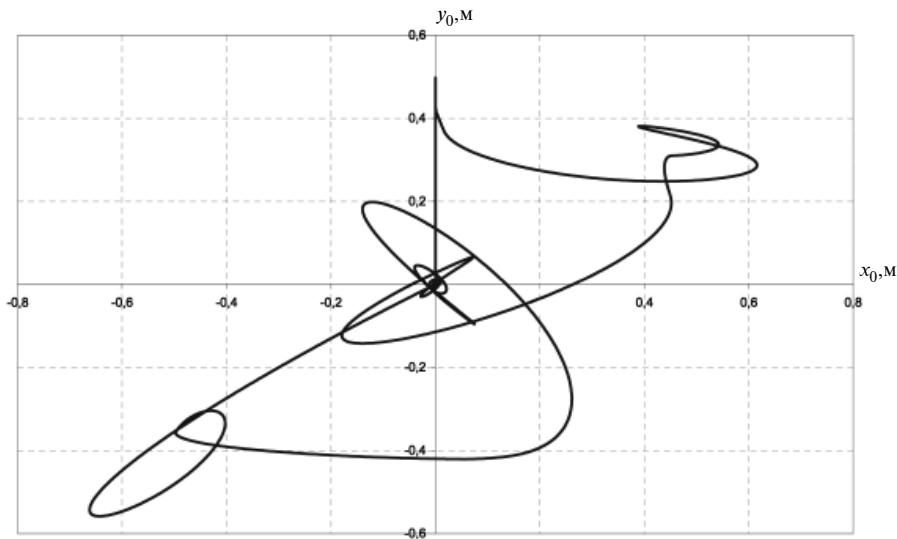


Рис. 2. Колебания груза в плоскости x_0y_0 , неподвижной относительно точки подвеса (в системе без коррекции)

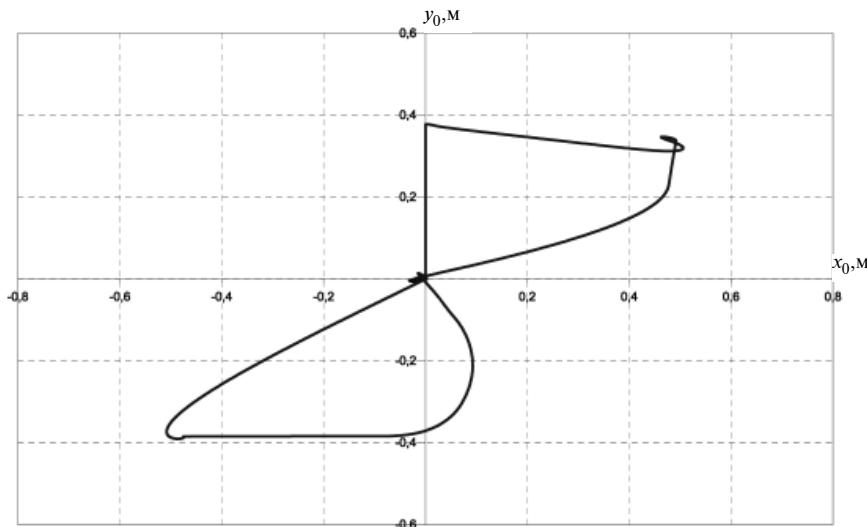


Рис. 3. Колебания груза в плоскости x_0y_0 , неподвижной относительно точки подвеса при введении в систему управления корректирующего сигнала

скорости. При пуске ускорение (положительное) уменьшается, а при торможении (отрицательное) – увеличивается. В результате происходит выравнивание груза относительно положения равновесия. Снижение колебаний груза зависит от времени выхода регулятора скорости из ограничения, а следовательно, от величины корректирующего сигнала. Влияние корректирующего сигнала на систему регулирования определяется величиной коэффициентов коррекции ($K_{\text{кор.т}}$ – для привода тележки, $K_{\text{кор.м}}$ – для привода моста), рассчитываемых по формулам (1) и (2) для системы управления приводами тележки и моста.

При увеличении коэффициента коррекции уменьшаются колебания, но при этом увеличивается время переходного процесса. Оптимальное

значение коэффициента коррекции определяется из соображения, что максимальному значению корректирующего сигнала должно соответствовать максимальное значение отклонения груза. При этом значение коэффициента коррекции предлагается определять по формулам

$$K_{\text{кор.т}} = \frac{\Omega_x^2}{2a_t} = \frac{T_{\text{зи.т}} g \left(1 + \frac{m_r}{m_t} \right)}{2v_{\text{н.т}} l_{\text{п}}}; \quad (1)$$

$$K_{\text{кор.м}} = \frac{\Omega_y^2}{2a_m} = \frac{T_{\text{зи.м}} g \left(1 + \frac{m_r}{m_t + m_m} \right)}{2v_{\text{н.м}} l_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где Ω_x , Ω_y – частота колебаний груза в плоскостях движения тележки и моста; $T_{зи.т}$, $T_{зи.м}$ – время выхода на заданную скорость (параметр задатчика интенсивности); $v_{н.т}$, $v_{н.м}$ – номинальная скорость движения тележки и моста.

Для оценки справедливости формул расчёта оптимального коэффициента коррекции исследуем влияние величины коэффициента коррекции на степень затухания колебаний груза и время завершения переходного процесса при различных значениях массы груза и длины подвеса на примере формулы (1). При этом воспользуемся математической моделью электромеханической системы мостового крана (см. рис. 1), построенной в приложении Simulink пакета программ Matlab 6.5.

При анализе используются следующие показатели: колебательности – λ ; амплитуды – α ; быстродействия – v ; качества – γ .

Показатель колебательности позволяет оценить снижение колебаний в системе с корректирующим устройством по сравнению с системой без коррекции:

$$\lambda = K_{\text{кол}} / K_{\text{кол}0},$$

где $K_{\text{кол}}$, $K_{\text{кол}0}$ – коэффициенты колебательности в системе с коррекцией и без коррекции.

Коэффициент колебательности характеризует суммарный угол отклонения груза от положения равновесия:

$$K_{\text{кол}} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{|x_0(t)|}{l_{\text{п}}(t)} dt.$$

Показатель амплитуды позволяет оценить снижение максимальной амплитуды колебаний в системе с коррекцией по сравнению с системой без коррекции:

$$\alpha = A_{\text{max}} / A_{\text{max}0},$$

где A_{max} , $A_{\text{max}0}$ – максимальная амплитуда колебаний груза в системе с коррекцией и без коррекции.

Показатель быстродействия характеризует увеличение времени переходного процесса при введении в систему регулирования корректирующего устройства:

$$v = T_{\text{пп}} / T_{\text{пп}0},$$

где $T_{\text{пп}}$, $T_{\text{пп}0}$ – время переходного процесса в системе с коррекцией и в системе без коррекции.

Показатель качества характеризует оптимальность настройки системы регулирования и показывает снижение амплитуды и увеличение степени затухания колебаний груза больше, чем увеличение времени переходного процесса:

$$\gamma = 1 / \alpha \lambda v.$$

Таким образом, этот показатель определяет целесообразность применения корректирующего сигнала в системе регулирования.

На рис. 4 приведены кривые зависимости принятых показателей от величины коэффициента коррекции. Кривые получены перебором значений коэффициента коррекции в математической модели. Анализ кривых показывает, что при введении в систему регулирования корректирующего сигнала амплитуда колебаний уменьшается, суммарный угол отклонения становится меньше, но возрастает время переходного процесса при достижении заданной скорости. При увеличении значений коэффициента коррекции показатели амплитуды и колебательности снижаются (колебания груза уменьшаются), а показатель быстродействия возрастает (переходный процесс затягивается). Следовательно, функция показателя качества имеет экстремум, в котором коэффициент коррекции имеет оптимальное значение. Причём показатель качества для оптимального значения коэффициента коррекции имеет большее значение, чем в системе без коррекции (значение показателя качества больше единицы). Дальнейшее увеличение значения коэффициента коррекции ухудшает показатель качества и, при больших его значениях настройка системы будет хуже, чем в системе без коррекции ($\gamma < 1$).

Таким образом, для заданных значений массы и длины подвеса существует такой коэффициент коррекции, при котором обеспечивается наилучшее соотношение степени снижения колебаний груза и увеличения времени переходного процесса. Следует отметить, что даже если оптимальное значение коэффициента коррекции не определено (например, при неточности математической модели), то введение корректирующего сигнала в систему регулирования улучшает свойства системы при $\gamma > 1$.

На рис. 5 приведены кривые зависимости показателя качества от длины подвеса и массы транспортируемого груза, рассчитанные по формуле (1), а также точки, соответствующие оптимальным значениям показателя качества.

Анализ графиков показывает, что экспериментальные и расчётные значения оптимальной величины коэффициента коррекции практически полностью совпадают. Таким образом, для определения оптимального значения коэффициента коррекции для системы регулирования привода тележки мостового крана справедлива формула (1). Аналогичные результаты получены для электропривода моста, что подтверждает справедливость формулы (2).

Применение способа ограничения раскачивания груза с оптимальной настройкой блока ограни-

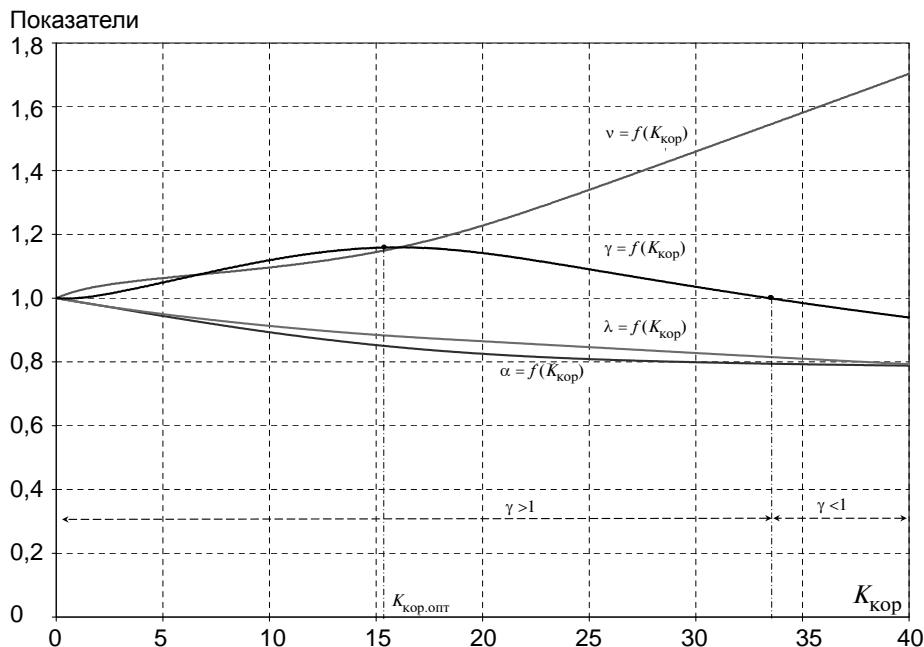


Рис. 4. Определение оптимального коэффициента коррекции

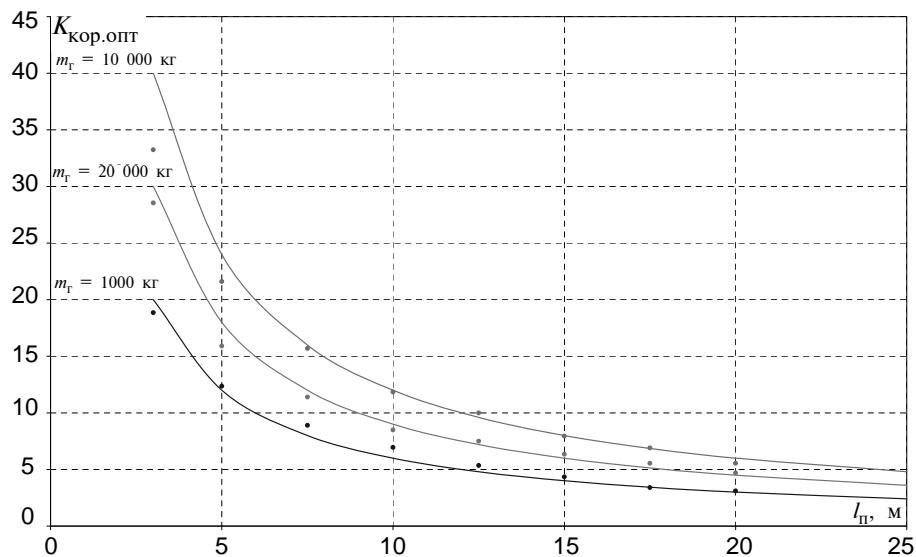


Рис. 5. Расчётные и экспериментальные зависимости оптимальных значений коэффициента коррекции от длины подвеса

ничения колебаний позволит быстро гасить колебания груза, транспортируемого мостовым краном, что, во-первых, упростит операции позиционирования груза, а во-вторых, снизит нагрузку на привод и механическую конструкцию крана.

Библиографические ссылки

1. **Масандилов Л.Б., Фесенко Ю.И.** Анализ оптимального управления электропривода механизма перемещения груза // Тр. МЭИ. 1975. Вып. 223. С. 54–58.

2. **Smart Crane Automation for Container Handling.** URL: <http://www.smartcrane.com>.

3. **HIPAC pendulum control. Operation instructions – 2003:** <http://www.automation-drives.ru>.

4. **Сериков С.А.** Способ успокоения колебаний груза, транспортируемого мостовым краном // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 9. С. 16–18.

5. **Терехов В.М., Осипов О.И.** Система управления электроприводами: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 304 с.

УДК 621.822

О.А. Носов, д-р техн. наук, проф., **М.А. Васечкин**, канд. техн. наук, доц.
(Воронежская государственная технологическая академия)

vmax77@mail.ru

К РАСЧЁТУ ПОДШИПНИКОВ, ПИТАЕМЫХ ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Предложена упрощённая зависимость для описания поля давления в смазочном слое, образованном за счёт истечения сплошной газовой среды сквозь пористую поверхность, которая может быть положена в основу математической модели.

Ключевые слова: газовая смазка, подшипники скольжения, несущая прослойка, моделирование.

Simplified dependence for description of the pressure field in the lubricating film is proposed. This lubricating film is generated owing by the continuous gas medium outflow through porous surface. Proposed dependence may be assumed as a basis of the mathematical model.

Key words: gas lubrication, journal bearing, climbing interlaying, modeling.

За последнее десятилетие в различных отраслях промышленности широко применяются постоянно развивающиеся электронные средства автоматизации. Эти средства обеспечивают точную передачу сигнала, обладают высоким быстродействием и способны передавать сигнал на большие расстояния без использования промежуточных усилителей или иных специальных устройств. Однако основным преимуществом электронных средств автоматического управления, учитывая их постоянное развитие, является относительно невысокая стоимость и широкая распространённость.

Ранее получена зависимость, характеризующая распределение давления в под пятнике, питаемом через пористую поверхность*. Использование данной зависимости в инженерных расчётах создаёт некоторые математические затруднения.

Рассмотрим под пятник (см. рисунок), питаемый через пористую поверхность и включающий опорную площадку 1, пористую поверхность 2 и пневмокамеру 3. Авторы предложили упрощённую зависимость для описания поля давления в смазочном слое, образованном за счёт истечения сплошной газовой среды сквозь пористую поверхность, вывод которой сводится к решению следующей системы дифференциальных уравнений, записанной в цилиндрических координатах r и z :

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial r} = \mu \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}; \\ \frac{\partial P}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

* Константинеску В.Н. Газовая смазка. М.: Машиностроение, 1968.

где P – давление в смазочном слое, Па; μ – динамическая вязкость воздуха, $\text{Па}\cdot\text{s}$; U – скорость воздуха в прослойке, м/с.

Для данной системы запишем следующие граничные условия:

$$U = 0 \text{ при } z = 0; \quad (2)$$

$$U = 0 \text{ при } z = h,$$

где h – толщина смазочного слоя, м.

В результате решения системы (1) с учётом граничных условий (2), получено выражение

$$U = \frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial r} (-hz + z^2).$$

Расход газовой среды в кольцевом сечении радиусом r определяется из выражения

$$Q = q\pi r^2, \quad (3)$$

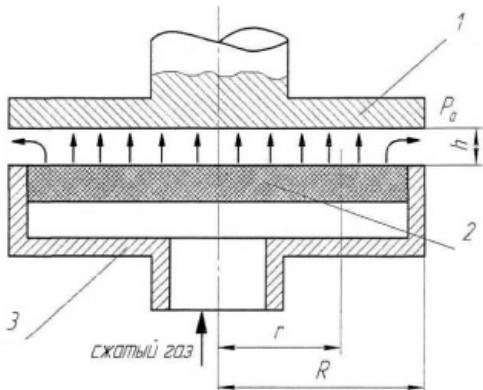
где q – расход газовой среды, приходящейся на 1 m^2 пористой поверхности, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расход q определяется из выражения

$$q = \frac{Q_a}{\pi R^2} \quad (4)$$

где Q_a – расход газа, необходимый для удержания тела на прослойке, $\text{м}^3/\text{с}$.

После некоторых преобразований с учётом граничных условий $r = R$ при $P = P_a$ из уравнения (3) получим выражение



Подпятник, питаемый через пористую поверхность

$$P = \frac{3\mu q}{h^3} (-r^2 + R^2) + P_a .$$

Суммарное давление, оказываемое на изделие, равно весу изделия:

$$G = \frac{3\pi\mu q R^4}{2h^3} .$$

Расход газа, необходимый для удержания тела весом G , определяется по формуле

$$Q_a = \pi R^2 q .$$

С учётом выражения (4) зависимость для определения расхода Q_a будет выглядеть следующим образом:

$$Q_a = \frac{2}{3} \frac{G h^3}{R^2 \mu} . \quad (5)$$

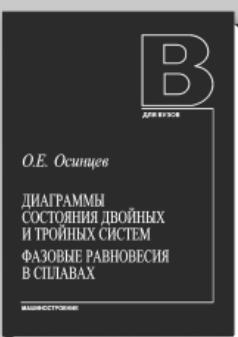
Из выражения (5) определим высоту прослойки

$$h = \sqrt[3]{\frac{3Q_a R^2 \mu}{2G}} . \quad (6)$$

Учитывая зависимость (6), выражение, характеризующее поле давления в смазочном слое подпятника, примет вид

$$P = \frac{2G}{\pi} \left(\frac{1}{R^2} - \frac{r^2}{R^2} \right) + P_a .$$

Полученная зависимость совместно со специальным программным обеспечением может быть использована как основа модели для создания системы управления повышенного быстродействия и приемлемой точности.



O.Е. Осинцев
ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ И ТРОЙНЫХ СИСТЕМ. ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СПЛАВАХ

ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ И ТРОЙНЫХ СИСТЕМ. ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СПЛАВАХ:

учебное пособие

О.Е. Осинцев

М.: Машиностроение, 2009 – 352 с.: ил.

Цена 550 р.

Рассмотрены двойные и тройные диаграммы состояния металлических систем. Изложена методика построения изотермических и политермических разрезов и анализа фазовых превращений в различных сплавах, приведена их структура. Рассмотрены теоретические основы термодинамики в ее приложении к изучению фазовых равновесий. С использованием метода геометрической термодинамики проведен анализ двойных диаграмм состояния. При анализе трехкомпонентных диаграмм состояния с двойными и тройными промежуточными фазами с несколькими четырехфазными нонвариантными реакциями использованы структурные схемы фазовых равновесий.

Для студентов машиностроительных и metallургических вузов, специализирующихся в области материаловедения, термической обработки, порошковых, композиционных материалов и защитных покрытий и других смежных специальностей. Может быть полезно аспирантам и широкому кругу научных работников в области металловедения.

Приобрести книгу по цене издателя можно, прислав заявку в ООО “Издательство Машиностроение” в отдел продаж, маркетинга и рекламы:
по почте: 107076, г. Москва, Строгановский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительную информацию можно получить по телефонам: (499) 269-66-00, 269-52-98 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 658.012.011.56

Е.В. Морозова (Камышинский политехнический институт Волгоградского государственного технического университета), **С.Г. Редько**, д-р техн. наук, проф. (Санкт-Петербургский политехнический университет)

konvert@yandex.ru

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИМИТАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОТАРЫ

Изложены результаты декомпозиции процесса функционирования механизированной линии при производстве стеклянной тары (стеклотары) на ряд структурных элементов – технико-технологических подсистем. Описаны модели и алгоритмы имитации технологических процессов производства. В результате синтеза моделей подсистем получена целостная вероятностная имитационная модель процесса изготовления стеклотары, которая может быть использована при решении задач управления производством.

Ключевые слова: модель, алгоритм, технологический процесс.

This paper presents the decomposition results of the functioning process for the empty bottles and jars mechanized line production to structural components line – technician-technological subsystems. Models and algorithms for technological processes imitation are described. From a subsystems models synthesis integral probabilistic simulation model of the empty bottles and jars manufacturing process is derived. This model may be used when tasks decision for production management.

Key words: model, algorithm, technological process.

В последние годы производство стеклотары усложняется, сокращается время вывода новой продукции на рынок, что требует совершенствования методологии и технологии управления. Следует, с одной стороны, систематизировать подходы к управлению производством стеклотары, а с другой – ускорить решение стоящих перед предприятием производственных задач. Их возросшая сложность диктует необходимость активного использования вычислительной техники, что позволяет персоналу, освободившись от выполнения расчётов операций, сконцентрироваться на принятии управленийских решений. Моделирование при этом является весьма эффективным способом подбора оптимальных параметров структуры и функционирования стеклотарного производства. Процесс изготовления стеклотары можно описать с помощью различных моделей. Выбор модели зависит от решаемой задачи управления производством.

Практическое значение работы заключается в разработке автоматизированного инструментария в виде имитационной модели, позволяющей оптимизировать параметры функционирования оборудования и на этой основе устанавливать пропускную способность отдельных технологических звеньев, плановые нагрузки на механизированные линии стеклотарного производства, обосновывать условия достижения и поддержания необходимой интенсивности производства и требуемого для этого парка оборудования.

Рассмотрим процесс производства стеклянной тары, представляющий собой довольно сложный непрерывный процесс превращения сырьевого материала (шихты и стеклобоя) в готовую к использованию продукцию (см. рисунок). Производство стеклотары состоит из следующих основных технологических процессов: загрузки шихты и стеклобоя в стекловаренные печи, стекловарения, выработка стеклоизделий, отжига, сортировки и упаковки стеклоизделий [1].

На основе системного подхода процесс функционирования технологической линии стеклоторного производства можно представить в виде ряда взаимосвязанных структурных элементов технико-технологических подсистем (ТТП) стеклобработки: T_1 – «Загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренные печи», T_2 – «Стекловарение», T_3 – «Выработка стеклоизделий», T_4 – «Отжиг», T_5 – «Сортировка», T_6 – «Упаковка стеклоизделий» [2]. Каждая подсистема соответствует технологическим процессам, выполняемым определённым видом и типом оборудования, которое в свою очередь может принимать определённые технологические состояния (табл. 1). Дальнейшая декомпозиция этих подсистем позволяет выделить подсистемы низшего уровня: подсистема T_1 включает подсистемы низшего уровня $T_{1.1}$ – «Подача стеклобоя в расходный бункер», $T_{1.2}$ – «Подача шихты и стеклобоя в бункер загрузчиков шихты», $T_{1.3}$ – «Подача смеси в загрузочные карманы печей»; подсистема T_4 включает подсистемы

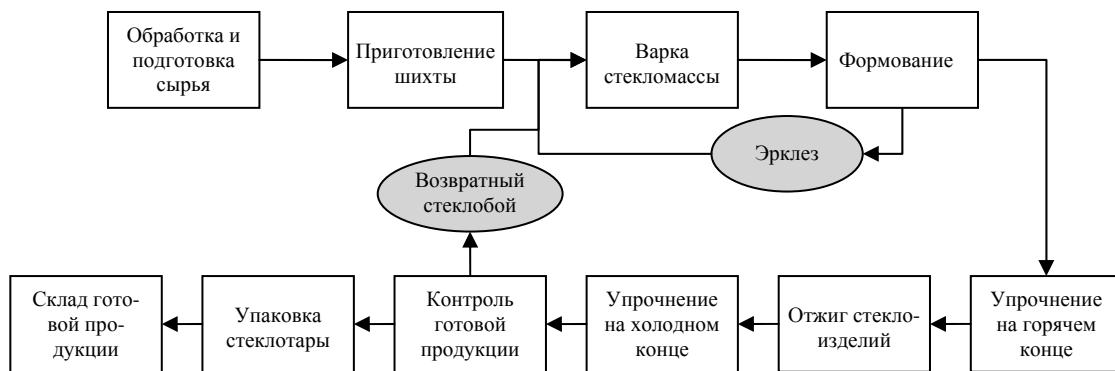


Таблица 1

Кодирование технологических состояний оборудования стеклоторного производства

Технологическое состояние	Код состояния	Оборудование
Подготовительно-заключительная операция	C ₁	Всё оборудование
Подача стеклобоя в расходный бункер	C ₂	Цепной ковшовый элеватор
Подача шихты и стеклобоя в бункер загрузчиков	C ₃	Ленточный конвейер
Подача смеси шихты и стеклобоя в загрузочные карманы печей	C ₄	Наклонный лоток с вибратором
Получение жидкой стекломассы (варка стекла)	C ₅	Стекловаренная печь (СП)
Оформление и выдача капель стекломассы	C ₆	Питатель (П)
Формование стеклоизделий	C ₇	Стеклоформующая машина (СМ)
Транспортирование стеклоизделий до печи отжига	C ₈	Пластинчатый конвейер
Перегрузка стеклоизделий в печь отжига	C ₉	Сталкиватель (С)
Отжиг	C ₁₀	Печь отжига (ПО)
Транспортирование стеклоизделий в рабочем туннеле печи	C ₁₁	Сетчатый конвейер (СК)
Сортировка стеклоизделий	C ₁₂	Разбраковочный аппарат (РА)
Контроль качества	C ₁₃	Детектор качества (ДК)
Транспортирование стеклоизделий до упаковочной машины	C ₁₄	Система конвейеров
Упаковка стеклоизделий в пакет	C ₁₅	Упаковочная машина
Транспортирование пакета в термоусадочную печь	C ₁₆	Роликовый конвейер
Термоусадка пакета	C ₁₇	Термоусадочная печь
Транспортирование пакета на склад	C ₁₈	Ленточный конвейер
Вспомогательные технологические операции	C ₁₉	СП, П, СМ, С, ПО, РА, ДК
Отказ по техническим причинам	C ₂₀	Всё оборудование
Отказ по технологическим причинам	C ₂₁	П, СМ, С, ПО, СК, РА, ДК
Простой оборудования из-за отсутствия фронта работ	C ₂₂	Всё оборудование, кроме СП

мы низшего уровня $T_{4.1}$ – «Перегрузка стеклоизделий в печь отжига», $T_{4.2}$ – «Отжиг стеклоизделий», $T_{4.3}$ – «Транспортирование стеклоизделий в рабочем туннеле печи». Тогда процесс функционирования оборудования стеклоторного производства формально можно представить в виде последовательно связанных графов, которые полу-

жены в основу имитационных моделей и моделирующих алгоритмов ТТП (табл. 2).

В математических моделях, приведенных в табл. 2, используются следующие обозначения: t и Δt – произвольный момент и шаг приращения времени моделирования; $t_{\text{вс}}(t)$, $t_{\text{пк}}(t)$, $t_{\text{вто}}(t)$, $t_{\text{тпп}}(t)$, $t_{\text{T}}(t)$, $t_{\text{тм}}(t)$, $t_{\text{ппу}}(t)$ – случайные функции времени

Таблица 2

Графы функциональных состояний оборудования и математические модели технико-технологических подсистем

ТПП	Графы	Математическая модель для $C(t + \Delta t)$
T_1	 $C_v \in (C_2, C_3, C_4)$	$\begin{cases} C_1, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_v) \cap (N_v(t)>N_v)] \cap (\alpha(t)=1 \cap (\beta(t)=0)); \\ C_v, \text{ если } [(C(t)=C_v) \cap (N_v(t)\leq N_v) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1) \cap N_v>0; \\ C_{20}, \text{ если } [(C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_v) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=0); \\ C_{22}, \text{ если } [(C(t)=C_{22}) \cup (C(t)=C_v) \cup (C(t)=C_{20})] \cap (N_v=0) \cap (\alpha(t)=1), \end{cases}$ <p>где $C \in (C_1, C_2, C_3, C_4, C_{20}, C_{22})$; $C_v \in (C_2, C_3, C_4)$</p>
T_2	 $C_1 \in (C_1, C_5, C_{19})$	$\begin{cases} C_1, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_5)] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0); \\ C_5, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_5) \cap (t_{bc}(t)\leq T_{bc}) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{bto}(t)>T_{bto})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1); \\ C_{19}, \text{ если } [(C(t)=C_{19}) \cap (t_{bto}(t)<T_{bto}) \cup (C(t)=C_5) \cap (t_{pk}(t)\geq T_{pk})] \cap (\beta(t)=1), \end{cases}$ <p>где $C \in (C_1, C_5, C_{19})$</p>
T_3	 $C_w \in (C_6, C_7)$	$\begin{cases} C_1, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_w) \cap (N_w(t)>N_w)] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0); \\ C_w, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_w) \cap (N_w(t)\leq N_w) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{bto}(t)>T_{bto}) \cup \\ \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{21}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1) \cap (N_w>0); \\ C_{19}, \text{ если } [(C(t)=C_{19}) \cap (t_{bto}(t)<T_{bto}) \cup ((C(t)=C_w) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{21}) \cup \\ \cup (C(t)=C_{22})) \cap (t_{pk}(t)\geq T_{pk})] \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1); \\ C_{20}, \text{ если } [(C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_w) \cup (C(t)=C_{19}) \cup (C(t)=C_{21}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=0); \\ C_{21}, \text{ если } [(C(t)=C_{21}) \cap (t_{thp}(t)<T_{thp}) \cup (C(t)=C_w) \cup (C(t)=C_{19}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap \\ \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0) \cap (N_w(t)\leq N_w) \cap (N_w>0); \\ C_{22}, \text{ если } [(C(t)=C_{22}) \cup (C(t)=C_w) \cup (C(t)=C_{19}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{21})] \cap (\alpha(t)=1) \cap \\ \cap (\beta(t)=0) \cap (N_w=0), \end{cases}$ <p>где $C \in (C_1, C_6, C_7, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22})$; $C_w \in (C_6, C_7)$; $N_w \in (N_6, N_7)$</p>
T_4	 $C_z \in (C_9, C_{10}, C_{11})$	$\begin{cases} C_1, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_z) \cap (N_{ti}(t)>N_{ti})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0); \\ C_8, \text{ если } [(C(t)=C_8) \cap (t_t(t)\leq T_t) \cup (C(t)=C_1)] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1) \cap (N_{ti}>0); \\ C_z, \text{ если } [(C(t)=C_8) \cap (t_t(t)>T_t) \cup (C(t)=C_z) \cup (C(t)=C_{19}) \cap (t_{bto}(t)>T_{bto}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup \\ \cup (C(t)=C_{21}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1) \cap (N_z(t)\leq N_z) \cap (N_z>0); \\ C_{19}, \text{ если } [(C(t)=C_{19}) \cap (t_{bto}(t)<T_{bto}) \cup ((C(t)=C_z) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{21}) \cup (C(t)=C_{22})) \cap \\ \cap (t_{pk}(t)\geq T_{pk})] \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1); \\ C_{20}, \text{ если } [(C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_z) \cup (C(t)=C_{19}) \cup (C(t)=C_{21}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=0); \\ C_{21}, \text{ если } [(C(t)=C_{21}) \cap (t_{thp}(t)<T_{thp}) \cup (C(t)=C_z) \cup (C(t)=C_{19}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap \\ \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0) \cap (N_z(t)\leq N_z) \cap (N_z>0); \\ C_{22}, \text{ если } [(C(t)=C_{22}) \cup (C(t)=C_z) \cup (C(t)=C_{19}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{21})] \cap (\alpha(t)=1) \cap \\ \cap (\beta(t)=0) \cap (N_z=0), \end{cases}$ <p>где $C \in (C_1, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22})$; $C_z \in (C_9, C_{10}, C_{11})$; $N_z \in (N_9, N_{10}, N_{11})$</p>
T_5	 $C_{13} \in (C_{13}, C_{20}, C_{22})$	$\begin{cases} C_1, \text{ если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_{13}) \cap (N_{kk}(t)>N_{kk})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0); \\ C_{12}, \text{ если } [(C(t)=C_{12}) \cup (C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (N_{copt}(t)\leq N_{copt}) \cap (\alpha(t)=1) \cap \\ \cap (\beta(t)=1) \cap (N_{copt}>0); \\ C_{13}, \text{ если } [(C(t)=C_{13}) \cup (C(t)=C_{12}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (N_{copt}(t)>N_{copt}) \cap (\alpha(t)=1) \cap \\ \cap (\beta(t)=1) \cap (N_{kk}(t)\leq N_{kk}) \cap (N_{kk}>0); \\ C_{20}, \text{ если } [(C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{12}) \cup (C(t)=C_{13}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=0); \\ C_{22}, \text{ если } [(C(t)=C_{22}) \cup (C(t)=C_{12}) \cup (C(t)=C_{20}) \cap (N_{copt}=0) \cap (N_{kk}=0) \cup [(C(t)=C_{12}) \cap (N_{copt}=0) \cup \\ \cup (C(t)=C_{13}) \cap (N_{kk}=0)]] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0), \end{cases}$ <p>где $C \in (C_1, C_{12}, C_{13}, C_{20}, C_{22})$</p>

Окончание табл. 2

ТПП	Графы	Математическая модель для $C(t + \Delta t)$
T_6		$\left\{ \begin{array}{l} C_1, \text{если } [(C(t)=C_1) \cup (C(t)=C_{18}) \cap (N_{\text{ппс}}(t)=0)] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0); \\ C_{14}, \text{если } [(C(t)=C_{14}) \cap (t_{\text{тм}}(t) \leq T_{\text{тм}}) \cup (C(t)=C_1)] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1); \\ C_{15}, \text{если } [(C(t)=C_{14}) \cap (t_{\text{тм}}(t) > T_{\text{тм}}) \cup (C(t)=C_{15}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=1) \cap (N_{\text{уи}}(t) \leq N_{\text{уи}}) \cap (N_{\text{уи}} > 0); \\ C_{16}, \text{если } [(C(t)=C_{15}) \cap (N_{\text{уи}}(t) > N_{\text{уи}}) \cup ((C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{16}) \cup (C(t)=C_{22})) \cap (t_{\text{ппу}}(t) \leq T_{\text{ппу}})] \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1); \\ C_{17}, \text{если } [(C(t)=C_{16}) \cap (t_{\text{ппу}}(t) > T_{\text{ппу}}) \cup (C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{17}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (N_{\text{уи}}(t) \leq N_{\text{уи}}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cap (N_{\text{уи}} > 0); \\ C_{18}, \text{если } [(C(t)=C_{17}) \cap (N_{\text{уи}}(t) > N_{\text{уи}}) \cup (C(t)=C_{18}) \cap (\beta(t)=1) \cap (\alpha(t)=1) \cap (N_{\text{пп}}(t) > 0)]; \\ C_{20}, \text{если } [(C(t)=C_{20}) \cup (C(t)=C_{14}) \cup (C(t)=C_{15}) \cup (C(t)=C_{16}) \cup (C(t)=C_{17}) \cup (C(t)=C_{22})] \cap (\alpha(t)=0); \\ C_{21}, \text{если } [(C(t)=C_{21}) \cap (t_{\text{ппу}}(t) < T_{\text{ппу}}) \cup (C(t)=C_{17})] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0) \cap (N_{\text{уи}}(t) \leq N_{\text{уи}}) \cap (N_{\text{уи}} > 0); \\ C_{22}, \text{если } [(C(t)=C_{22}) \cup (C(t)=C_{14}) \cup (N_{\text{тм}}=0) \cup (C(t)=C_{15}) \cap (N_{\text{уи}}=0) \cup ((C(t)=C_{16}) \cup (C(t)=C_{17})) \cap (N_{\text{уи}}=0)] \cap (\alpha(t)=1) \cap (\beta(t)=0), \end{array} \right.$ <p>где $C \in (C_1, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{19}, C_{20}, C_{21}, C_{22})$</p>

варки стекла, наработки между двумя вспомогательными технологическими операциями, выполнения вспомогательной технологической операции, устранения отказа по технологическим причинам, транспортирования стеклоизделий до печи отжига, транспортирования стеклоизделий до упаковочной машины, транспортирования пакета в термоусадочную печь соответственно; $T_{\text{вс}}$, $T_{\text{пп}}$, $T_{\text{вто}}$, $T_{\text{ппи}}$, $T_{\text{тм}}(t)$, $T_{\text{ппу}}(t)$ – регламентированное значение времени варки стекла, наработки между двумя вспомогательными технологическими операциями, выполнения вспомогательной технологической операции, устранения отказа по технологическим причинам, транспортирования стеклоизделий до печи отжига, транспортирования стеклоизделий до упаковочной машины, транспортирования пакета в термоусадочную печь соответственно; $\alpha(t)$ – случайная функция, характеризующая работоспособность оборудования (0 – не работает, 1 – работает); $\beta(t)$ – случайная функция, характеризующая выполнение технологической операции (0 – не выполняется, 1 – выполняется);

для модели T_1 : $N_2(t)=N_{\text{псб}}(t)$, $N_3(t)=N_{\text{пшсб}}(t)$, $N_4(t)=N_{\text{пс}}(t)$ – случайная функция количества поданного стеклобоя в расходный бункер, шихты и стеклобоя – в бункер загрузчиков шихты, смеси – в загрузочные карманы печей соответственно; $N_{\text{псб}}$, $N_{\text{пшсб}}$, $N_{\text{пс}}$ – необходимое количество стеклобоя для подачи в расходный бункер, шихты и стеклобоя – в бункер загрузчиков шихты, смеси – в загрузочные карманы печей соответственно;

для модели T_3 : $N_6(t) = N_{\text{кап}}(t)$, $N_7(t) = N_{\Phi}(t)$ – случайные функции количества полученных капель и формованных изделий соответственно; $N_6 = N_{\text{кап}}$, $N_7 = N_{\Phi}$ – необходимое количество капель и формованных изделий соответственно;

для модели T_4 : $N_9(t) = N_{\text{п}}(t)$, $N_{10}(t)=N_{\text{o}}(t)$, $N_{11}(t)=N_{\text{ти}}(t)$ – случайные функции количества изделий, перегруженных в печь отжига; изделий, прошедших отжиг и изделий, транспортированных в рабочем туннеле печи соответственно; $N_9=N_{\text{п}}$, $N_{10}=N_{\text{o}}$, $N_{11}=N_{\text{ти}}$ – необходимое количество изделий для перегрузки в печь отжига, изделий для отжига и изделий для транспортирования в рабочем туннеле печи соответственно;

для модели T_5 : $N_{\text{сорт}}(t)$, $N_{\text{кк}}(t)$ – случайные функции количества сортированных изделий и изделий, прошедших контроль качества соответственно; $N_{\text{сорт}}$ – количество изделий, которые необходимо отсортировать; $N_{\text{кк}}$ – количество изделий, качество которых необходимо проверить;

для модели T_6 : $N_{\text{уи}}(t)$, $N_{\text{уп}}(t)$, $N_{\text{пп}}(t)$ – случайные функции количества упакованных изделий, пакетов, прошедших термоусадку, и пакетов, транспортированных на склад соответственно; $N_{\text{уи}}$, $N_{\text{уп}}$, $N_{\text{пп}}$ – необходимое количество изделий для упаковки, пакетов для термоусадки и готовых пакетов соответственно.

Синтез математических моделей подсистем позволил построить обобщённую математическую модель функционирования механизированной линии стеклотарного производства, которая интерпретируется системой логических уравнений,

описывающих условия перехода одной ТТП в другую. При синтезе имитационной модели системы учитываются логические взаимосвязи подсистем, выделенные на этапе формализации. Исходя из изложенного выше, модель функционирования механизированной линии стеклотарного производства примет вид

$$T(t+\Delta t) = \begin{cases} T_1(T_{1.1}), \text{ если } (T(t) = T_{1.1}) \cap (N_{\text{псб}}(t) < N_{\text{псб}}); \\ T_1(T_{1.2}), \text{ если } (T(t) = T_{1.2}) \cap (N_{\text{пшсб}}(t) < N_{\text{пшсб}}) \cup (T(t) = T_{1.1}) \cap (N_{\text{псб}}(t) \geq N_{\text{псб}}); \\ T_1(T_{1.3}), \text{ если } (T(t) = T_{1.3}) \cap (N_{\text{пс}}(t) < N_{\text{пс}}) \cup (T(t) = T_{1.2}) \cap (N_{\text{пшсб}}(t) \geq N_{\text{пшсб}}); \\ T_2, \text{ если } (T(t) = T_2) \cap (N_{\text{пс}}(t) < N_{\text{пс}}) \cap (T(t) = T_{1.3}) \cap (N_{\text{пс}}(t) \geq N_{\text{пс}}); \\ T_3, \text{ если } (T(t) = T_3) \cap (N_{\Phi}(t) < N_{\Phi}) \cup (T(t) = T_2) \cap (N_{\text{пс}}(t) \geq N_{\text{пс}}); \\ T_4(T_{4.1}), \text{ если } (T(t) = T_{4.1}) \cap (N_{\Pi}(t) < N_{\Pi}) \cup (T(t) = T_3) \cap (N_{\Phi}(t) \geq N_{\Phi}); \\ T_4(T_{4.2}), \text{ если } (T(t) = T_{4.2}) \cap (N_{\text{o}}(t) < N_{\text{o}}) \cup (T(t) = T_{4.1}) \cap (N_{\Pi}(t) \geq N_{\Pi}); \\ T_4(T_{4.3}), \text{ если } (T(t) = T_{4.3}) \cap (N_{\text{ти}}(t) < N_{\text{ти}}) \cup (T(t) = T_{1.2}) \cap (N_{\text{o}}(t) \geq N_{\text{o}}); \\ T_5, \text{ если } (T(t) = T_5) \cap (N_{\text{кк}}(t) < N_{\text{кк}}) \cup (T(t) = T_{4.3}) \cap (N_{\text{ти}}(t) \geq N_{\text{ти}}); \\ T_6, \text{ если } (T(t) = T_6) \cap (N_{\text{пп}}(t) < N_{\text{пп}}) \cup (T(t) = T_5) \cap (N_{\text{кк}}(t) \geq N_{\text{кк}}). \end{cases}$$

Экспериментальной основой создания моделей послужило исследование статистических закономерностей распределения случайных величин протекания основных и вспомогательных процессов: времени наработки на отказ, ликвидации технологических и технических отказов для различных видов и типов оборудования технологических линий изготовления стеклотары. Полученные данные статистических исследований используются для определения констант, переменных, случайных и индикаторных функций. Значения перечисленных величин используются для выбора направления процесса имитации в соответствии с его математическим представлением и реализованного в блоках логического сравнения.

Трансформация полученных математических моделей в имитационные осуществляется с помощью программных процедур алгоритмизации и включения в процесс моделирования на ЭВМ динамики протекания технологических процессов производства стеклотары во времени. При этом были использованы два основных принципа: принцип « Δt » – фиксированных интервалов времени (для программирования вспомогательных модулей, которые отражают взаимосвязи между подсистемами) и принцип «особых состояний» (для программирования ТТП) – весьма удобный и экономичный в отношении машинного времени) [3]. На каждом

шаге модельного времени для оборудования вычисляется время его работы и надёжность. Надёжность определяется путём моделирования наработки на отказ и времени восстановления соответствующего технологического оборудования.

Для реализации имитационной модели на ЭВМ был использован язык программирования *Microsoft Visual Basic* из интегрированного пакета для создания приложения под *Windows* – *Microsoft Visual Studio* 6.0. Этот язык предоставляет широкие возможности для создания приложений различной степени сложности, при этом разработчику не приходится тратить время на разработку кода, описывающего пользовательский интерфейс; все элементы управления можно добавлять в форму методом рисования в интерактивном режиме.

Разработанная программа *ModelPus* 1.0 позволяет имитировать процесс производства стеклянной тары, начиная с выработки стеклоизделий и заканчивая их упаковкой. Также она может осуществлять: расчёт брака продукции (на стадиях выработки стеклоизделий и отжига стеклоизделий); имитацию отказа оборудования (с помощью ручной установки и в автоматическом режиме). Кроме того, в программе предусмотрена возможность установки скорости протекания процессов производства стеклотары.

Полученную имитационную модель технологического процесса стеклотарного производства можно использовать при решении задач проектирования, планирования, прогнозирования, ревизии: расчёт и выбор оптимальной структуры и параметров функционирования технологических линий по производству стеклотары, установление пропускной способности отдельных технологических звеньев системы производства стеклотары, обоснование условий достижения и поддержания требуемой интенсивности производства стеклотары, обоснование нагрузок на технологические линии при планировании выпуска продукции, установление нагрузок на технологические звенья при технологическом перевооружении производства, ревизия парка технологического оборудования и вывод неиспользуемого оборудования за баланс предприятия.

Библиографические ссылки

1. Эпов А.А. Декомпозиция процесса изготовления стеклотары как сложной производственной системы / Е.В. Морозова // Инновационные технологии в обучении и производстве: Материалы III Всерос. конф., г. Камышин, 20–23 апреля 2005 г. ВолгГТУ. Волгоград, 2005. С. 111–114.
2. Редько С.Г. Разработка концептуальной модели функционирования механизированной линии стеклотарного производства / А.А. Эпов, Е.В. Морозова // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: Материалы IV Всерос. конф. КТИ ВолгГТУ, 2006. С. 189–192.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М: Наука, 1978. 401с.

УДК 004.7

Г.С. Петриченко, доц., канд. техн. наук, **Л.Н. Дудник**

(Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар)

lududnik@mail.ru

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

Предложена методика выбора и оценки приоритетности параметров, характеризующих техническое состояние цифровых блоков корпоративной сети, на основе использования методов факторного анализа.

Ключевые слова: выбор параметров контроля, оценка приоритетности параметров, компьютерные сети, цифровой блок, факторный анализ, корреляционная матрица.

This paper presents choice and estimation methodology of the parameters priority which defines technical state of the corporative net digital blocks from a utilization of the factor analysis methods.

Key words: control parameters choice, parameters priority estimation, computer network, digital block, factor analysis, correlated matrix.

В настоящее время наблюдается быстрый рост корпоративных сетей и многообразие используемых аппаратно-программных средств, а также различных сред передачи данных. Поэтому актуальной является задача своевременного контроля технического состояния узлов и блоков сети для повышения эксплуатационной надёжности и эффективности работы, обеспечения основных параметров в требуемых пределах.

При контроле и прогнозировании возникает проблема выбора необходимой совокупности информативных параметров, описывающих техническое состояние объекта контроля во времени, с целью уменьшения материальных и временных затрат на контроль. Для выбора оптимального и наиболее информативного набора параметров применяется приоритетный метод оценки, позволяющий построить упорядоченную последовательность параметров по мере возрастания или убывания их значимости по заданным критериям.

Пусть имеется некоторая система, например, цифровой блок, техническое состояние которого можно описать совокупностью параметров, представляющих собой вектор технического состояния

$$\vec{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n),$$

где n – число параметров системы.

Целью данной работы является построение алгоритма решения задачи выбора информативной совокупности параметров контроля. Методология выбора информативной совокупности параметров основывается на факторном анализе.

Основной задачей является переход от описания исследуемой системы, заданной большим на-

бором измеряемых параметров, к описанию меньшим числом максимально информативных признаков, отражающих наиболее существенные свойства системы.

Предполагается, что каждый из параметров y_i , описывающих техническое состояние системы контроля, может быть представлен как функция небольшого числа общих факторов p_i и характерного фактора u_i :

$$y_i = f(p_1, p_2, \dots, p_r, u_i). \quad (1)$$

Общие факторы представляют собой расчётные переменные, т. е. новые характеристики системы. Уравнения (1), связывающие наблюдаемые параметры и факторы, позволяют построить общую модель системы.

В общем случае для любого метода факторного анализа значение параметра y_{ij} может быть выражено в виде линейной комбинации r факторов:

$$y_{ij} = a_{i1}p_{1j} + a_{i2}p_{2j} + \dots + a_{ir}p_{rj}, \quad (2)$$

где a_{ir} – постоянные коэффициенты, факторные нагрузки; p_{rj} – значения факторов для j -го объекта контроля.

Равенство (2) выражает основную модель факторного анализа.

Используем данные наблюдений при контроле M аналогичных блоков системы в различные моменты времени. Будем использовать следующие условные обозначения: j – номер контролируемого блока ($j = 1, \dots, m$); i – номер параметра контроля ($i = 1, \dots, n$); k – номер замера параметров ($k = 1, \dots, s$).

По результатам ресурсных испытаний 10 интегральных микросхем сумматора при температуре 135 °C были получены следующие данные: напряжение логической $<1>$ – Y_1 (мВ); напряжение логического $<0>$ – Y_2 (мВ); входной ток – Y_3 (мкА); выходной ток – Y_4 (мкА); время включения – Y_5 (нс); время выключения – Y_6 (нс); граничная частота переключения – Y_7 (МГц).

На основании результатов измерений параметров в разные моменты времени от $t = 0$ до $t = 2500$ ч построена корреляционная матрица, которая является отправной точкой для анализа и обработки с помощью методов факторного анализа.

Ставится задача определения количества и вида линейно независимых друг от друга факторов, которые достаточно точно воспроизводят взаимосвязи наблюдаемых переменных. Факторный анализ позволяет при заданной n -мерной корреляционной матрице найти новую ортогональную r -мерную систему координат так, чтобы максимум полной дисперсии лежал в направлении первой главной оси, а максимум оставшейся дисперсии – в направлении второй главной оси и т. д.

Рассмотрим этапы алгоритма данной методики.

Этап 1. Построение корреляционной матрицы R . Предварительно рассчитываются следующие величины.

1. Среднее значение параметров по данным их замеров:

$$\bar{Y}_i(k) = \frac{\sum_{j=1}^m Y_{ij}(k)}{m},$$

где i – номер параметра; j – номер микросхемы; k – номер замера; m – количество контролируемых систем.

2. Произведём усреднение параметров по числу замеров:

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{i=1}^s \bar{Y}_i(k)}{s}.$$

3. Вычислим отклонения от общего среднего \bar{Y} при каждом замере:

$$\Delta Y_i(k) = \bar{Y}_i(k) - \bar{Y}_i.$$

4. Коэффициенты ковариации рассчитаем по следующим формулам [1]:

$$C_{ij}^* = (1/3) \sum_{k=1}^6 [\Delta Y_i(k)] \cdot [\Delta Y_j(k)];$$

$$C_{jj}^* = (1/3) \sum_{k=1}^6 [\Delta Y_j(k)]^2;$$

$$C_{ii}^* = (1/3) \sum_{k=1}^6 [\Delta Y_i(k)]^2.$$

5. На основании ковариационной матрицы строится корреляционная матрица параметров (табл. 1). Коэффициенты парных корреляций переменных рассчитываются по следующей формуле:

$$R_{ij} = \frac{C_{ij}^*}{\sqrt{C_{ii}^* C_{jj}^*}}.$$

Вычеркиваем из корреляционной матрицы R третью строку и третий столбец, имеющие нулевые значения, и производим переиндексацию элементов.

Этап 2. Построение редуцированной корреляционной матрицы $R_h = r_{ik}^h$, где $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, n$.

Таблица 1

Корреляционная матрица параметров R_{ij}

Номер строки i	Номер столбца j						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0,920408	0	0,883876	-0,926420	-0,811290	0,967092
2	0,920410	1	0	0,925029	-0,987240	-0,663750	0,917863
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0,883880	0,925029	0	1	-0,972850	-0,72535	0,951378
5	-0,926400	-0,987240	0	-0,972850	1	0,718748	-0,954590
6	-0,811300	-0,663750	0	-0,725350	0,718748	1	-0,873730
7	0,967090	0,917863	0	0,951378	-0,954590	-0,873730	1

Для этого по главной диагонали корреляционной матрицы R проставляют оценки общностей h_i^2 . Оценка общностей может быть осуществлена на основе вычисления квадрата множественной корреляции для каждой переменной с помощью обратной матрицы R^{-1} по следующей формуле:

$$h_i^2 = R_i^2 = 1 - \frac{1}{r^{ii}},$$

где r^{ii} – диагональный элемент обратной матрицы.

Этап 3. Получение матрицы факторного отображения $A=(a_{il})$, элементами которой являются факторные нагрузки, где $i=1, \dots, n$ – параметры; $l=1, \dots, r$ – факторы.

Корреляционная матрица может быть воспроизведена с помощью факторного отображения и корреляций между факторами [2]:

$$\begin{pmatrix} h_1^2 & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & h_2^2 & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & \dots & \dots & h_n^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1r} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nr} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1r} & a_{2r} & \dots & a_{nr} \end{pmatrix}$$

или в матричном виде $R_h = A \cdot A'$.

Элементами редуцированной матрицы R_h соответственно являются:

при $i=k$ $a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ir}^2 = h_i^2$, при $i \neq k$ $a_{i1}a_{k1} + a_{i2}a_{k2} + \dots + a_{ir}a_{kr} = r_{ik}$.

Используем центроидный метод факторного анализа. Вычислим нагрузки первого фактора a_{i1} (табл. 2). Для этого просуммируем элементы каждого столбца матрицы R_h и найдём общую сумму элементов $T = \sum_{ik} r_{ik} = 4,727\,787$. Приняв обозначение $t = \frac{1}{\sqrt{T}} = 0,459\,908$, вычислим нагрузки первого фактора по формуле $a_{i1} = t \sum_i r_{ki}$.

Этап 4. Определение остаточных корреляций по формуле

$$R_1 = R_h - a_1 a_1'$$

где R_1 – остаточная матрица даёт корреляции, которые остаются после выделения первого фактора (табл. 3), a_1 – вектор столбец факторных нагрузок. Матрица $a_1 a_1' = R^+$ содержит воспроизведённые корреляции. Для контроля вычисляются полные суммы каждого столбца. Умножая каждый элемент вектора a_1 на сумму коэффициентов первого фактора $\sum a_{i1} = 2,1743$, получим значения, которые служат для проверки сумм столбцов матрицы R^+ .

Этап 5. Для выделения второго фактора повторяют процедуру вычислений с матрицей R_1 (см. этапы 3, 4).

Решение о выделении следующего фактора принимается до тех пор, пока остаточная матрица не будет точно соответствовать нулевой матрице. Распределение остаточных коэффициентов корреляции $r_{\text{ост}}$ должно соответствовать распределению коэффициентов корреляции, вычисленных по результатам случайных выборок одного и того же объёма из нормально распределенной генеральной совокупности. Распределение $r_{\text{ост}}$ должно быть нормальным со средним значением, равным нулю, и стандартным отклонением $s = \frac{1}{\sqrt{n-2}}$.

Таблица 2

Редуцированная корреляционная матрица R_h и нагрузки первого фактора a_{i1}

Номер строки i	Номер столбца j					
	1	2	3	4	5	6
1	0,999893	0,920408	0,883876	-0,926420	-0,811290	0,967092
2	0,920408	0,999997	0,925029	-0,987240	-0,663750	0,917863
3	0,883876	0,925029	0,999989	-0,972850	-0,725350	0,951378
4	-0,926420	-0,987240	-0,972850	0,999999	0,718748	-0,954590
5	-0,811290	-0,663750	-0,725350	0,718748	0,989588	-0,873730
6	0,967092	0,917863	0,951378	-0,954590	-0,873730	0,999972
Сумма столбца	2,033559	2,112307	2,062072	-2,122353	-1,365784	2,007985
a_{i1}	0,935250	0,971467	0,948363	-0,976087	-0,628135	0,923488

Т а б л и ц а 3

Матрица первых остаточных коэффициентов корреляции R_1

Номер строки i	Номер столбца j					
	1	2	3	4	5	6
1	0,125200	0,011843	-0,003082	-0,013534	-0,223826	0,103399
2	0,011843	0,056249	0,003725	-0,039003	-0,053537	0,020724
3	-0,003082	0,003725	0,100595	-0,047164	-0,129650	0,075575
4	-0,013534	-0,039003	-0,047164	0,047252	0,105633	-0,053185
5	-0,223826	-0,053537	-0,129650	0,105633	0,595035	-0,293655
6	0,103399	0,020724	0,075575	-0,053185	-0,293655	0,147141
Сумма	0	0	0	0	0	0

Если стандартное отклонение остаточных коэффициентов корреляции значительно больше значения, вычисленного по формуле, и их среднее значение существенно отличается от нуля, то выделение нового фактора вполне оправдано.

Предварительно для упрощения процедуры расчётов выполняют отражение отдельных переменных или векторов, т. е. меняют знаки у всех элементов соответствующего столбца и строки остаточной корреляционной матрицы R_1 . Диагональный элемент остаётся без изменения. Результатом этой операции является определение нового центра тяжести, перемещающегося из начала координат в новую точку, которая будет отправной для нахождения второго центроидного фактора.

Находим $T = \sum_{ik} r_{ik} = 3,4142$, $t = \frac{1}{\sqrt{T}} = 0,54120$ и рассчитываем нагрузки второго фактора по формуле $a_{i2} = t \sum_i r_{ki}$. В результате получаем матрицу факторного отображения $A = (a_{il})$, элементами которой являются факторные нагрузки:

$$A = (a_{il}) = \begin{pmatrix} 0,935250 & 0,256917 \\ 0,971467 & 0,100165 \\ 0,948364 & 0,191382 \\ -0,976087 & -0,165482 \\ -0,628135 & -0,758397 \\ 0,923488 & 0,375416 \end{pmatrix}.$$

Каждый фактор характеризуется столбцом, а каждая переменная – строкой матрицы A . В результате проведённых расчётов было выделено два фактора; выделение следующего фактора нецелесообразно.

Этап 6. Вычисление долей дисперсии по матрице факторного отображения $A = (a_{il})$. Нагрузки общих и характерных факторов связаны определённым соотношением через единичную дисперсию переменных:

$$D_i^2 = 1 = (a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ir}^2) + ,$$

где $h_i^2 = (a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{ir}^2)$ – общность, которая представляет собой часть единичной дисперсии переменной и относится к общим факторам; u_i^2 – характерность, т. е. часть единичной дисперсии, не связанной с общими факторами.

Первоначально вычисляются квадраты факторных нагрузок a_{il}^2 и рассчитываются значения общностей $h_i^2 = a_{i1}^2 + a_{i2}^2$ и характерности $u_i^2 = 1 - h_i^2$.

Таким образом, эти величины могут быть определены для всех переменных (табл. 4).

Полная дисперсия переменных равна n , так как каждая переменная преобразована так, чтобы её дисперсия была равна единице. Для выражения дисперсии фактора в процентах от полной дисперсии служит выражение

$$d_f = \frac{D_{F_p}}{D} 100 \% ,$$

где D_{F_p} – дисперсия фактора; D – полная дисперсия.

Вычислим доли дисперсии первого и второго фактора от полной дисперсии:

Полная дисперсия 6,0 100,00 %

Дисперсия первого фактора 4,917967 81,97 %

Дисперсия второго фактора 0,856155 14,27 %

Суммарная общность 5,774121 96,24 %

Суммарная характерная дисперсия 0,225879 3,76 %

Т а б л и ц а 4

Расчёт квадратов факторных нагрузок a_{il}^2 , общностей h_i^2 и характерности u_i^2

Квадраты факторных нагрузок		Общность h_i^2	Характерность u_i^2
$F1(a_{i1}^2)$	$F2(a_{i2}^2)$		
0,874693	0,066006	0,940700	0,059300
0,943749	0,010033	0,953782	0,046218
0,899394	0,036627	0,936021	0,063979
0,952747	0,027384	0,980131	0,019869
0,394554	0,575167	0,969720	0,030280
0,852831	0,140937	0,993768	0,006232

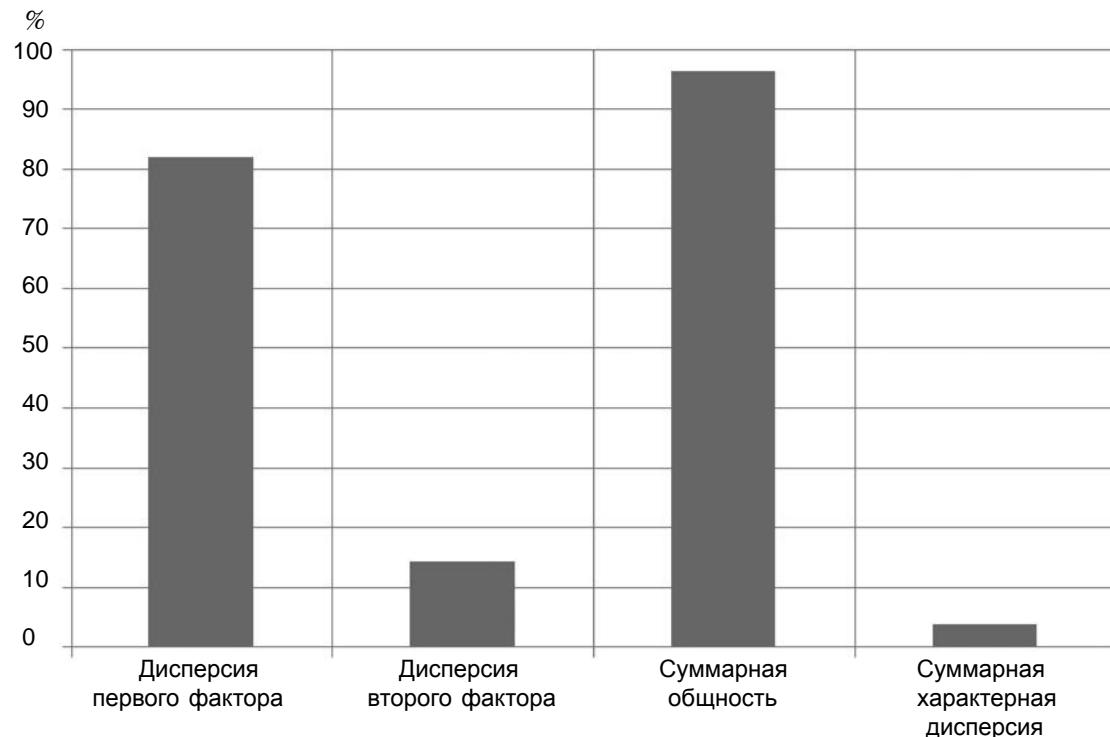


Рис. 1. Распределение долей дисперсии факторов, выраженных в процентах от полной дисперсии

Из проведённых расчётов видно, что доля дисперсии двух общих факторов составляет 96,24 % от полной дисперсии, причём основная часть приходится на дисперсию первого фактора (рис. 1). Поэтому произведём оценку значимости параметров y_i в зависимости от факторных нагрузок в первый общий фактор (табл. 5).

В результате расчётов и анализа полученных данных при выборе совокупности параметров для контроля можно исключить параметр y_5 без существенных потерь информации.

Из рис. 2 можно оценить, какая часть дисперсии каждой переменной объясняется общими факторами ($F1$ – первый фактор, $F2$ – второй фактор), выделенными в процессе анализа, и какая доля приходится на характерный фактор (U). Также можно видеть какие переменные с какими факторами связаны.

Следует обратить внимание, что малая информативность параметра y_3 , который исключили из рассмотрения по информативности параметров (см. табл. 1), имеет определённое физическое

Таблица 5

Значения коэффициента приоритетности параметров

Параметр	Значение коэффициента приоритетности	Ранг
y_4	0,952746	1
y_2	0,943748	2
y_3	0,899393	3
y_1	0,874693	4
y_6	0,852830	5
y_5	0,394553	6

Дисперсия

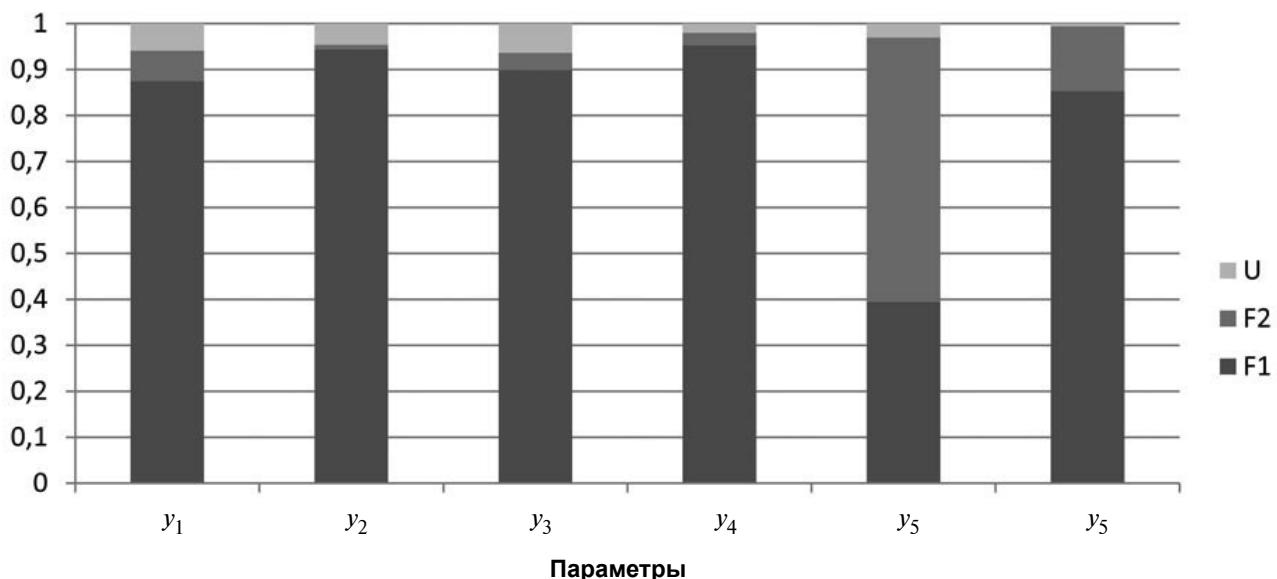


Рис. 2. Распределение долей единичных дисперсий переменных по факторам

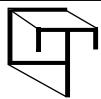
обоснование. Так, например, если внутреннее сопротивление источника питающих напряжений значительно больше входного сопротивления микросхемы, то нельзя ожидать существенных изменений входного напряжения. Поэтому указанный параметр не должен быть отнесён к числу высокинформативных.

Таким образом, в результате проведённого анализа и обработки корреляционной матрицы R_{ij} с помощью метода факторного анализа была получена матрица факторного отображения A . Матрица A позволяет выделить для каждого фактора группу параметров, наиболее тесно с ним связанную, рассчитать коэффициенты приоритетности параметров с учётом их взаимосвязи и выбрать наиболее значимый параметр контроля и прогнозирования технического состояния цифровых блоков сети.

Изложенная в данной работе методика формализованного выбора и оценки значимости параметров контроля технического состояния цифровых блоков сети позволяет уменьшить размерность данных для обработки без существенных потерь информации и сократить затраты на их контроль.

Библиографические ссылки

1. Петриченко Г.С., Нарыжная Н.Ю. Выбор информативных параметров при прогнозировании технического состояния компьютерной сети предприятия // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 9. С. 33–35.
2. Иберла К. Факторный анализ / Пер. с нем. В.М. Ивановой. М. : Статистика, 1980. 398 с.



УДК 007.51:65.015.3

А.А. Егорова, д-р техн. наук, проф., М.Р. Акчурин

(Московский государственный технический университет гражданской авиации)

marat-akchurin@yandex.ru

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА НА ПРЕДПРИЯТИИ

Проводится анализ существующих автоматизированных систем управления персоналом, указываются их недостатки в автоматизации процессов мотивации персонала. Рассматривается развитие автоматизации процессов управления персоналом и мотивации персонала на предприятии. В рамках единой автоматизированной системы управления персоналом предлагаются методы оценки работы персонала и системы мотивации предприятия.

Ключевые слова: автоматизация процессов управления персоналом, автоматизация системы мотивации персонала, оценка работы персонала, оценка системы мотивации предприятия.

Existing automatic systems for personnel control are analysed. It is pointed out that these systems have limitation from point of view personnel motivation processes automation. Development for process automation of personnel control and personnel motivation on enterprise is considered. Methods for personnel work and enterprise motivation system estimate are proposed in a framework of the united automatic system for personnel control.

Key words: personnel control process automation, personnel motivation system automation, personnel work estimate, enterprise motivation system estimate.

Введение. Среди наблюдающегося в настоящее время интенсивного развития автоматизированных систем по управлению различными процессами предприятий можно выделить отдельный класс систем – автоматизированные системы управления персоналом. Именно они являются предметом исследования настоящей работы, и в первую очередь, в области автоматизации процессов мотивации персонала.

Определим исследуемую проблемную область и основные понятия, встречающиеся в статье.

HR (Human Resource – управление персоналом) – подбор и расстановка работников, обучение прогрессивным приёмам работы, обновление знаний, морально-психологическое воздействие, разрешение конфликтных ситуаций в коллективе с целью обеспечения слаженной и эффективной работы.

HRM (Human Resource Management) дословно переводится как управление человеческим ресурсом. В русскоязычной литературе, как правило, применяется термин «управление персоналом», хотя также встречаются «управление трудовыми

ресурсами» и «управление человеческим капиталом» [1]. Автоматизировать процесс управления персоналом призваны автоматизированные системы управления персоналом – HRM-системы (далее эти понятия будут использоваться как равнозначные).

Под HRM-системой понимается автоматизированная комплексная система управления персоналом. HRM-системы предназначены для управления персоналом, но их функциональность шире, чем у систем автоматизации кадровых операций. Основная задача HRM-систем – это автоматизация рутинных управленческих операций, сбор, обработка и анализ информации, необходимой руководству для принятия управленческих решений и т. п.

Система мотивация персонала – это совокупность внутренних и внешних движущих сил, побуждающих человека к трудовой деятельности и придающих этой деятельности направленность, ориентированную на достижение определённых целей. Система мотивации персонала является подсистемой управления персоналом. Здесь воз-

никает вопрос, можно ли систему заработной платы считать эквивалентной системе мотивации? Безусловно, нет, так как это только одна из составляющих системы мотивации, хотя и весьма существенная (точнее, основная, без которой практически невозможно функционирование предприятия).

Уже в силу данного выше определения системы мотивации персонала можно сделать два основных вывода: без неё не функционирует ни одно предприятие, система мотивации – наименее поддающаяся формализации подсистема управления персоналом.

Модуль мотивации – программная (или программно-аппаратная) часть HRM-системы, реализующая процессы мотивации персонала на предприятии, оценку которой реализовать довольно проблематично в связи с тем, что оперировать приходится преимущественно качественными показателями. Стоит отметить, что HRM-системы предназначены для крупных и очень крупных предприятий.

Более всего потребность в HRM-системах существует в сфере предоставления услуг. Здесь доля оплаты труда может достигать 70–80 % себестоимости готового продукта. Соответственно система мотивации персонала здесь играет одну из ключевых ролей. Тот факт, что, например, основной деятельностью авиакомпании является предоставление услуг перевозки, говорит о том, что использование HRM-систем здесь особенно актуально.

Существующие автоматизированные системы управления персоналом и их сравнительный анализ. Для выявления полноты реализованных функций в HRM-системах по управлению и мотивации персонала был проведён собственный анализ зарубежных и отечественных систем управления персоналом, а также использованы сторонние материалы анализа таких систем.

В рамках анализа были рассмотрены 19 HRM-систем, наиболее широко представленных на российском рынке. В результате была составлена «матрица функциональности» и, на её базе, рейтинг HRM-систем и их разработчиков. Рассмотренные программные продукты были сгруппированы по классу функциональной полноты (классы А, В, С, Д – от высшего к низшему). Согласно выполненной оценке из 19 рассмотренных первым двум классам соответствуют 7 решений.

К классу «А» были отнесены системы компаний «SAP» (Германия) и «Oracle» (США), являющиеся лучшими по широте реализованной функциональности, а также отечественная система БОСС-Кадровик. В класс «В» попали решения

компаний «Robertson & Blums» (Латвия), «Галактика», «Инэк» и «IFS» (Швеция). В классе «С» оказались продукты компаний «Компас», «Монолит», «Информконтакт», «Бизнес Технологии» и «Epicor» (США). Что же касается класса «D», то к нему были отнесены все остальные решения: «1С: Зарплата и Управление Персоналом 8.0», «АиТ: Управление персоналом» и КИС «Трудовик».

Таким образом, тройка лидеров российского рынка HRM-систем среди иностранных поставщиков включает компании «SAP» (Германия), «Oracle» (США) и «Robertson & Blums» (Латвия). Аналогичную тройку российских вендоров составляют «БОСС. Кадровые системы», «Корпорация Галактика» и «Компас». [1]

Согласно данным исследования «Дорожная карта» по HRM-системам в России компании «TAdviser» [1] первое место среди рассмотренных систем занимает mySAP ERP HCM (от компании «SAP», Германия). Но, к примеру, ознакомившись с официальным обзором функциональности системы mySAP ERP HCM «Решение SAP для авиакомпаний» [2] можно сделать совершенно очевидный вывод о том, что в данной системе отсутствуют методы немонетарной мотивации персонала предприятия, а мотивация персонала в системе в целом развита не достаточно хорошо.

Таким образом, опираясь на результаты собственных и сторонних исследований существующих HRM-систем, авторы сделали вывод, что современные HRM-системы содержат модули, которые реализуют функции кадрового учёта, а также поддерживают систему выплат не только заработной платы, но и премий, бонусные выплаты и т. п. (т. е. всё, что мы относим к монетарной мотивации). Поддержка же немонетарной мотивации в данных HRM-системах отсутствует или развита слабо и осуществляется на предприятиях, использующих данные системы «вручную» или с помощью локальных информационных систем. В этом случае реализация процессов немонетарной мотивации требует существенных временных затрат, становится менее оперативной и, самое главное, нарушается целостность системы управления персоналом.

Актуальные направления развития автоматизированных систем управления персоналом. Таким образом, было определено, что в настоящее время развитие поддержки немонетарной мотивации в HRM-системах является актуальным направлением. То есть HRM-система должна поддерживать большое количество возможных методов мотивации, в том числе немонетарных.

Определим далее, какие направления помимо немонетарной мотивации актуальны для HRM-

систем. Для этого необходимо понять, а кто вообще определяет структуру системы мотивации. Безусловно, это задача HR-служб предприятия, которая решается на основе планов развития предприятия (в том числе и стратегических), миссии предприятия, состояния рынка труда и другого, т. е. определяется целым рядом факторов. Более того, учитывая слабую формализуемость показателей в этой области, можно утверждать, что система мотивации – очень живая и допускает внедрение методом проб и ошибок. Определить изменение её эффективности после внедрения дополнительных форм мотивации просто необходимо, во-первых, для того, чтобы оценить, насколько быстро мы приближаемся к решению задач, поставленных руководством предприятия в отношении персонала, а во-вторых, для того, чтобы оценить затраты предприятия.

Не стоит забывать, что цели предприятия и сотрудника разные. Предприятие должно получить прибыль, а любые мотивационные программы требуют затрат. В таком случае возникает задача оптимизации затрат. Известно, что существует целый ряд форм и методов мотивации. Их разумная комбинация позволяет достичь желаемых результатов (или к ним приблизиться). Таким образом, можно выделить одно актуальное направление развития автоматизированных систем управления персоналом на предприятии: оценка эффективности системы мотивации персонала.

Следует особо отметить, что объективная оценка эффективности системы мотивации персонала будет возможна в том случае, если учитывать и оценку результатов работы методов мотивации (с точки зрения персонала), и оценку эффективности работы (результатов) самого персонала. То есть HRM-система должна поддерживать оба вида оценок и на их основе производить комплексную оценку эффективности системы мотивации персонала на предприятии.

Определение необходимых методов оценки. Для реализации HRM-системы с учётом определённых выше направлений развития необходимо решить задачи по оценке эффективности мотивации персонала и по оценке эффективности работы (результатов) самого персонала.

Решение этих задач и интеграция методов оценки в HRM-систему позволит существенно сократить время и стоимость обработки статистических данных о результатах деятельности персонала и результатов работы методов мотивации на предприятии, а также повысить достоверность результатов обработки данных. Можно предложить несколько инструментов для решения поставленных задач.

В качестве инструмента оценки результатов работы методов мотивации предлагается использо-

вать метод анализа иерархий, созданный для решения задач оценки и сравнения качественных характеристик объектов. В качестве инструментов оценки эффективности работы персонала предлагается использовать:

систему сбалансированных показателей (ССП) – систему управления, позволяющую руководителям переводить стратегические цели компании в чёткий план оперативной деятельности подразделений [3];

ключевые показатели эффективности (КПЭ) – показатели, используемые для оценки результативности и эффективности действий, процессов и функций управления. Эти показатели, поддаются количественному измерению и считаются наиболее важными для оценки эффективности деятельности компании в целом, и отделов и сотрудников в отдельности. КПЭ могут быть финансовыми и нефинансовыми (т. е. характеризовать соответствующие показатели компании)[4].

Методы оценки результатов системы мотивации. Рассмотрим подробнее суть метода анализа иерархий (идея этого метода была предложена американским математиком Т. Саати около 35 лет назад [5]). Метод анализа иерархий в эффективный и доступный способ для решения слабоструктурированных задач принятия решений и ранжирования множества альтернатив. Его применение основано на экспертной информации об относительной важности критериев в виде матрицы парных сравнений [6].

Подход, предложенный Т. Саати, позволяет не просто произвести ранжирование множества объектов по неким свойствам, но и присвоить им «вес». Вес – это показатель, придающий численные характеристики каждому из множества оцениваемых объектов. Впоследствии этот метод сформировался в целый раздел принятия решений при наличии одного или нескольких критериев и получил наименование метода анализа иерархий (МАИ).

В соответствии с МАИ имеется некоторое начальное множество альтернатив (объектов, стратегий) X , среди которых необходимо произвести ранжирование альтернатив и присвоить им вес по предпочтениям принимающего решение лица (или лиц, экспертов).

Задаётся главная цель F , исходя из которой производится выбор или ранжирование с присвоением веса множеству альтернатив X . В большинстве случаев главная цель (главный критерий) разбивается на подцели (так называемые частные критерии). С учётом этого добавляется дополнительное условие: задано некоторое множество подцелей f_1, f_2, \dots, f_n , учитываемых при выборе или ранжировании альтернатив множества X .

Необходимо с учётом цели F и подцелей f_1, f_2, \dots, f_n произвести ранжирование альтернатив (объектов) по степени их значимости и присвоить им соответствующий вес.

Такая постановка задачи и используемое решение успешно согласуется с задачей определения эффективности методов мотивации на предприятии. При этом в качестве экспертов, участие которых необходимо в МАИ, авторы статьи предлагают использовать персонал предприятия. Каждый эксперт оценку производит независимо. Данное предложение является не чем иным, как одним из составляющих метода Дельфи. Согласно методу Дельфи каждый участник группы отвечает анонимно на заранее подготовленную анкету, чтобы избежать непропорционального влияния авторитетных экспертов [3].

Оценку следует проводить в форме анкетирования персонала. При этом сотрудники должны быть уверены в конфиденциальности предоставляемой информации. Следует также учитывать, что не все сотрудники могут иметь рабочее место, оборудованное компьютером. Поэтому заполнение электронных анкет с рабочего компьютера невозможно.

Кроме того, следует учитывать, что в связи с большим количеством экспертов, которые могут проводить оценку, и большим количеством вопросов, на которые необходимо ответить, суммарное количество ответов (оценок), которые необходимо обработать, становится значительным. Сбор и обработка такого количества информации потребует больших финансовых и временных затрат. То есть возникает ещё одна задача — уменьшить время и стоимость сбора и обработки оценок экспертов.

Одним из путей рационального решения данной задачи может быть следующая технология. Предлагается проводить анкетирование путём раздачи сотрудникам бумажных анкет. Анкеты составлены в форме выбора ответов, и сотрудник производит заполнение анкеты, отмечая соответствующий пункт из нескольких предлагаемых. Обработка анкет может производиться автоматизированным способом. На крупных предприятиях данный метод является наиболее предпочтительным, а иногда и единственным возможным.

После заполнения анкеты сотрудник помещает её в считающее устройство автоматизированной системы сбора данных [7], которое может быть расположено при выходе с территории предприятия. Независимо от способа обработки информации сотрудникам гарантируется конфиденциальность анкетирования, так как на анкетах отсутствуют отличительные знаки.

Методы оценки результатов работы персонала на предприятии. Раскроем суть ССП и КПЭ в качестве инструментов для оценки эффективности работы персонала предприятия. ССП и КПЭ являются действенными инструментами для оценки эффективности персонала и значительно облегчают решение данной задачи с точки зрения как временных, так и финансовых затрат.

Использование ССП и КПЭ на предприятии целесообразно не только для оценки результатов работы персонала, но и одновременно для оценки других показателей предприятия. Применение этого метода действительно эффективно и актуально для предприятий, уже использующих ССП и КПЭ для оценки результатов своей деятельности. В настоящее время в российских компаниях этот метод применяется всё чаще, а в западных — является одним из наиболее популярных.

Несмотря на существование других методов, ССП и КПЭ в качестве инструментов оценки различных показателей деятельности компаний являются актуальными и эффективным средствами не только для авиапредприятий, но и для предприятий других форм деятельности.

Суть ССП, как инструмента оценки эффективности персонала, состоит в следующем. Руководство компании определяет стратегию развития предприятия, а также стратегические цели, которые необходимо достичнуть. Далее эти цели декомпозируются на задачи, которые необходимо выполнить для достижения цели. Вначале цели декомпозируются до уровня руководителей подразделений, отделов и т. д., пока не достигнут уровня рядовых работников.

Таким образом, у каждого сотрудника предприятия есть конкретно определенные цели, к которым необходимо стремиться, и задачи, выполнение которых позволит двигаться согласно той стратегии, которую определило руководство предприятия.

По своевременности и качеству выполненной задачи, поставленной перед конкретным сотрудником, можно определить КПЭ, которые подлежат измерению, если это количественные показатели, или оценки, если эти показатели качественные. Именно КПЭ и будут служить исходными данными для автоматизации оценки эффективности работы персонала предприятия.

Определение показателей, по которым будет оцениваться сотрудник, позволяет фокусировать работу каждого сотрудника на достижение поставленных целей, а использование КПЭ как инструмента оценки персонала в модуле мотивации позволит предоставлять руководству предприятия оперативную достоверную информацию об эффективности работы персонала предприятия.

Заключение. Естественно, что встраивание методов оценки в HRM-системы возможно (и необходимо) не только в области мотивации персонала. Другие направления (например, адаптация, обучение, оценка и т. д.) требуют своих методов оценки эффективности и также зачастую сложно формализуемы. Но это уже другая задача, решение которой выходит за рамки настоящей работы.

Библиографические ссылки

1. ИТ в кадровом учёте и управлении персоналом // Компания TAdviser. 2007. URL: http://www.tadviser.ru/storage/HRM_open.pdf (дата обращения 11.12.2008).
2. Решение SAP для авиакомпаний // Компания SAP AG. 2005. URL: <http://www.sap.com/cis/pdf/avia.pdf> (дата обращения 02.03.2009).
3. Гершун А.М. Разработка сбалансированной системы показателей: практическое руководство с примерами. М.: Олимп-Бизнес, 2007. 128 с.
4. Ржехин В.М. Разработка показателей эффективности отделов, подразделений, персонала. Пошаговая инструкция М.: Вершина, 2008. 224 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 314 с.
6. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. СПб.: ЮТАС, 2007. 104 с.
7. Рудычева Н. Создание и модернизация ГАС «Выборы» // CNEWS.RU: издание о высоких технологиях. 2007. URL: http://www.cnews.ru/reviews/free/gov2007/articles/01_selections.shtml (дата обращения 21.03.2009).

УДК 62–52: 681.5

В.Ф. Шумилов, канд. техн. наук, доц., **Н.И. Шумилова**, канд. техн. наук, доц.
(Муромский филиал Владимирского государственного университета)

v.v.shumilova@mail.ru

МЕТОД ПЛАВНОЙ СТЫКОВКИ РЕЖИМОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМАХ

Предложен метод формирования плавных переходных процессов при смене режимов (пуск, разгона, торможения, реверса, постоянства, останова). Приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова: привод, переходный процесс, плавность, режимы, двигатель постоянного тока, моделирование.

Formation method of the smooth processes transition when regime changing (activation, acceleration, braking, reverse, constancy, stop) is proposed. Mathematical modeling results are introduced.

Key words: drive, transition process, smoothness, regimes, direct current motor, modelling.

Разработка систем управления по критерию плавности динамического нагружения производственных систем имеет важное значение во всех отраслях народного хозяйства [1]. Плавность динамического нагружения систем обеспечивает безударную стыковку таких режимов, как пуск, разгон, торможение, реверс, постоянство, останов с учётом ограничений на динамические параметры управляемых систем. Исполнительными механизмами в таких системах являются электрические, гидравлические, пневматические приводы.

Ниже рассмотрен метод формирования плавных переходных процессов при смене режимов на примере автоматизированного электропривода постоянного тока, в котором управление осуществляется напряжением, подаваемым на обмотку якоря двигателя постоянного тока независимого возбуждения. При формировании управляющего напряжения учитываются ограничения

на равенство нулю производных угловой скорости двигателя и тока якоря в моменты смены режимов.

Движение привода и электрическое равновесие в цепи якоря описываются следующими дифференциальными уравнениями [2]:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c; \quad (1)$$

$$U = ri + L \frac{di}{dt} + E, \quad (2)$$

где U – напряжение, приложенное к цепи обмотки якоря; i – ток якоря; E – электродвигущая сила обмотки якоря; J – приведённый момент инерции; M – электромагнитный момент; M_c – статический момент сопротивления; r (L) – активное сопротивление (индуктивность) цепи обмотки якоря; ω – угловая скорость; t – время ($0 \leq t \leq T$, T – время переходного процесса смены режима).

Закон изменения углового ускорения ε ($\varepsilon = d\omega/dt$) задаётся в классе базисной полиномиальной функции $SH(t)$ [1, 3] в виде

$$\varepsilon = A + (B - A) \left(\frac{t}{T} \right)^2 \left[3 - 2 \frac{t}{T} \right], \quad (3)$$

где A (B) – начальное (конечное) значение углового ускорения; T – промежуток времени переходного процесса данного режима, в течение которого угловое ускорение, начальное значение которого равно A , монотонно достигает конечного значения B .

Так как рассматриваемые процессы непрерывные, то значение функции (параметр A) в новом режиме в начальный момент времени всегда совпадает со значением функции (параметр B) в конце предыдущего режима работы (управляемой системы – электропривода) и т. д.

Параметры A , B , T позволяют реализовать любой выбранный режим в переходных процессах:

пуск: $A = 0$ (B – любое, $B \neq 0$);

разгон: а) $A < B$ ($A \geq 0$, $B \neq 0$) или б) $A > B$ ($B \geq 0$, $A \neq 0$);

торможение: а) $A > B$ ($A \leq 0$, $B \neq 0$) или б) $A < B$ ($B \leq 0$, $A \neq 0$);

постоянство: $A = 0$, $B = 0$;

останов: $B = 0$ (A – любое, $A \neq 0$).

Уравнения (1)–(2) представляют собой замкнутую систему для определения параметров электропривода, в том числе и управляющего напряжения U :

$$U(t) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 + b_1 t,$$

где $z = t/T$; $a_0 = \frac{r}{C}(JA + M_c)$; C – коэффициент электродвижущей силы и момента двигателя;

$$a_1 = 6 \frac{LJ}{CT} (B - A); \quad a_2 = 3 \frac{L}{C} (B - A) \left(r - 2 \frac{L}{T} \right);$$

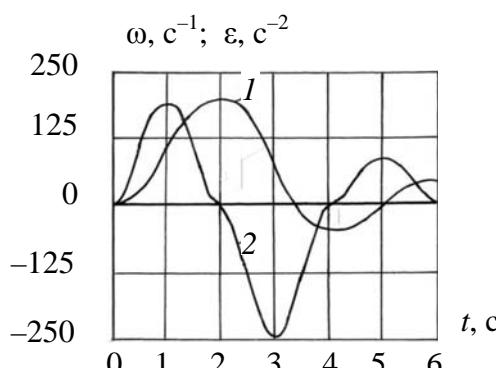


Рис. 1. Временные изменения механических параметров

$$a_3 = (B - A) \left(CT - 2 \frac{rJ}{C} \right); \quad a_4 = -\frac{1}{2} CT (B - A); \\ b_1 = CA.$$

Изменения других параметров управляемой системы имеют вид

$$\omega = (B - A) T z^3 \left(1 - \frac{1}{2} z \right) + At + \omega_0;$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = 6 \frac{B - A}{T} z (1 - z);$$

$$i = \frac{1}{C} \{ J [A + (B - A) z^2 (3 - 2z)] + M_c \};$$

$$\frac{di}{dt} = 6(B - A) \frac{J}{CT} (z - z^2);$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{T} (a_1 + 2a_2 z + 3a_3 z^2 + 4a_4 z^3) + b_1.$$

Проведены численные расчёты на ЭВМ переходных процессов в электроприводе с двигателем постоянного тока независимого возбуждения ПБСТ-42 мощностью 3,5 кВт. На рис. 1 приведены зависимости изменения угловой скорости (кривая 1) и углового ускорения (кривая 2). На рис. 2 кривая 1 показывает изменение управляющего напряжения, а кривая 2 – изменение производной тока якоря.

Отклонение параметра α (скачок) в узловой точке смены режимов определяется по формуле

$$\Delta\alpha(T) = \alpha(T+0) - \alpha(T-0),$$

поэтому в узловых точках смены режимов нет рывков угловой скорости, управляющего напряжения, углового ускорения (3) (см. рис. 1, 2), тока якоря и его производной.

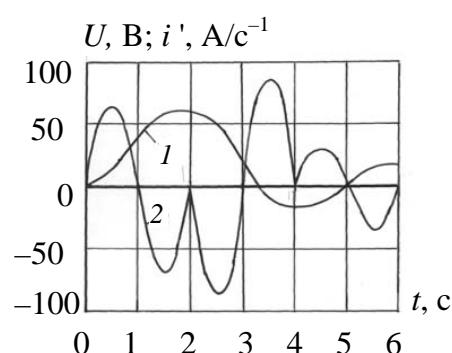


Рис. 2. Временные изменения электрических параметров

Таким образом, результаты математического моделирования приведённой выше системы привода подтверждают эффективность предложенного метода. Реализация управляющего напряжения возможна на основе использования ячеек функционального преобразователя ПФ-2АИ, входящих в состав аналоговых элементов унифицированной блочной системы регуляторов УБСР-АИ аналогового действия [4].

Разработанный метод формирования плавных переходных процессов при стыковке режимов в автоматизированных системах позволяет исключить ударные нагрузки. Предлагаемая методика может быть рекомендована для использования при расчёте и проектировании автоматизированных систем, где предъявляются повышенные требования к динамическим режимам.

Библиографические ссылки

1. Шумилов В.Ф. Оценка динамичности нагружения инженерных систем // Заводская лаборатория. 1999. № 4. С. 52–55.
2. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981. 576 с.
3. Шумилов В.Ф. К проблеме аналитического решения стационарного термокапиллярного движения несжимаемой вязкой жидкости в слое // Объединённый научный журнал. 2008. № 2 (208). С. 43–49.
4. Евзеров И.Х., Горобец А.С., Мошкович Б.И., Перельмутер В.М., Яновский Л.А. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1988. 319 с.

УДК 681.5

А.Б. Чернышев, канд. техн. наук, доц.
(Северо-Кавказский государственный университет, г. Ставрополь)

chalbor@rambler.ru

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КРИТЕРИЯ АБСОЛЮТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ СИСТЕМ

Исследовано применение частотного критерия абсолютной устойчивости, известного из теории систем с сосредоточенными параметрами, для анализа нелинейных систем управления с распределёнными параметрами. Рассмотрен класс систем с устойчивой линейной частью. Получен аналог критерия для распределённых систем с нелинейными характеристиками, не зависящими от пространственных координат распределённого объекта управления.

Ключевые слова: системы управления, устойчивость, частотные характеристики.

Application of the absolute firmness frequency criterion, that is known from theory of systems with concentrated parameters, for analysis of the non-linear control systems with distributed parameters was investigated. Class of systems with steady linear part is considered. Criteria analog for distributed systems with non-linear descriptions independent from spatial coordinates of the distributed object is derived.

Key words: control system, firmness, frequency descriptions.

Системы с распределёнными параметрами – это системы, для которых изменение управляемых величин как во времени, так и в пространстве описывается дифференциальными уравнениями в частных производных, интегральными, интегро-дифференциальными уравнениями или системами уравнений самой различной природы. Физически появление частных производных соответствует учёту волновых явлений или гидравлического удара в трубопроводах, волновых процессов в длинных линиях электропередач, пространственной

неравномерности распределения температуры при нагреве металлических заготовок и т. д. Управление такими системами является более сложным по сравнению с сосредоточенными системами. Исследование абсолютной устойчивости возникает в связи с тем, что в некоторых случаях нелинейная характеристика является нестабильной и может быть охарактеризована только определённой областью. Для анализа нелинейных систем с сосредоточенными параметрами используется частотный критерий определения абсолютной устойчивости,

т. е. устойчивости системы при любых начальных отклонениях для любой формы нелинейной характеристики, принадлежащей к некоторому определённому классу.

Для абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной сосредоточенной системы с устойчивой линейной частью (ЛЧ) достаточно существования действительного значения q , для которого выполняется условие

$$\forall \omega \geq 0 : \operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] > -\frac{1}{k}, \quad (1)$$

где k — угол абсолютной устойчивости, являющийся некоторым предельным параметром нелинейной характеристики $\varphi(\sigma)$, произвольно располагающейся в заданной области:

$$0 \leq \frac{j(\sigma)}{\sigma} \leq k \text{ при } \sigma \neq 0; \varphi(0) = 0.$$

Частотная характеристика (амплитудно-фазовая) представляется в виде

$$W(j\omega) = \operatorname{Re}[W(j\omega)] + j \operatorname{Im}[W(j\omega)].$$

Согласно критерию абсолютной устойчивости, сформулированному В.М. Поповым [1], вводится понятие модифицированной амплитудно-фазовой характеристики линейной части (АФХ ЛЧ):

$$W^*(j\omega) = \operatorname{Re}[W^*(j\omega)] + j \operatorname{Im}[W^*(j\omega)],$$

$$\operatorname{Re}[W^*(j\omega)] = \operatorname{Re}[W(j\omega)],$$

$$\operatorname{Im}[W^*(j\omega)] = \omega \operatorname{Im}[W(j\omega)].$$

Рассмотрим объект с распределёнными параметрами, описываемый уравнением теплопроводности, математическая модель которого имеет вид

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial x^2} = f(x,t);$$

$$Q(x,0) = Q_0(x); \quad Q(0,t) = q_1(t);$$

$$Q(l,t) = q_2(t); \quad 0 \leq x \leq l; \quad t \geq 0; \quad a > 0.$$

Передаточная функция по каждому контуру пространственно-инвариантной системы может быть представлена в виде

$$W_n(p) = \frac{\frac{2}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{\frac{p}{a^2 \psi_n^2} + 1},$$

где $\psi_n = \frac{\pi n}{l}$; $p = \frac{d}{dt}$ — оператор дифференцирования; a — коэффициент температуропроводности.

Заменяя $p = j\omega$, получим частотную характеристику по n -й ($n = 1, \infty$) составляющей входного воздействия:

$$W_n(j\omega) = \frac{\frac{2}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{\frac{1}{j\omega a^2 \psi_n^2} + 1}.$$

Выделяя действительную и мнимую части, получим

$$\operatorname{Re}[W_n(j\omega)] = \frac{\frac{2}{l} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{a^2 \psi_n^2 + \omega^2} -$$

$$- j \frac{\frac{2\omega}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{a^2 \psi_n^2 + \omega^2};$$

$$\operatorname{Im}[W_n(j\omega)] = \frac{\frac{2}{l} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{a^2 \psi_n^2 + \omega^2};$$

$$\operatorname{Im}[W(j\omega)] = - j \frac{\frac{2\omega}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{a^2 \psi_n^2 + \omega^2}.$$

Согласно условию критерия абсолютной устойчивости:

$$\operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] > -\frac{1}{k},$$

получим

$$\operatorname{Re}[W(j\omega)] - \omega q \operatorname{Im}[W(j\omega)] > -\frac{1}{k}.$$

Обозначим $X = \operatorname{Re}[W(j\omega)]$, $Y = \omega \operatorname{Im}[W(j\omega)]$, тогда $X - qY + \frac{1}{k} = 0$ — уравнение прямой в прямоугольной системе координат OXY , для которой действительное значение q из условия (1) выступает в роли углового коэффициента.

Введём в систему координат ось $\tilde{G} = \psi_n^2$, где $\tilde{G}(n)$ – дискретная функция с областью изменения от \tilde{G}_H до \tilde{G}_K ; $\psi_n^2 = \left(\frac{\pi n}{l}\right)^2$, ($n = 1, 2, 3, \dots$); $\tilde{G}_H = \frac{\pi^2}{l^2}$; $\tilde{G}_K \rightarrow \infty$.

Заменим функцию $\tilde{G}(n)$ непрерывной функцией $G(n)$ с областью определения $[\tilde{G}_H; \infty)$. В этом случае все дискретные значения функции \tilde{G} будут принадлежать области определения функции G [2].

Предположим, что нелинейная характеристика объекта не зависит от пространственных координат, следовательно, и от функции $\tilde{G} = \frac{\pi^2 n^2}{l^2}$, т. е. от параметра n . Другими словами, вид и форма нелинейной характеристики остаются неизменными для каждой составляющей разложения передаточной функции в ряд Фурье. Тогда для каждого значения n получим прямую в системе координат $OXY\tilde{G}$. Угловой коэффициент q для всех прямых не зависит от значения \tilde{G} . Длина отрезка $1/k$, отсекаемого каждой прямой по оси OX , также не зависит от значения \tilde{G} . Следовательно, все прямые параллельны между собой и находятся на одинаковом расстоянии от оси G , т. е. образуют плоскость в системе координат $OXYG$.

В работе [3] показано, что пространственно-инвариантную систему управления можно представить как совокупность независимых контуров управления по каждой пространственной моде входного воздействия. Если каждый контур асимптотически устойчив, то и система управления в целом устойчива. В каждой плоскости, параллельной плоскости OXY , для каждого значения n ($n = 1, \infty$) вектор $W(j\omega)$ описывает годограф при изменении значения ω от 0 до ∞ . Для графической иллюстрации анализа устойчивости необходимо построить модифицированный пространственный годограф, отличающийся изменением значе-

ний мнимой части в ω раз. В качестве примера рассмотрим систему с нелинейной характеристикой релейного типа, линейная часть которой описывается типовым апериодическим звеном

$$W(p) = \frac{K}{Tp + 1},$$

где K – коэффициент передачи апериодического звена; T – постоянная времени; p – оператор преобразования Лапласа.

Для релейного элемента угол абсолютной устойчивости $k = \infty$. Следовательно, прямая, образующая этот угол, совпадает с осью OY комплексной плоскости XOY . Таким образом, чтобы система с релейным элементом была абсолютно устойчивой, модифицированная частотная характеристика линейной части системы $W^*(j\omega)$ не должна пересекать ось комплексной плоскости, т. е. не должна располагаться во второй и третьей координатных четвертях (рис. 1).

Частотная характеристика рассматриваемой системы определяется выражением [1]

$$W(j\omega) = \frac{K}{1 + \omega^2 T^2} - j \frac{K\omega T}{1 + \omega^2 T^2}.$$

Модифицированная частотная характеристика имеет вид

$$W^*(j\omega) = \frac{K}{1 + \omega^2 T^2} - j \frac{K\omega^2 T}{1 + \omega^2 T^2}.$$

Мнимая часть модифицированной частотной характеристики запишется в виде

$$Y(\omega) = -\frac{K\omega^2 T}{1 + \omega^2 T^2}.$$

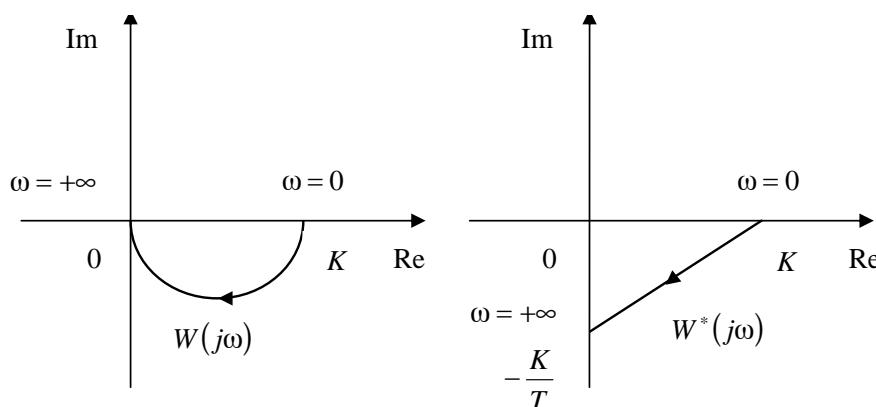


Рис. 1. Годографы частотной характеристики $W(j\omega)$ и модифицированной частотной характеристики $W^*(j\omega)$:

K – коэффициент передачи; T – постоянная времени; ω – круговая частота

Тогда

$$\lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{K\omega T}{1 + \omega^2 T^2} = 0; \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{K\omega^2 T}{1 + \omega^2 T^2} = \frac{K}{T}.$$

Таким образом, сосредоточенная система с нелинейной характеристикой релейного типа и линейной частью, описываемой апериодическим звеном, будет абсолютно устойчива.

Для объекта с распределёнными параметрами, математическая модель которого имеет вид

$$\frac{\partial Q(x, t)}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 Q(x, t)}{\partial x^2} = j[\sigma(t)];$$

$$Q(x, 0) = Q_0(x, 0); \quad Q(0, t) = q_1(t); \quad Q(l, t) = q_2(t);$$

$$0 \leq x \leq l; \quad t \geq 0; \quad a > 0,$$

передаточная функция по каждому контуру пространственно-инвариантной системы может быть представлена в виде

$$W_n(s) = \frac{\frac{2l}{n^2 a^2 \pi^2} \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{\pi n}{l} \xi}{\frac{l^2}{n^2 a^2 \pi^2} s + 1}.$$

Обозначив

$$K_n = \frac{2l}{n^2 a^2 \pi^2} \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{\pi n}{l} \xi, \quad T_n = \frac{l^2}{n^2 a^2 \pi^2},$$

получим

$$W_n(s) = \frac{K_n}{T_n p + 1}.$$

Объект, описываемый уравнением теплопроводности при граничных условиях первого рода, можно структурно представить в виде параллельного соединения бесконечного числа апериодических инерционных звеньев первого порядка [4]

при условии, что время $T_n = \left(\frac{l}{a\pi n}\right)^2$ – постоянная величина для каждого контура, а коэффициенты передачи $K_n(x, \xi) = \frac{2l}{(a\pi n)^2} \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{\pi n}{l} \xi$ зависят от точек наблюдения x и точек действия источников ξ . Введём обобщённую координату $G = \left(\frac{\pi n}{l}\right)^2$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) [2]. Рассмотрим модифицированный пространственный годограф при значениях $\xi = x = \frac{l}{4}$ для первых шести составляющих ряда (рис. 2):

$$\frac{K}{T} = \frac{2}{l} \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{\pi n}{l} \xi;$$

$$\frac{K_1}{T_1} = \frac{1}{l}; \quad \frac{K_2}{T_2} = \frac{2}{l}; \quad \frac{K_3}{T_3} = \frac{1}{l}; \quad \frac{K_4}{T_4} = 0; \quad \frac{K_5}{T_5} = \frac{1}{l}; \quad \frac{K_6}{T_6} = \frac{2}{l};$$

$$K_1 = \frac{l}{a^2 \pi^2}; \quad K_2 = \frac{l}{2a^2 \pi^2}; \quad K_3 = \frac{l}{9a^2 \pi^2}; \quad K_4 = 0;$$

$$K_5 = \frac{l}{25a^2 \pi^2}; \quad K_6 = \frac{l}{18a^2 \pi^2}.$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} K_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{2l}{n^2 a^2 \pi^2} \sin^2 \frac{\pi n}{4} = 0.$$

Рассмотренная распределённая система с нелинейным элементом релейного типа будет всегда абсолютно устойчива.

Таким образом, при сделанных допущениях критерий абсолютной устойчивости для систем с

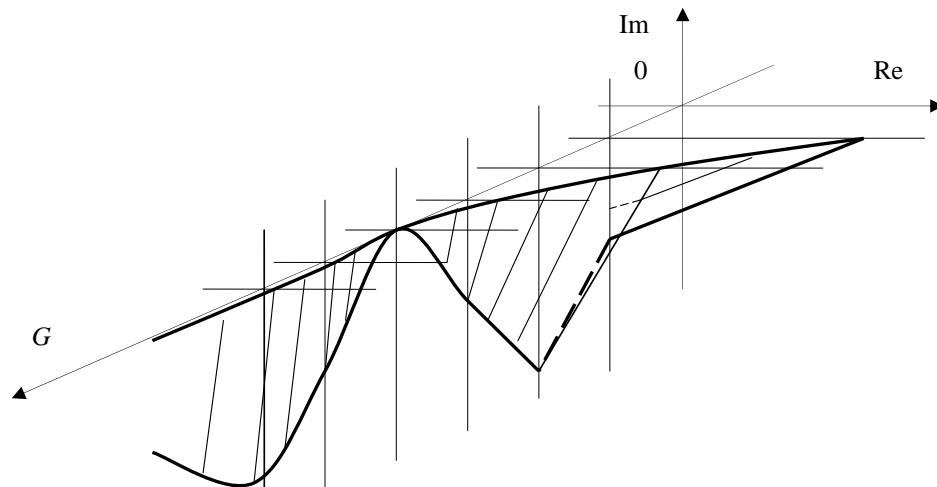


Рис. 2. Модифицированный пространственный годограф распределённой системы

распределёнными параметрами может быть интерпретирован следующим образом: для абсолютной устойчивости нелинейной распределённой системы при условии, что нелинейная характеристика не зависит от пространственных координат достаточно, чтобы модифицированный пространственный годограф разомкнутой системы находился справа от плоскости, проходящей через линию L :

$$\{\omega \operatorname{Im}(W) = 0; \operatorname{Re}(W) = -\frac{1}{k}; G\} \text{ под углом } \alpha = \operatorname{arctg} \frac{1}{q}$$

к плоскости $\{\operatorname{Re}(W); G\}$.

В этом случае частотная характеристика каждого контура системы управления будет расположена правее прямой $\operatorname{Re}(W) - q\omega \operatorname{Im}(W) + \frac{1}{k} = 0$. Следовательно, каждый контур системы управления будет устойчив, а значит, будет устойчива и вся система. Однако параметр k – угол абсолютной устойчивости, ограничивающий сектор не-

линейной характеристики, может зависеть от значения обобщённой координаты G . Поэтому вопрос о возможности интерпретации частотного критерия абсолютной устойчивости для нелинейных систем с распределёнными параметрами при нелинейной характеристике, зависящей от пространственных координат объекта управления, требует дальнейших исследований.

Библиографические ссылки

1. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления. СПб.: Политехника, 2002. 302 с.
2. Першин И.М. Анализ и синтез систем с распределёнными параметрами. Пятигорск: РИА-КМВ, 2007. 245 с.
3. Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределёнными параметрами. М.: Наука, Гл. ред. ф.-м. лит., 1985. 136 с.
4. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами. М.: Высшая школа, 2003. 302 с.

УДК 621.396.931

А.Г. Янишевская, канд. техн. наук, доц., **А.А. Иволгин**
(Омский государственный технический университет)

anna-yanish@mail.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Описаны основные способы модернизации работы сотовых сетей. Рассмотрены особенности анализа сотовых сетей на примере разработок, позволяющих решать задачи, связанные с оптимизацией сотовых сетей связи, представлены её достоинства и недостатки, проанализированы показатели электромагнитной совместимости проектируемой сети с другими сетями, работающими в той же местности, рассмотрены характеристики сетей с учётом конкретных географических условий местности при заданном распределении трафика и источниках помех.

Ключевые слова: третье поколение сотовой связи, частотно-территориальное планирование, трафик, агрегация, топология сети.

Fundamental modernization means of the honeycomb nets work are described. Honeycomb nets analysis features as an example of development for tasks decision of the honeycomb connection nets optimization are considered. Its merits and limitations are introduced. Electromagnetic compatibility indexes of the projected net with another nets working in the same country are reviewed. Nets descriptions taking into account specific geographic country condition for given traffic distribution and given obstacles sources are considered.

Key words: third generation of honeycomb connection, frequency-territorial planning, traffic, aggregation, net topology.

Сотовая связь — один из видов мобильной радиосвязи, в основе которой лежит сотовая сеть. Ключевая особенность заключается в том, что общая зона покрытия делится на ячейки (соты), определяющиеся зонами покрытия отдельных базовых станций (БС).

Соты частично перекрываются и вместе образуют сеть. На идеальной (ровной и без застройки) поверхности зона покрытия одной БС представляет собой круг, поэтому составленная из них сеть имеет вид сот с шестиугольными ячейками (сотами).

Сеть составляют разнесённые в пространстве приёмопередатчики, работающие в одном и том же частотном диапазоне, и коммутирующее оборудование, позволяющее определять текущее местоположение подвижных абонентов и обеспечивать непрерывность связи при перемещении абонента из зоны действия одного приёмопередатчика в зону действия другого.

В настоящее время всё большее распространение получают сотовые сети третьего поколения (3G). Заметим, что все эти сети не заменяют предыдущее поколение сотовой связи (2G: GSM, DAMPS), а лишь строятся на базе существующих 2G-сетей. Таким образом, сети второго поколения остаются основой для развития сетей третьего поколения, и абоненты этой сети могут использовать услуги и сервисы как 2G- так и 3G-сетей.

Стандарт GSM (от названия группы *Groupe Special Mobile*, позже переименован в *Global System for Mobile Communications*) предназначен для мобильной сотовой связи с разделением канала по принципу TDMA и высокой степенью безопасности благодаря шифрованию с открытым ключом.

GSM на сегодняшний день является наиболее распространённым стандартом связи. По данным ассоциации GSMA, на этот стандарт приходится 82 % мирового рынка мобильной связи, 29 % населения земного шара использует глобальные технологии GSM. В GSMA в настоящее время входят операторы более чем 210 стран и территорий. GSM относится к сетям второго поколения (2 Generation), хотя с 2006 г. условно находится в фазе 2,5G (1G — аналоговая сотовая связь, 2G — цифровая сотовая связь, 3G — широкополосная цифровая сотовая связь, коммутируемая многоцелевыми компьютерными сетями, в том числе Интернет).

Преимущества стандарта GSM:

меньшие по сравнению с аналоговыми стандартами (NMT-450, AMPS-800) размеры и масса телефонных аппаратов при большем времени работы без подзарядки аккумулятора. Это достигается в основном за счёт аппаратуры базовой станции, которая постоянно анализирует уровень сигнала, принимаемого от аппарата абонента. В тех случаях, когда он выше требуемого, на сотовый телефон автоматически подаётся команда снизить излучаемую мощность;

хорошее качество связи при достаточной плотности размещения базовых станций;

большая ёмкость сети, возможность большого числа одновременных соединений;

низкий уровень индустриальных помех в данных частотных диапазонах;

максимальная защита от подслушивания и нелегального использования, что достигается применением алгоритмов шифрования с открытым

ключом. EFR-технология является усовершенствованной системой кодирования речи. Система была разработана фирмой *Nokia* и впоследствии стала промышленным стандартом кодирования/декодирования для технологии GSM;

широкое распространение, особенно в Европе, большой выбор оборудования. На сегодняшний день стандарт GSM поддерживают 228 операторов, официально зарегистрированных в Ассоциации операторов GSM из 110 стран.

К недостаткам стандарта GSM относятся:

искажение речи при цифровой обработке и передаче;

осуществление связи на расстоянии не более 120 км от ближайшей базовой станции даже при использовании усилителей и направленных антенн. Поэтому для покрытия определённой площади необходимо большое количество передатчиков;

причинение вреда здоровью мощностью излучения мобильного телефона. Производители оборудования GSM постепенно повышают чувствительность выпускаемых устройств, что ведёт к снижению требуемой мощности излучения телефонов, но принципиально ситуация не меняется.

Цифровой стандарт мобильной связи GSM-900 работает в диапазоне частот от 890 до 915 МГц (от телефона к базовой станции) и от 935 до 960 МГц (от базовой станции к телефону).

В некоторых странах диапазон частот GSM-900 был расширен соответственно до 880—915 МГц и 925—960 МГц, благодаря чему максимальное количество каналов связи увеличилось на 50. Такая модификация была названа E-GSM (extended GSM).

GSM-1800 — это модификация стандарта GSM-900, цифровой стандарт мобильной связи в диапазоне частот от 1710 до 1880 МГц.

К особенностям GSM-1800 относятся:

максимальная излучаемая мощность мобильных телефонов стандарта GSM-1800 составляет 1 Вт, большее время непрерывной работы без подзарядки аккумулятора и более низкий уровень радиоизлучения;

высокая ёмкость сети, что важно для крупных городов;

возможность использования телефонных аппаратов, работающих в стандартах GSM-900 и GSM-1800 одновременно. Такой аппарат функционирует в сети GSM-900, но, попадая в зону GSM-1800, переключается вручную или автоматически. Это позволяет оператору рациональнее использовать частотный ресурс, а клиентам экономить деньги за счёт низких тарифов. В обеих сетях абонент пользуется одним номером. Проблема состоит в том, что зона охвата для каждой базовой станции значительно меньше, чем в стандар-

tax *GSM*-900, *AMPS/DAMPS*-800, *NMT*-450. Необходимо большее число базовых станций. Чем выше частота излучения, тем больше проникающая способность радиоволн и тем меньше способность отражаться и огибать препятствия.

В индустрии сотовой связи только сеть, которая позволяет произвести своевременное расширение, может удерживать лидирующие позиции в конкурентной среде рынка. Именно такая сеть способна обслуживать возрастающее число абонентов, обеспечивать большее покрытие и улучшение качества услуг. Для лучшего предоставления услуг развивающаяся сеть требует постоянной оптимизации при работе в условиях переменного качества связи из-за изменения состояния окружающей среды.

Для сотовой связи нередки случаи плохого приёма сигнала, низкой скорости доступа, плохого качества связи и большого процента прерывания связи. В результате операторы имеют низкие показатели производительности систем, теряют абонентов, репутацию в деловых кругах, прибыль от эксплуатации сети. Оптимизация работы сети позволяет улучшить общее качество работы сети, дать преимущество оператору, поставщикам оборудования и пользующимся услугами сети абонентам.

Рассмотрим особенности модернизации сотовых сетей на примере разработок, позволяющих оптимизировать сотовые сети связи и применяемых рядом ведущих операторов для оптимизации и анализа характеристик сетей. Их использование даёт возможность оптимизировать ресурсы сети, оценить её достоинства и недостатки, проанализировать показатели электромагнитной совместимости проектируемой сети с другими сетями, работающими в той же местности, и оптимизировать характеристики с учётом конкретных географических условий местности при заданном распределении трафика и источников помех.

В настоящее время, когда рынок сотовой связи насыщен, а развитие сетей сотовых операторов находится практически на одном уровне, на первое место в конкурентной борьбе выходит предоставление высокого качества услуг с постоянным расширением востребованных сервисов. Ключевую роль в этой борьбе играет оптимизация работы существующих сетей сотовых операторов.

Операторы сотовой связи сталкиваются с жёсткой конкуренцией в отношении дифференцирования предоставляемых услуг, увеличения зон покрытия, уровня удовлетворённости клиентов, предоставления новых услуг и достижения более высоких прибылей. Оптимизация сетей представляет собой эффективную и гибкую транспортную оптимизацию сетей, которая может помочь операторам *GSM* и *UMTS* решить эти задачи. Операторы сотовой связи стремятся сократить эксплуатаци-

онные расходы транспорта для сетей *GSM* и *UMTS* путём оптимизации и агрегации различных соединений, усовершенствования оптимизированной транспортной сети для будущего роста до возможности поддержки расширенных широкополосных беспроводных услуг передачи голоса и данных на базе *2G* (*GPRS*, *EDGE*) и *3G* (*UMTS*, *HSDPA*) без использования дорогостоящих линий *T1/E1*.

Расширение сети предоставляет новые услуги на основе *IP*-технологии: передача изображения с камер телевещания или наблюдения, зон доступа *Wi-Fi* и доступ к *IP*-телефонии с совокупностью базовых станций *GSM* и *UMTS*, а также получение новых возможностей увеличения доходов.

Путём удаления незанятых каналов и повторяющегося кода в *TDM*-канале объём *GSM*-трафика уменьшается на 50 %. Таким образом, операторы сетей могут сохранять объём трафика на неизменном уровне, при этом количество используемых соединений *T1/E1* снижается вдвое. В результате получается прозрачное решение оптимизации транспорта (рис. 1), не влияющее на качество голосовой связи и не требующее изменения в системе управления и ПО ни для существующих *BTS/BSC*, ни для *NodeB/RNC*.

Уровень проникновения сотовой связи в России превысил 100 %, и, как наглядное тому подтверждение, всё чаще встречаются абоненты, имеющие два сотовых телефона разных операторов. Очевидно, что при таком насыщении рынка дальнейшее увеличение прибыльности сотовых операторов возможно за счёт предоставления новых услуг и сокращения внутренних издержек, в том числе издержек на развитие и эксплуатацию сети.

Системы *GSM* и *UMTS* состоят из трёх основных подсистем: подсистемы базовых станций (*GSM*: *BSS* — *Base Station Subsystem*, *UMTS*: *NodeB*, *RNC*), подсистемы коммутации (*NSS* — *Network Switching Subsystem*) и центра технического обслуживания (*OMC* — *Operation and Maintenance Center*).

В отдельный класс оборудования *GSM* выделены терминальные устройства — подвижные станции (*MS* — *Mobile Station*), также известные как мобильные (сотовые) телефоны.

Подсистема базовых станций *BSS* состоит из собственно базовых станций (*BTS* — *Base Transceiver Station*, *NodeB*) и контроллеров базовых станций (*BSC/RNC* — *Base Station Controller*). Область, покрываемая сетью, разбита на соты шестиугольной формы (рис. 2).

Диаметр каждой шестиугольной ячейки может быть разным — от 400 м до 50 км. Максимальный теоретический радиус ячейки составляет 120 км, что обусловлено ограниченной возможностью системы синхронизации к компенсации времени задержки сигнала. Каждая ячейка покрывается одной *BTS*, при этом ячейки частично перекры-

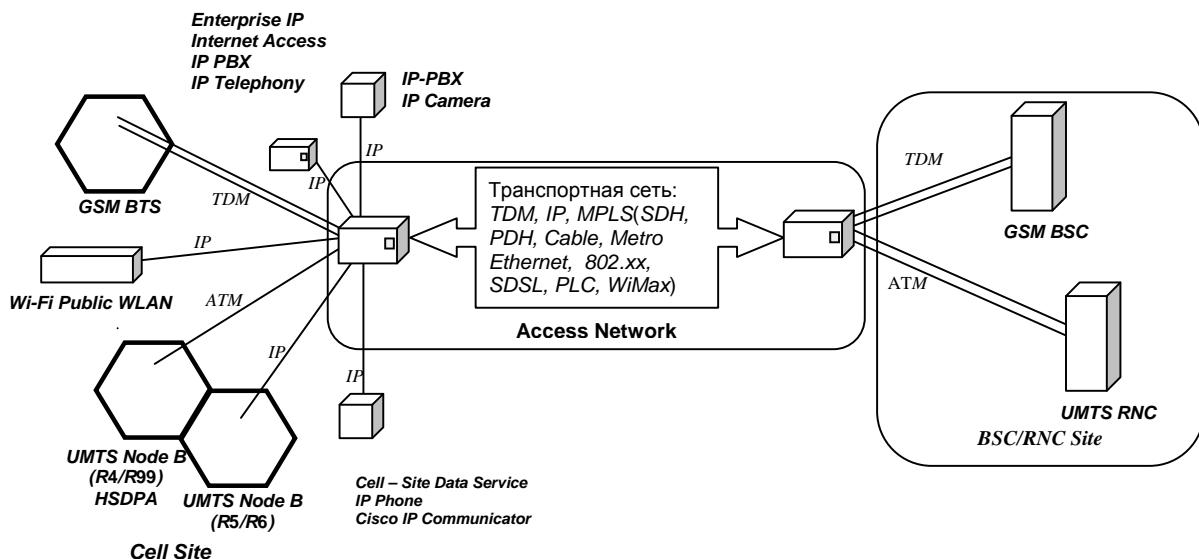


Рис. 1. Пример оптимизации транспорта сотовых сетей

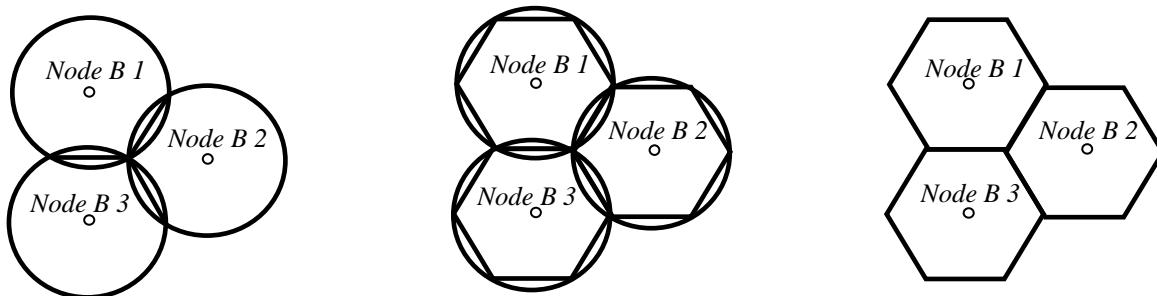


Рис. 2. Схема зоны покрытия базовых станций (соты)

вают друг друга, тем самым сохраняется возможность передачи обслуживания *MS* при перемещении её из одного сота в другой без разрыва соединения. Естественно, что на самом деле сигнал от каждой станции распространяется, покрывая площадь в виде круга, но при пересечении получаются правильные шестиугольники.

Базовая станция (*BTS*, *NodeB*) обеспечивает приём/передачу сигнала между *MS* и контроллером базовых станций. *BTS* является автономной и строится по модульному принципу. Направленные антенны базовых станций могут располагаться на вышках, крышах зданий и т. д.

Контроллер базовых станций (*BSC*, *RNC*) управляет соединениями между *BTS* и подсистемой коммутации, а также отслеживает очерёдность соединений, скорость передачи данных, распределение радиоканалов, собирает статистику, производит различные радиоизмерения, назначает и управляет процедурой *Handover*.

Подсистема коммутации (*NSS*) построена из следующих компонентов:

центр коммутации (*MSC* — *Mobile Switching Centre*), который контролирует определённую географическую зону с расположенным на ней *BTS* и *BSC*, осуществляет установку соединения к абоненту и от него внутри сети *GSM*, обеспечивает интерфейс между *GSM* и другими сетями радиосвязи, сетями передачи данных. Также он выполняет функции маршрутизации вызовов, управление вызовами, эстафетной передачи обслуживания при перемещении *MS* из одной ячейки в другую. После завершения вызова *MSC* обрабатывает данные по нему и передаёт их в центр расчётов для формирования счёта за предоставленные услуги, собирает статистические данные. *MSC* также постоянно следит за положением *MS*, используя данные из *HLR* и *VLR*, что необходимо для быстрого нахождения и установления соединения с *MS* в случае её вызова;

подсистема *OMC* (*Operations and Maintenance Center*) соединена с остальными компонентами сети, обеспечивает контроль качества работы и управление всей сетью; обрабатывает аварийные

сигналы, при которых требуется вмешательство персонала; обеспечивает проверку состояния сети, возможность прохождения вызова; производит обновление программного обеспечения на всех элементах сети и ряд других функций.

В то же время затраты на подключение базовых станций – это одна из наиболее значительных составляющих, обуславливающих высокую стоимость построения и эксплуатации сети сотовой связи. Данное положение справедливо для всех владельцев сотовых сетей, как имеющих собственные каналы связи, так и арендующих выделенные линии у местного оператора связи. Доля этих затрат высока как при построении выделенного сегмента транспортной сети для услуг $3G$, так и при интеграции нескольких поколений мобильной связи на одной платформе.

Поскольку стоимость подключения базовых станций оказывает столь большое влияние на капиталовложения и эксплуатационные расходы сотовой сети, операторам мобильной связи приходится постоянно анализировать свой подход к этому вопросу, прежде чем принимать решение о дальнейших капиталовложениях в развитие сети. Задача усложняется необходимостью поддерживать одновременно несколько различных сотовых стандартов и осуществлять подключения через различные типы транспортных сетей, а также в связи с миграцией от сотовых сетей $2G$, основанных на коммутации каналов (TDM), к сетям $3G$, использующим технологии коммутации пакетов.

Сложно предложить единую схему или готовое решение для подключения базовых станций для всех операторов. Имеется много новых параметров: типы радиоинтерфейсов, сетевые технологии, набор доступных услуг, планы модернизации сетей, а также финансовые ограничения и ожидаемый экономический эффект. Поэтому мобильным операторам имеет смысл выбирать наиболее гибкий вариант из различных решений подключения базовых станций. В частности, необходимо учитывать быструю эволюцию сотовых стандартов и развитие новых транспортных технологий на основе коммутации пакетов.

Также существует широкий спектр продуктов, поддерживающих существующие протоколы, технологии и интерфейсы для подключения базовых станций. На их основе можно принять наиболее эффективное и экономичное решение для любого сценария модернизации сети, которая позволяет улучшить общее качество работы сети, дать преимущество оператору, поставщикам оборудования и абонентам, пользующимся услугами сети.

Модернизация сети включает эффективное размещение базовых станций на территории, определяя для них оптимальный состав оборудования,

правильное распределение нагрузки в рассматриваемом регионе, анализ частотно территориального плана в условиях различной нагрузки, расчёт показателей электромагнитной совместимости (интерференция) оптимизируемой сети с другими сетями. Оптимизировать параметры планируемой сети можно изменением местоположения базовых станций, а также варьируя состав и технические характеристики размещаемого оборудования.

Стабильная работа сети определяется настройкой и контролем параметров оборудования, его работоспособностью: 1) измерением уровня принимаемого сигнала и сравнением его с результатами расчёта и последующей оптимизацией параметров применяемых математических моделей расчёта; 2) устранением неисправностей, аварийных и нештатных ситуаций, определением проблем в сети, например плохой работы хэндоверов; 3) формированием матрицы взаимных помех; 4) изменением списков соседних базовых станций для обеспечения надёжного хэндовера между сотами; 5) оптимизацией выходных мощностей, частот базовых станций, азимутов и углов наклона антенн.

Соединения между узлами коммутации (MSC) являются ещё одной составляющей, вносящей весомый вклад в стоимость эксплуатации сотовой сети. Уменьшение числа этих соединений означает экономию средств. Поскольку между узлами коммутации голосовой трафик передаётся в потоках $E1$ с использованием кодека $G711$ (64 кб/с на каждый голосовой канал), то при его компрессии можно существенно сократить количество межузловых каналов. Сжатие голоса, передаваемого по сети, реализуется с помощью известных алгоритмов (рис. 3).

Одним из способов сжатия голосового трафика является компрессия, позволяющая сократить расходы на выделенные линии и повысить эффективность использования IP - и TDM -сетей. Сжатие до 16 полных каналов $E1$ (496 телефонных соединений) в один канал $E1$, последовательное или IP -подключение позволяют пользователям, операторам мобильной связи и поставщикам услуг экономить средства за счёт аренды меньшего числа выделенных линий для передачи своего голосового трафика.

Для увеличения пропускной способности сети поддерживается технология $TDMoIP$, которая предлагает реалистичную стратегию миграции к решениям на основе IP . При этом наличие отдельных портов TDM и $Ethernet$ для соединения с магистральной сетью позволяет одновременно использовать для передачи сети TDM и IP . Благодаря меньшему количеству служебной информации в потоке по сравнению с системами на основе $VoIP$ на 60 % увеличивается пропускная способность канала.

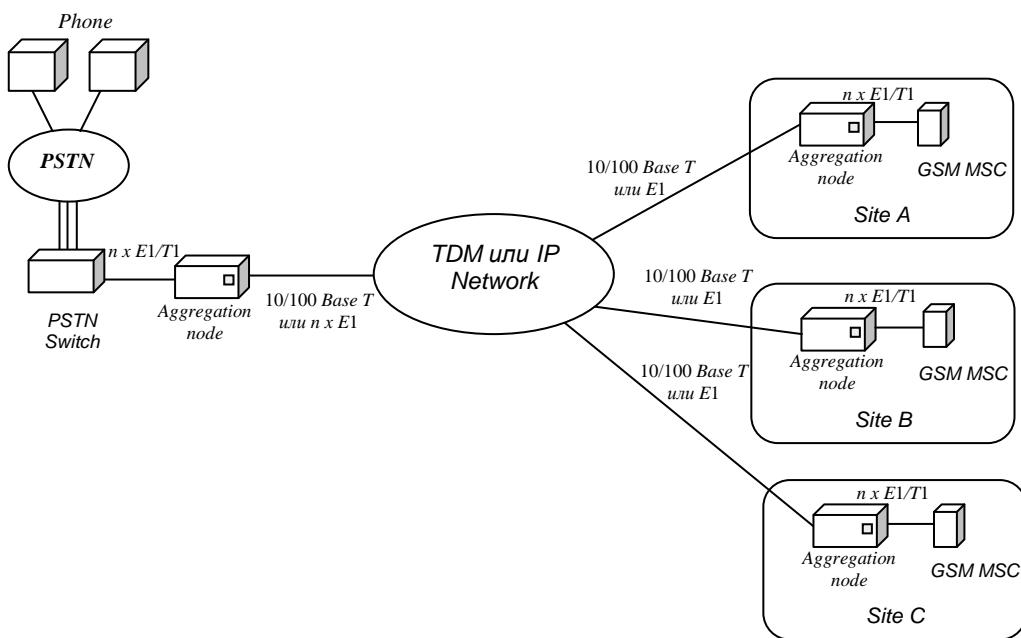


Рис. 3. Схема подключения узлов коммутации

В том случае, когда необходимо скомпрессировать большое количество потоков, целесообразно использовать высокопроизводительную платформу сжатия голоса. Модули сжатия голоса поддерживают до 16 каналов *E1*, которые сжимаются в два канала *E1*, или же весь голосовой трафик собирается в канал *STM-1*.

Однако система базовых станций (*Base Station System, BSS*) в любой существующей сети *GSM* состоит из большого числа базовых станций (*BTS*) и контроллеров базовых станций (*BSC*), соединенных по протоколам *A-bis* и *A-ter*. Технологии сжатия голоса позволяют сотовым операторам резко сократить потребность в пропускной способности на участке сети между контроллерами базовых станций (*BSC*) и центрами коммутации мобильной сети (*MSC*), а также между отдельными *MSC* и на участке *MSC* и обычной телефонной сетью. На участке между базовыми станциями (*BTS*) и *BSC* голосовой трафик уже передаётся в сжатом виде, поэтому дальнейшее сжатие не рекомендуется. В таких соединениях голос передаётся уже с компрессией *Half Rate (HR)* или *Full Rate (FR)* по 8 (8 Кбит/с) или по 4 (16 Кбит/с) каналам в одном временном интервале потока *E1*. Ввиду этой особенности оптимизация таких соединений возможна только за счёт исключения пауз и неиспользуемых кадров, что позволяет использовать каналы доступа более эффективно и уменьшить требования к пропускной способности выделенных линий, спутниковых и УКВ-каналов.

Оптимизация пропускной способности приводит к снижению требуемого числа портов *E1*. Это особенно существенно в отдалённых и сельских районах, где отсутствует развитая наземная инфраструктура связи и сотовые операторы часто вынуждены подключать базовые станции по спутниковым каналам связи. В районах со сложившейся городской застройкой, где все существующие наземные линии оказываются в данный момент заняты, для быстрого внедрения услуг могут использоваться радиоканалы УКВ-диапазона.

Переход к третьему поколению сотовых сетей влечёт за собой появление целой гаммы широкополосных мобильных услуг. В этой сложной ситуации операторам мобильной связи необходимо выбрать эффективную технологию для подключения базовых станций, обеспечивающую наиболее экономичные решения. Сегодня этот вопрос становится особенно актуальным, поскольку услуги *3G* начинают расширяться и необходимо модернизировать существующие сети, чтобы справиться с растущими объёмами трафика. Соглашение *3GPP* (*3rd Generation Partnership Project*) трактует в качестве предпочтительной для подключения базовых станций технологию *ATM*. Её основные достоинства состоят в гарантированном качестве услуг (*Quality of Service*) и дифференцированном подходе к трафику, чувствительному к задержкам (например, голос, видео в реальном времени) и нечувствительному к ним (доступ в Интернет, потоковое видео и т. п.). Одним из приемлемых решений является агрегация трафика всех соединений.

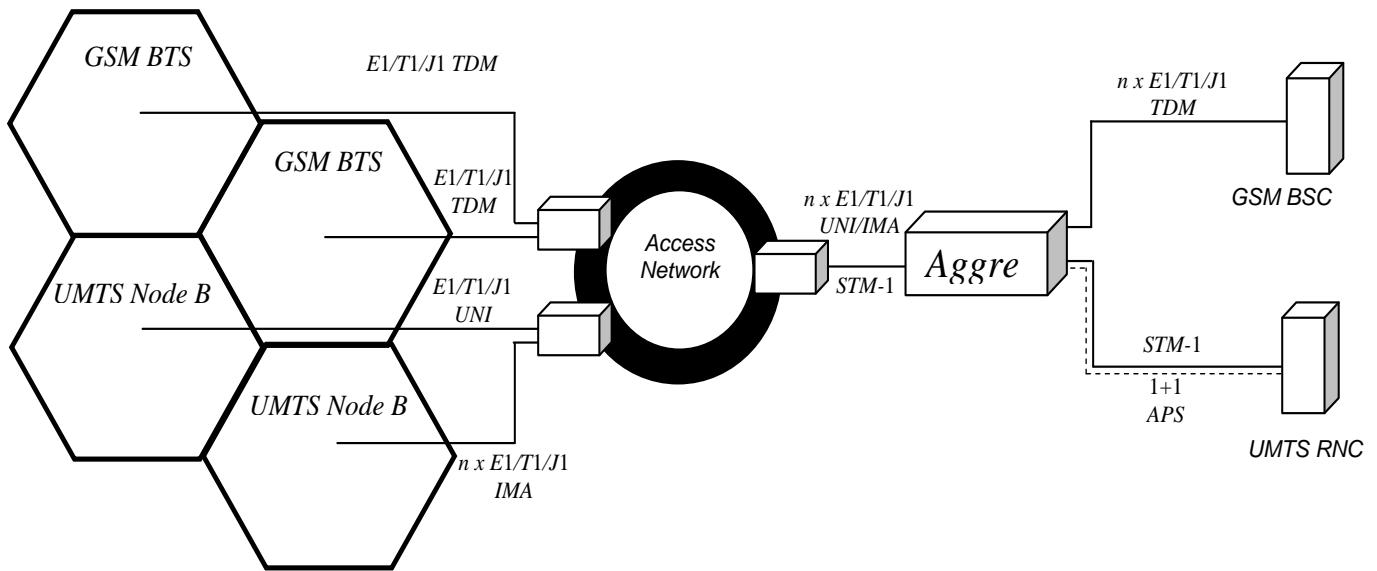


Рис. 4. Агрегация трафика на уровне контроллера

Агрегация трафика позволяет сократить как капиталовложения, так и текущие затраты на эксплуатацию сети. Экономия достигается благодаря уменьшению числа соединений в сети и возможности использовать более высокоскоростные и менее дорогие порты в ядре сети. Агрегаторы трафика специально разработаны с учётом перспективы быстрого роста трафика, связанного с широким развертыванием услуг 3G. Устройства объединяют трафик каналов $E1/T1/J1$, что обеспечивает наиболее эффективное распределение ресурсов опорной сети и предоставление различных услуг 3G. Развитые возможности в части формирования и планирования трафика позволяют операторам планировать суммарную нагрузку сети выше номинальной пропускной способности (*overbooking*), чтобы оптимизировать использование сети, сохранить имеющиеся сетевые ресурсы и уменьшить число выделенных каналов связи, необходимых для обеспечения работы сети. На рис. 4 проиллюстрировано применение агрегации трафика.

Учитывая высокую первоначальную стоимость услуг UMTS, далеко не все пользователи готовы перейти на технологии 3G. В реальности, по некоторым оценкам, пройдёт не менее трёх лет, прежде чем большинство абонентов обзаведутся телефонами с поддержкой 3G. Из-за такого постепенного перехода на начальных этапах внедрения 3G для базовых станций UMTS *Node B* потребуется меньшая полоса пропускания, чем $E1/T1/J1$. Объединение нескольких каналов ATM со скоростями *Fractional E1/T1/J1* на одном сетевом интерфейсе может значительно снизить расходы на подключение базовых станций. Впоследствии, по

мере роста популярности услуг 3G, требования к полосе пропускания будут увеличиваться и потребуется переход к более скоростным каналам связи. Поскольку сегодня расходы на передачу этого трафика составляют наибольшую часть эксплуатационных расходов сотовых операторов, то вскоре традиционные способы подключения на основе выделенных линий окажутся коммерчески несостоятельными. В перспективе все сотовые сети будут целиком и полностью базироваться на технологиях коммутации пакетов (*PSN*), однако на сегодняшний день ситуация такова, что и базовые станции (*Node B*), и контроллеры (*RNC*) представляют собой *ATM*-устройства. Чтобы облегчить соединение *Node B* и *RNC* по недорогой сетевой инфраструктуре *PSN* реализована технология сквозной псевдопроводной эмуляции *ATM* (*PWE3*). Она обеспечивает передачу трафика *ATM* ($E1/T1/J1$ *UNI* или *STM-1 UNI*) поверх сетей *PSN* (*Ethernet/MPLS/IP*) (рис. 5).

Таким образом, модернизация транспортных каналов на различных участках сотовых сетей в результате даёт сокращение издержек на эксплуатацию и развитие сетевой инфраструктуры.

В настоящее время в России и на Украине среди ведущих операторов сотовой связи получило широкое распространение оборудование «*RAD Data Communication*». Внедрением и поддержкой данного типа оборудования занимается компания «Телеинком-ПК». При этом отечественные аналоги данного оборудования по своим техническим характеристикам уступают зарубежному.

Создание собственного комплекса оптимизации сотовой сети позволило бы существенно

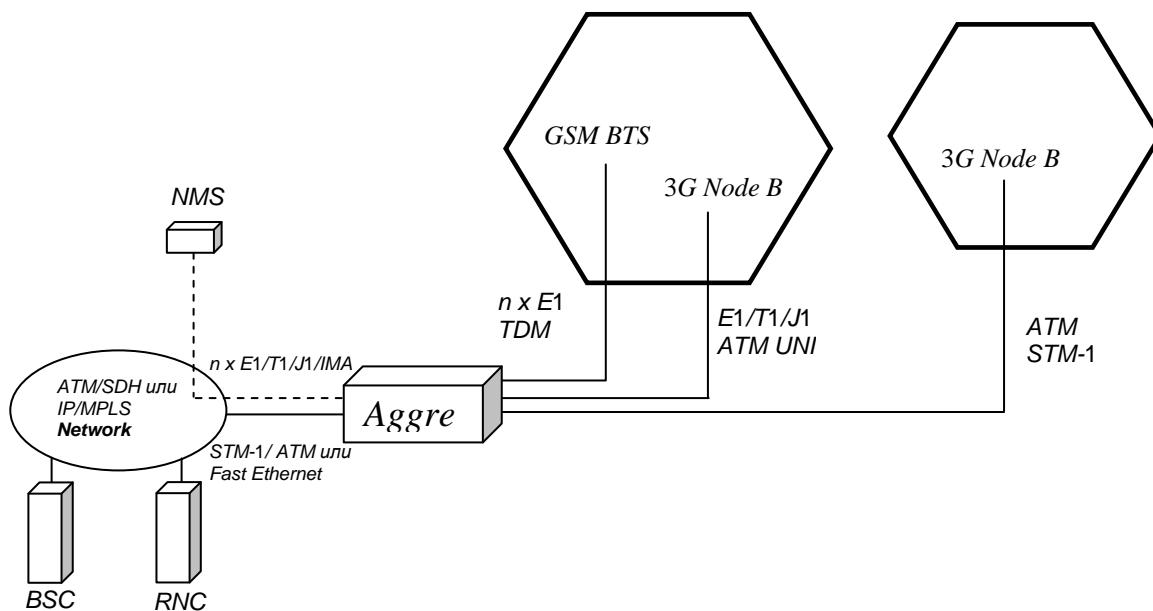


Рис. 5. Фрагмент сотовой сети с эмуляцией TDM и ATM для подключения различных типов BTS

снизить расходы на модернизацию сетей. Стратегия должна учитывать нынешние требования к качеству передачи голосового трафика и ограниченного трафика данных, снижая при этом расходы на построение, эксплуатацию и реконфигурацию сети. В то же время инфраструктура должна быть готова принять на себя нагрузку широкополосных приложений и услуг, в число которых входят передача мультимедийных изображений, видеовещание и видеоконференции. Несмотря на эти противоречивые требования, у сотового оператора имеется достаточно богатый выбор вариантов:

аренда или построение собственной транспортной сети;

максимальное использование существующей инфраструктуры второго поколения;

использование дополнительных медных кабелей, оптоволокна или радиорелейных каналов;

сквозное обеспечение качества предоставляемых услуг в транспортной сети;

одновременная поддержка трафика сотовых сетей 2G и 3G.

Библиографические ссылки

1. Свободная электронная энциклопедия Википедия [Электронный ресурс] // GSM : [сайт], 2009. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/GSM> (дата обращения: 25.03.2009).

2. Оптимизация сети мобильной связи [Электронный ресурс] // Офиц. сайт компании «Huawei Technologies»: [сайт], 2009. URL: <http://www.huawei.com>. (дата обращения: 22.03.2009).

3. Телеком/Сети и средства связи: Информ.-аналит. журн. 2007.

4. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Под ред. Ю.М. Горностаева. М.: ООО «Мобильные коммуникации», 2000. 208 с.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыаемых для публикации, можно найти на сайте www.mashin.ru



УДК 338.27(075)

С.Ю. Ерошкин, канд. экон. наук, доц.

(Московский государственный технологический университет «Станкин»)

erosserg@mail.ru

ВОПРОСЫ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ

Показана ведущая роль и разнообразные формы государственной поддержки освоения инноваций и новых технологий. Рассмотрены практика организации и проведения технологических прогнозов в рамках Комплексной программы научно-технического прогресса (КП НТП) СССР на 20 лет, а также зарубежный опыт технологического прогноза. Отмечена необходимость организации и проведения научно-технического прогнозирования в современных условиях.

Ключевые слова: конкурентоспособная технология, инновация, экономика, прогнозирование.

Leading part and various forms of the state supporting for innovation and new technologies mastering is shown. Practice of technological prognosis organization and realization in a framework of the integrated program of Soviet Union (CCCP) scientific-technological progress (КП НТП) during 20 years and foreign technological prognosis experience are considered. Necessity of organization and realization scientific-technological prediction in the contemporary conditions is registered.

Key words: competitive technology, innovation, economy, prediction.

Введение. Инновации и новые конкурентоспособные технологии в мировой экономике являются решающим фактором социально-экономического и технологического развития. По оценкам, (до 90 %) прирост валового внутреннего продукта (ВВП) в последнюю четверть XX в. в развитых странах обеспечивался за счёт создания новых и модернизации действующих технологий на основе инноваций, роста квалификации рабочей силы и повышения качества управления.

Разнообразие инноваций и использование конкурентоспособных технологий повышают качество экономического роста, конкурентоспособность национальной экономики, качество жизни населения, рациональность хозяйствования в целом, уровень инновационного и технологического развития страны.

Анализ и оценка перспектив инновационно-технологического развития экономики. В последние годы в экономике России наметились перемены к лучшему, включая достаточно высокие темпы роста ВВП, восстановление влияния государства на экономические взаимоотношения хозяйствующих субъектов. Рост экономики обусловлен влиянием благоприятной конъюнктуры мировых цен на ресурсы, прежде всего высокими ценами на

нефть и газ, увеличением загрузки приставающих производственных мощностей и скоординированными действиями правительства, законодательных органов и бизнеса. Однако эти факторы роста имеют временный характер, а потенциал роста близок к исчерпанию.

Важно, что экономический рост в России достигнут в условиях низкого качества национальной экономики: по уровню ВВП на душу населения среди 80 стран в начале XXI в. (по данным экспертов Всемирного экономического форума) Россия занимает 58-е место, а по развитию бизнес-среды и уровню менеджмента соответственно 56-е и 62-е.

Однако не только экономический рост, измеряемый интегральным стоимостным показателем ВВП, отражает прогрессивность развития современной экономики. Не менее важны в настоящее время показатели конкурентоспособности национальной экономики, уровня жизни населения, рациональности ведения хозяйства (включая ресурсы и энергообеспечение), экономической и технологической безопасности и др. Все перечисленные показатели в значительной степени зависят от использования инноваций и уровня технологий, понимаемых как взаимосвязанная совокупность собственно технологии, техники и обо-

рудования, квалифицированного труда, организованного менеджмента и систем управления [1]. Наличие логических и функциональных взаимосвязей между компонентами технологии требует их согласованности, а не временного, малообоснованного приоритета какой-либо одной компоненты над остальными.

Вместе с тем, сравнительные оценки достигнутого Россией состояния экономики с аналогичными показателями развитых стран свидетельствуют о её явном отставании.

Опора на инновации и новые бизнес-технологии, гармонизирующие все составные элементы экономической системы, всегда была основой не только стабильного развития, но и преодоления кризисных явлений в развитых странах.

Создание необходимых условий для ускоренного и устойчивого научно-технологического развития определяется наличием и активным использованием целого комплекса факторов как формирующих потенциал новых научных идей и изобретений, так и способствующих реализации этого потенциала в интересах экономического роста и повышения качества жизни. В комплекс факторов входят параметры потенциала сферы научных исследований и разработок; обоснованные приоритеты государственной политики, реализуемые в составе перечней критических технологий; своевременная оценка перспектив появления крупных рынков для новых технологий; обеспечение возможностей ускорения экономического роста с помощью инноваций.

Анализ указанных факторов и учёт тенденций их взаимодействия являются методологической основой научно-технологического прогнозирования.

Зарубежный опыт разработки технологических прогнозов. Мировая практика свидетельствует, что успешное технологическое развитие становится достижимым преимущественно в странах, базирующихся на принципах общественной солидарности, верховенства закона, равенства перед ним всех субъектов экономической, политической и других сфер жизни, их гражданской ответственности перед обществом. Без соблюдения этих принципов невозможно управлять чрезвычайно усложнившимися процессами технологических преобразований, лежащими в основе всего общественного развития.

Если обратиться к зарубежному опыту, то среди главнейших направлений политики США, обеспечивающей расширение государственного участия в национальных исследованиях, разработках и содействие активизации национальной инновационной деятельности, можно выделить:

долгосрочную политику стимулирования гражданских НИОКР в передовых областях науки и технологий;

активизацию формирования и деятельности исследовательских и технологических партнёрств для расширения промышленных инноваций и коммерциализации результатов федеральных исследований и разработок;

создание благоприятного предпринимательского климата для активизации инновационной деятельности;

ориентацию федеральных исследований на удовлетворение потребностей экономики и соответствие их объёма возможностям бюджета;

федеральную поддержку университетов США и совершенствование образования.

Государственно-правовое регулирование сферы науки и технологий США определяется сложным по структуре и характеру задач блоком законодательных актов. В середине 70-х гг. XX в. Конгресс США, признавая особую роль науки и техники в обеспечении лидерства США в мире, укреплении внутренних экономических позиций принял «Закон о государственной научно-технологической политике, организации и приоритетах». Конгрессом США федеральному правительству законодательно была отведена роль «главного организатора по содействию развитию фундаментальных наук, как особой сферы стратегических интересов США, определив федеральный бюджет в качестве источника покрытия этих расходов». Федеральный закон США 1976 г. является основополагающим государственно-правовым актом о научно-технологической политике США, её целях, задачах, приоритетах и механизме управления.

Современное экономико-правовое регулирование сферы науки и технологий в США представляет сложный экономико-юридический и организационно-управленческий механизм, воплощающий в себе, кроме детально разработанных правовых норм, элементы экономики, управления, организации производства, науки, техники и НТП. Широко разветвлённая и мощная экономико-правовая основа научно-технологической политики в США, опираясь на аппарат управления в государственном секторе, промышленности и академическом сообществе, служит реализации основных целей внутренней и внешней политики. В их число в первую очередь входят:

мобилизация и эффективное использование научно-технологического потенциала, находящегося в руках государства, для решения приоритетных национальных задач, стратегических задач научной, промышленной, экономической, военной, внутренней и внешней политики страны;

признание доктрины всеобъемлющего государственного регулирования науки и технологий на основе мобилизации всех ресурсов страны, использования эффективных форм хозяйствования, более тесной интеграции науки и промышленности;

обеспечение преимущественного доступа американского капитала, сектора науки и технологий к международным технологическим рынкам, международным промышленным, технологическим и экономическим ресурсам;

обеспечение контроля международных потоков технологий как важнейшей части научно-технологической политики США;

обеспечение единства научной, инновационно-технологической, промышленной, экономической и военной политики США;

обеспечение лидирующего положения США в мировой экономике, науке и технике;

постоянное совершенствование и наращивание научно-технологического и военно-технического потенциала США;

эффективная организация управления и планирования НТП на его приоритетных направлениях;

создание на общенациональной основе новых форм интеграции науки, техники, промышленности и кооперации между государственным сектором (федеральные ведомства, федеральные НИИ и лаборатории), промышленностью и академической наукой в форме пуллов, объединений, корпораций и партнёрств для создания конкурентоспособных технологий гражданского и военного назначения для нужд общенационального рынка;

закрепление за государством функций главного банкира и гаранта постоянного развития фундаментальных наук – основы современного научно-технологического развития;

эффективное географическое размещение, использование и наращивание национального научно-технологического потенциала страны;

эффективная патентно-лицензионная политика на государственном и общенациональном рынке товаров, услуг и защита прав интеллектуальной собственности как внутри страны, так и за рубежом.

В законодательном обеспечении реализации этих целей, правовом регулировании сферы науки и технологии важнейшая роль в США принадлежит Конгрессу и его специализированным комиссиям, комитетам и подкомитетам. Правовой механизм опирается на чётко разграниченную систему или иерархию законодательно-правовых актов.

В Европе, несмотря на имеющиеся различия в подходах отдельных развитых стран, в целом про-

слеживаются следующие общие тенденции формирования и реализации научно-технологической политики:

продолжающийся рост государственных ассигнований в сферу НИОКР и в мероприятия по разработке и распространению нововведений;

усиливающееся ориентирование средств на научно-технологическое развитие в приоритетных областях и секторах. Последние включают так называемые креативные (enabling) технологии, которые обеспечивают достижение поставленных социально-экономических целей и составляют основу формирования современного технико-экономического уклада. Среди них прежде всего выделяется ключевой кластер, объединяющий в себе информационные и коммуникационные технологии, био- и нанотехнологии;

осуществление значительных преобразований общественных научно-исследовательских организаций и организаций университетской науки, предусматривающих как законодательные и институционально-организационные реформы, так и меры по выработке эффективных критериев, форм и механизмов финансирования, главным образом, для сохранения и упрочения их автономии при повышении гибкости и эффективности деятельности;

наращивание усилий правительств по поддержке нововведений, а также научных исследований и разработок в промышленности. Это осуществляется, главным образом, с использованием программно-целевого метода в ходе реализации специализированных программ в рамках национальной, научно-технологической и промышленной политики. В большинстве европейских стран особое внимание уделяется формированию благоприятного налогового режима и рынка рискового капитала для промышленных НИОКР и инноваций;

усиливающаяся поддержка предпринимательской инициативы, а также малых и средних предприятий (МСП). В крупных европейских странах, и особенно в государствах Северной Европы, расширяется использование мер по выходу на рынок «новичков», а также оказывается всестороннее содействие инновационным компаниям и МСП. Осуществляется комплекс мер по стимулированию передачи технологий и усилению коммерциализации результатов НИОКР, а также совершенствованию законодательства для обеспечения защиты прав собственности;

повышенное внимание к научно-технологическим аспектам экономической интеграции и глобализации. Важным приоритетом национальных инновационных систем становится содействие углублению и расширению интеграционных и

других форм и механизмов международного научно-технологического сотрудничества. Программы в этой области нацелены на усиление комплементарности НИОКР, осуществляемых различными организациями, на формирование и развитие инновационных кластеров на национальном, региональном и мировом уровне. В последнее время особое внимание европейские страны уделяют вопросам согласования своей политики в области науки и техники для формирования единой политики в этой области, осуществляющей на коммунитарном и общеевропейском региональном уровне;

формирование и осуществление дополнительных мероприятий по подготовке научно-исследовательских кадров и других специалистов, а также по совершенствованию систем профессионального обучения. Среди них выделяются специальные меры по поддержке молодых учёных, содействию трансграничной мобильности научных кадров и совершенствованию системы их подготовки. К первостепенным приоритетам относят также подготовку специалистов следующего поколения для экономики, базирующейся на знаниях;

повышенное внимание к вопросам оценки отдельных решений и последствий политики в значительной мере проявляется в совершенствовании форм и методов её осуществления, а также в непрерывном реструктурировании государственных и прочих общественных научно-исследовательских учреждений в направлении повышения эффективности их функционирования;

возрастание роли и значения научно-технологической политики в качестве ключевой составляющей экономической политики как на национальном, так и на коммунитарном уровне. Растущее сопряжённое подчинение задачам научно-технической политики централизованных мер хозяйственного регулирования в таких областях, как поддержание предпринимательства и обеспечение международной конкурентоспособности, а в условиях усиливающегося проявления «новой экономики» в качестве финансового феномена также мер в сфере финансов и кредита, направленных, в частности, на совершенствование фондового рынка и рынков рискового капитала.

Основные подходы к формированию и реализации научно-технологической политики стран – членов ЕЭС прошли успешную проверку на практике, обеспечив положительные тенденции научно-инновационного развития большинства государств, входящих в Союз.

Оценка перспектив развития технологического прогнозирования в России. В России реструктуризация сложившейся технологической структуры экономики возможна различными путями. Чтобы

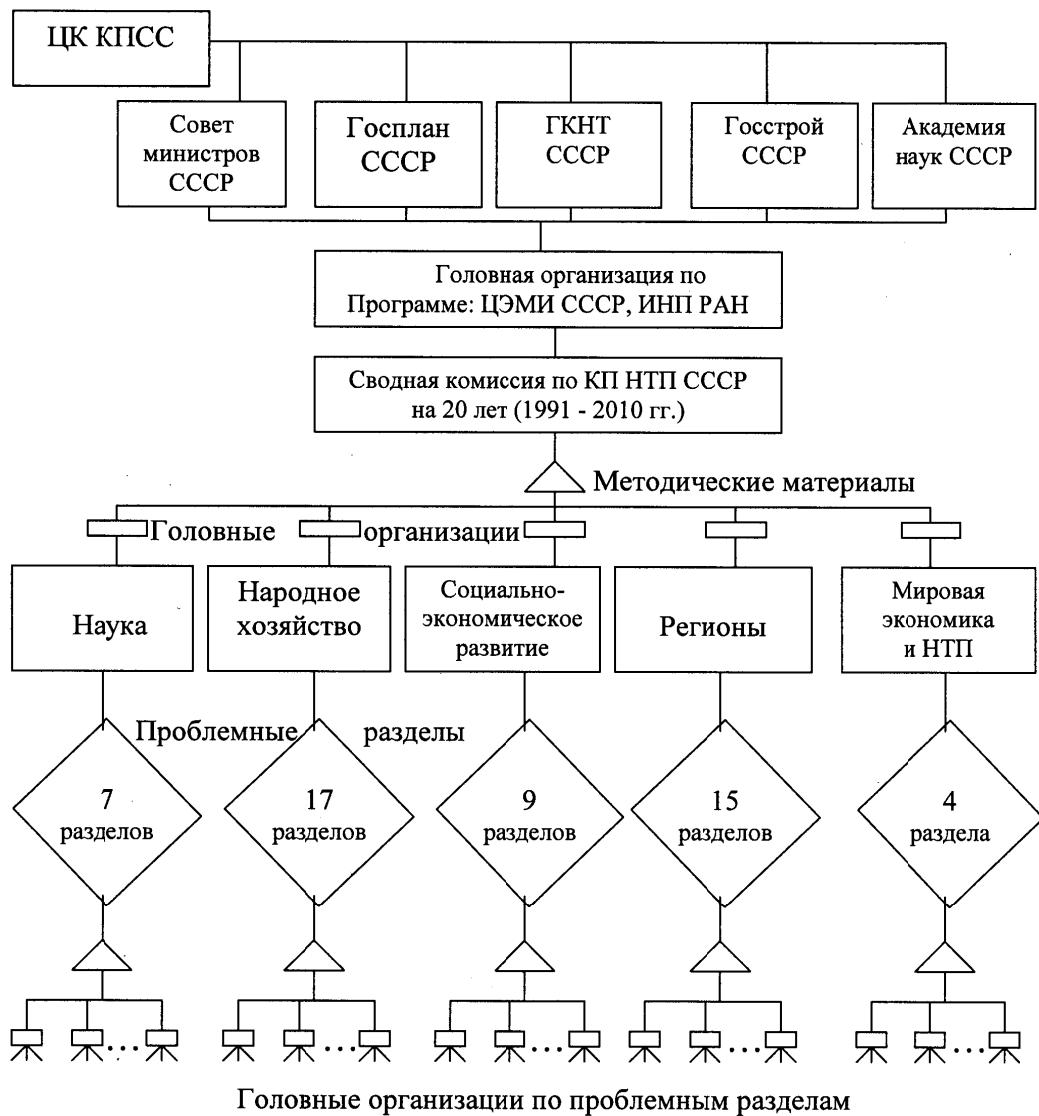
их сформировать и выбрать наиболее эффективный путь, необходимы анализ и оценка состава национальных интересов и перечней национальных продуктов, производство которых с достаточным уровнем конкурентоспособности, с одной стороны, предпочтительно и возможно, а с другой, должно быть обязательно как необходимое условие развития национальной экономики России.

Для результативной ориентации национального научно-технологического потенциала на создание, модернизацию либо поддержку импортируемых технологий необходим комплексный целевой прогноз технологического развития экономики. При этом целесообразно опираться на научный потенциал Российской академии наук и накопленный ею многолетний опыт разработки КП НТП на 20 лет [2–4].

В конце 80-х гг. ХХ в. практика разработки КП НТП на 20 лет в России прекратилась. Принятие в 1995 г. федерального закона «О государственном прогнозировании и программах социально-экономического развития Российской Федерации» возродило определённые надежды на возобновление работ по научно-технологическому прогнозированию. Однако коренных сдвигов в этом направлении пока не произошло.

Прогнозирование технологического развития в масштабах всей страны сформировалось в самостоятельную научно-общественную дисциплину в начале 70-х г. ХХ в. и в планово-директивной экономике рассматривалось как составная часть долгосрочного комплексного прогноза, включавшего прогноз социально-экономического развития и научно-технического прогресса. Организационной формой такого прогноза служила КП НТП СССР на 20 лет. Периодичность прогноза соответствовала пяти годам, а с начала разработки КП НТП в 1973 г. было подготовлено четыре комплексных прогноза: в 1973, 1978, 1983 и в 1988 гг.

Начатая в 70-х гг. разработка КП НТП СССР завершила формирование планово-директивной системы управления, создав таким образом «вершину пирамиды» централизованного управления развитием экономики и общества в СССР. Причины начала разработки КП НТП имели, прежде всего, практический характер: в этот период резко сократились темпы экономического роста, усилилось противостояние с ведущими странами капиталистического мира, прежде всего с США, и как следствие возросли расходы бюджета на оборонные цели. Кроме того, руководством страны осознавались необходимость коренной перестройки промышленно-технологической структуры экономики, заложенной в послевоенные годы, и важность роста жизненного уровня населения.



Структурная схема разработки Комплексной программы научно-технического прогресса СССР на 20 лет

Методология подготовки комплексных прогнозов основана на сочетании нормативных и экстраполяционных прогнозов, включая коллективные и индивидуальные экспериментальные оценки, статистические методы и модели, а также разнообразные экономико-математические модели. Технология и форма представления прогнозных материалов задавались методическими указаниями, устанавливавшими порядок, сроки и состав участников комплексного прогнозирования.

Разработка КП НТП строилась на использовании разнообразных балансовых и эконометрических моделей прогнозирования динамики экономического развития [5], которые дополнялись частными моделями оценки развития комплексов отраслей, регионов и отраслей. Также использовались эконометрические модели и экс-

пертные оценки перспектив развития отдельных подотраслей и технологий. Полученные прогнозные оценки уточнялись и дополнялись содержательными аналитическими исследованиями, сравнительными сопоставлениями располагаемого и необходимого производственного, технологического, кадрового и научно-технического потенциала.

Технология и организация прогнозирования устанавливались общей методикой, в которой на каждый пятилетний интервал прогнозирования задавалась структура прогноза, включая состав сводных и проблемных разделов, сроки представления их результатов, перечень головных организаций, руководителей сводных и проблемных разделов и др. В соответствии с этой методикой последовательно разрабатывались концепции и основные материалы проблемных и сводных разделов.

Промежуточные и итоговые результаты прогнозов обсуждались в проблемных и сводных комиссиях с привлечением экспертов по отдельным проблемам. Эти обсуждения иногда повторялись, а полученные результаты можно рассматривать как согласованные коллективные экспертные оценки.

Организационно (см. рисунок) в подготовке КП НТП участвовало более 100 министерств, ведомств и комитетов на государственном уровне, а также министерства всех 15 союзных республик.

Непосредственное участие в подготовке КП НТП принимали тысячи научно-исследовательских организаций и исследовательских центров, а также несколько десятков тысяч исследователей и экспертов. Материалы КП НТП использовались при обосновании и принятии решений на государственном, республиканском и отраслевом уровне.

К достоинствам КП НТП можно отнести:

масштабность и полноту охвата различных отраслей экономики и сфер общественного развития;

достаточно подробный и достоверный анализ состояния развития прогнозируемых объектов и отраслей, включая «узкие места» и проблемные ситуации;

участие большого количества экспертов и исследователей из разных областей науки и техники, различных регионов и отраслей обеспечивало полноту отражения возможных точек зрения и стратегий развития отдельных объектов;

обеспечение ориентации научно-технического и производственного потенциала на достижение долгосрочных целей социально-экономического развития.

Среди недостатков сложившейся методологии и практики организации КП НТП можно выделить:

преобладание жёсткой отраслевой структуры экономики, сохранявшей сложившиеся межведомственные барьеры, приоритеты, учитывающие корпоративные интересы отраслевых министерств и ведомств;

стремление к однозначности прогнозов и прогнозных оценок, что практически исключало отражение в прогнозах альтернативных сценариев и многовариантных оценок;

чрезмерно централизованную систему организации прогнозов, затруднявшую привлечение конкурирующих организаций и независимых экспертов к подготовке прогнозов;

отсутствие эффективных способов учёта влияния конкурентоспособных технологий и инноваций на экономический рост и развитие общества.

За период экономических реформ в экономике России и обществе произошли радикальные перемены:

изменение государственного устройства страны (вместо тоталитарного режима постепенно сформировалась демократическая система управления государством и обществом);

распад планово-директивной системы управления экономикой, централизованно устанавливавшей цели развития и распределявшей материальные, финансовые и людские ресурсы;

коренное изменение соотношения форм собственности (вместо практически всеобщей государственной собственности преобладающей стала частная собственность);

распад отраслевой структуры экономики и отраслевой науки, сопровождавшей её инновационное развитие;

резкое снижение научно-технологического и инновационного потенциала в связи со значительным (в 5–7 раз) сокращением затрат на науку из средств госбюджета;

сильное отставание формирования законодательной базы, соответствующей условиям развития свободной рыночной экономики, от радикальных реформ, значительная часть которых проводилась в условиях несовершенных законов, постановлений Правительства и указов Президента Российской Федерации.

За период, прошедший с момента разработки последнего прогноза в рамках КП НТП в 1988 г. многое изменилось. Прежде всего изменился заказчик программы — другим стало само государство, сменился политический строй (отказ от однопартийной системы), хозяйственное устройство (широкое введение частной собственности) и внешняя ориентация (отказ от военного противостояния с ведущими капиталистическими странами). Вместе с тем система национальных целей и приоритетов ещё не построена.

Также изменились и потребители результатов научно-технических прогнозов — министерства, ведомства, предприятия и организации. Изменения в большей степени коснулись предприятий и организаций и в меньшей — министерств и ведомств.

Вместе с тем утратили силу централизация и директивность управления экономическими субъектами, хотя в полной мере эти свойства не выполнялись и в планово-директивной экономике СССР. Всё это придаёт прогнозам в условиях рыночной экономики иное значение: служить ориентирами для «настройки» системы регулирования экономикой, включая как её дополнение, введение в отдельных сферах (отраслях) элементов централизованного управления (например, с помощью федеральных целевых программ).

Несмотря на распад отраслевой науки, приватизацию многих отраслевых НИИ и, как следствие, изменение их функций, во многих отраслях сохранились научные кадры, участвовавшие в 70–80-х гг. в разработке КП НТП СССР.

Многие объекты прогнозирования – отрасли, крупные предприятия, технологии – наряду с некоторыми изменениями сохранили ряд прежних свойств и тенденций, включая значительную инерционность и поэтапность инновационных и инвестиционных процессов. Также сохранилась (и даже больше обострилась) потребность в восстановлении стратегических ориентиров развития экономики и общества, в оценке и выборе путей достижения перспективных целей развития.

Современные тенденции развития технологического прогнозирования в России. Несмотря на отказ от разработки в конце 80-х гг. КП НТП, прогнозные исследования не прекратились. Однако в 90-х гг. они велись сравнительно небольшими силами исследовательских коллективов, сосредоточенных, прежде всего, в Российской академии наук. В 2002 г. по решению президиума РАН стала разрабатываться комплексная программа научных исследований РАН «Прогноз технологического развития экономики России с учётом мировых интеграционных процессов». Основными целями Программы являются:

анализ и оценка состояния технологического развития экономики, её отраслей и комплексов;

выявление общемировых тенденций технологического развития экономики;

формирование и оценка перспективных стратегий инновационного развития экономики России и др.

Возобновление прогнозов технологического развития экономики после многолетнего перерыва требует восстановления прежних информационных каналов и источников генерирования перспективных оценок развития [6]. При этом важно первоначально опираться на опыт профессионалов в сфере научно-технологического и социально-экономического прогнозирования, последовательно расширяя состав участников прогноза и приглашая к формированию прогнозных оценок представителей крупного, среднего и малого бизнеса.

Прогноз технологического развития экономики предполагает, с одной стороны, выявление перспективных отраслей и подотраслей, ускоренное развитие которых благодаря мультиплектильному эффекту будет содействовать росту ВВП, а с другой, поиск состава перспективных либо модернизируемых технологий, способных обеспечить такое развитие.

Для технологических процессов, а также формирования организационно-правовой среды, благоприятствующей технологическому разви-

тию, необходимы междисциплинарные исследования и усилия многих научных коллективов из различных отделений РАН.

В настоящее время практически отсутствует систематизированная достоверная статистическая информация не только о перспективных отечественных технологиях, их конкурентоспособности, но и о составе действующих технологий. Также важно выявить те перспективные точки роста или технологические кластеры российской экономики, приоритетные с точки зрения национальных интересов, для реализации которых отсутствуют конкурентоспособные отечественные технологии.

Полученная прогнозная информация о составе конкурентоспособных технологий может быть использована для ориентации в соответствии с национальными интересами отечественного научно-технологического потенциала на разработку новых и модернизацию действующих технологий, а также для формирования требований к импортируемым технологиям с точки зрения их конкурентоспособности и сопряжённости со смежными российскими технологиями.

Заключение. Проблемы формирования механизмов и условий перехода к инновационно-технологическому развитию экономики, основанному на перспективных инновациях и конкурентоспособных технологиях, являются составной частью новой области инновационной экономики. Однако многообразие и сложность возникающих при этом проблем требуют увеличения масштабов исследований направлений, условий и конкретных путей перехода к инновационной экономике.

Библиографические ссылки

1. Александров Н.И., Комков Н.И. Моделирование организации и управления решением научно-технических проблем. М.: Наука, 1988. 216 с.
2. Майминас Е.З., Тамбовцев В.Л., Фонотов А.Г. Цели и ресурсы в перспективном планировании / АН СССР, ЦЭМИ, Проблемы советской экономики. М.: Наука, 1985. 261с.
3. Методические вопросы организационно-экономического механизма программно-целевого управления научно-техническим развитием. М.: ИЭП НТП АН СССР, 1989.
4. Ярёменко Ю.В. Теория и методология исследования многоуровневой экономики: Избр. труды в 3 кн. Кн. 1. М.: Наука, 1997. 400 с.
5. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974. 586 с.
6. Проблемы и перспективы технологического обновления российской экономики / Под ред. В.В. Ивантера, Н.И. Комкова М.: МАКС Пресс, 2007. 740 с.



ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

По страницам журналов

Применение методов физико-математического моделирования и трибоспектральной идентификации для мониторинга фрикционных механических систем. *Вестник машиностроения*. 2009. № 5.

Рассмотрены вопросы проверки проектных решений, исследования, оптимизации, прогнозирования выходных трибохарактеристик фрикционных механических систем на стадии их проектирования, стеновых и лабораторных исследований, при макетных и доводочных испытаниях на основе метода физико-математического моделирования на примере моделирования фрикционного контакта подсистемы «тормозной диск – тормозная колодка» автомобильного транспортного средства. Приведены результаты экспериментальных исследований подсистемы «тормозной диск – тормозная колодка» в виде частотных характеристик, их связь с температурными процессами и с помощью математической модели идентифицированы динамические нагрузки в трансмиссии автомобильного транспортного средства типа «Газель».

Методы вибрационного контроля на примере диагностики гидравлических буровых станков. *Горное оборудование и электромеханика*. 2009. № 5.

Проведён анализ существующих методов вибродиагностики, дана оценка степени возможности их использования для решения ряда конкретных практических задач, оценён уровень аппаратной реализации методов. Рассмотрены результаты формирования случайных вибрационных процессов на основных агрегатах гидравлического карьерного бурового станка. Показано, что с применением современных методов вибрационной диагностики появляется возможность для своевременного обнаружения основных дефектов оборудования и прогнозирования технического состояния узлов и механизмов. Изложены основные проблемы разработки методики экспертизы промышленной безопасности карьерных буровых станков на примере станков типа DML.

Учебный стенд для изучения систем пожарной автоматики зданий. *Безопасность жизнедеятельности*. 2009. № 5.

Обоснована цель создания учебного стенда, представлено его краткое описание. В состав учебного стенда входят технические средства системы пожарной сигнализации и системы опове-

щения и управления эвакуацией. Учебный стенд функционально является тренажёром для выработки навыков управления этими системами. Применяется в лабораторной практике по курсу «Безопасность жизнедеятельности» при подготовке бакалавров и специалистов всех направлений и специальностей вуза. Может быть использован при подготовке дежурного персонала пожарных постов, диспетчерских или других специальных помещений.

Результаты экспериментальных исследований автомобилей, оснащённых средствами автоматики. *Грузовик, строительно-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай*. 2009. № 5.

Разработана автоматическая система, обеспечивающая управление тягой автомобиля, траекторией его движения, положением кузова, торможением и навигацией. Описана общая схема разработанной автоматической системы. Проведён анализ и приведены результаты испытаний автомобилей, оснащённых разработанной автоматической системой.

Исследование триботехнических явлений в нестационарных процессах и некоторые оптимизационные решения. *Трение и смазка в машинах и механизмах*. 2009. № 5.

Проанализированы структурные изменения материалов трущихся твёрдых тел в маслоохлаждаемых фрикционных парах трения. Численно решена тепловая задача трения скольжения для дискового тормоза колёсного трактора «Беларусь» при переходе к режиму трения без смазочного материала. Рассмотрены материаловедческие подходы к снижению вибрации и шума в тормозных устройствах машин. Приведён конечно-элементный расчёт напряжённо-деформированного состояния тормозных дисков. Обсуждены рекомендации по изменению конструкции тормозных дисков с целью снижения внутренних остаточных напряжений во фрикционном материале.

Алгоритмы диагностики современного автотранспорта. *Контроль. Диагностика*. 2009. № 5.

Описаны структуры и принципы действия современных и перспективных алгоритмов диагностики автомобилей. Рассмотрены основные алгоритмы диагностики: по пробегу, с фиксированием нештатной ситуации, с экранами состояния системы, с циклической записью параметров, алгоритм удалённой диагностики. Отмечены пре-

имущества и недостатки существующих алгоритмов, определены тенденции развития диагностики автомобильного транспорта.

Предварительный выбор и оптимизация надёжности автоматического сборочного оборудования. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 5.

На стадии проектирования автоматизированных сборочных линий важно выбрать оптимальный уровень надёжности сборочного оборудования, при котором все затраты, связанные с его эксплуатацией и производством, будут минимальными.

Задача определения оптимальной надёжности сборочного модуля решается методом выбора рационального распределения надёжности по отдельным составляющим модуль механизмам и узлам.

Методы учёта многовариантности разрабатываемых документов в локальных САПР технологических процессов ковки. Заготовительные производства в машиностроении. 2009. № 6.

Рассмотрены вопросы усовершенствования системы автоматизированного проектирования технологических процессов ковки для учёта множества вариантов разрабатываемой документации под одним и тем же обозначением. Разработанные методы позволяют проектировать в локальных САПР несколько вариантов технологических процессов ковки, не прибегая к использованию дорогостоящих систем управления документооборотом, а разработанное программное обеспечение облегчает интеграцию локальных систем в программные продукты, реализующие CALS-технологии.

Системы для автоматизированной оценки комплекса характеристик шероховатости контактных поверхностей. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. № 7.

Описаны устройство и принцип действия разработанных метрологических систем АПП-1 и АПП-2, предназначенных для определения и регистрации в автоматизированном режиме совокупности характеристик шероховатости поверхностей конструктивных элементов, входящих в контакт друг с другом, транспортируемых и обрабатываемых средами и подвергающихся трению и изнашиванию.

Тепловое состояние пары трения коррозионностойкая сталь – самосмазывающийся композиционный материал. Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. № 7.

Рассмотрены основные принципы подбора самосмазывающегося композиционного антифрикционного материала, обеспечивающего работоспособность тяжелонагруженных опор скольжения, применяемых для целей сейсмической изоляции сооружений, а также для демпфирования и диссипации энергии сейсмического силового воздействия. Разработан подход для определения теплового состояния в контакте плоской тяжело-нагруженной опоры скольжения с применением современных вычислительных методов. Сравнение результатов расчётов с экспериментальными данными показало удовлетворительную сходимость. Метод расчёта температуры в зоне контакта и на глубине под поверхностью контакта позволяет сравнивать результаты расчётов с измерениями объёмной температуры на некоторой глубине от поверхности трения, а также производить оценку и подбор антифрикционных материалов по их температурной стойкости.

Гироскопы в системах гироскопической стабилизации. Инженерный журнал «Справочник». 2009. № 7.

Описан принцип действия гироскопа с твёрдотельным ротором в составе гироскопических систем стабилизации. Рассмотрены особенности функционирования систем стабилизации с применением различных типов гироскопов. Приведено описание систем стабилизации, созданных на кафедре «Приборы управления» Тульского государственного университета.

Способ доориентации жёстких уплотнений при их автоматизированной установке на сопрягаемую поверхность узла. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 7.

Описана конструкция адаптирующего устройства для автоматизированной установки плоских жёстких уплотнений. Получены необходимые условия по точности совмещения сопрягаемых поверхностей, силовым воздействиям на соединяемую деталь и быстродействию установки уплотнений. Предложенный способ обеспечил надёжную работу в условиях производства.

Применение автоматизированной установки на базе характеристографа «Эрбий-7107» для исследования электрофизических свойств МДП-структур, содержащих наноразмерные плёнки Ленгмюра–Блоджетт. Нано- и микросистемная техника. 2009. № 7.

Описана автоматизированная установка для исследования электрических свойств МДП-структур, содержащих наноразмерные плёнки. Рассмотрены конструктивные особенности измерительной установки, схема её сопряжения с компьютером и программное обеспечение. Подробно описаны конструкция и функциональные возможности измерительной ячейки. Приведены результаты измерения вольт-амперных характеристик МДП-структур, содержащих органические наноразмерные плёнки Ленгмюра – Блоджет на основе каликсрезорцинаренов с ионами никеля.