

Краткие сообщения

УДК 517.958:536.24

Н.А. Базир, А.А. Базаров, Л.С. Зимин

ПОСТРОЕНИЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛООБМЕНА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ*

Сформулирована краевая задача нестационарной теплопроводности для движущегося объекта с граничными условиями первого и третьего рода, которая решается методом конечных элементов и Галеркина для пространственных и временных координат температурного поля.

Постановка задачи. Цилиндрические заготовки широко применяются в промышленности для последующей обработки давлением. Неравномерный нагрев заготовок влечет за собой производство бракованных изделий, которые из них изготавливаются. Таким образом, обеспечение равномерности является одной из ключевых задач при индукционном нагреве.

Математическая модель нестационарной теплопроводности. Математическая модель нелинейной задачи теплопроводности в цилиндрических координатах имеет вид

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(\lambda \cdot r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{c \cdot \gamma} W - \nu \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R} = \alpha(R) [T_c - T(R, z, t)]; \quad (2)$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=Z} = \alpha(r) [T_c - T(r, Z, t)]; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0; \quad (4)$$

$$T \Big|_{z=0} = T_c, \quad (5)$$

где T – температура; t – время; r и z – радиальная и аксиальная координаты; c – удельная теплоемкость, γ – плотность материала, W – функция распределения внутренних источников тепла, полученных в результате решения электромагнитной задачи; α – коэффициент теплообмена с окружающей средой конвекцией, зависит от геометрических размеров и формы стенки нагреваемого изделия.

Тепловая задача решается методом конечных элементов, который дает возможность достаточно точно учитывать все нелинейности путем изменения всех нелинейных величин с каждым шагом по времени, а также задать сложную геометрию нагреваемого изделия.

Результатом разработки численной модели нестационарного теплообмена цилиндрических заготовок является программный продукт, позволяющий на основе теплофизических параметров заготовки и длины "рабочей части" индуктора рассчитывать распределение температуры в различных слоях заготовки упрощенным методом.

Функция формы линейного треугольного элемента имеет вид [2]

$$N_{\beta} = \frac{1}{2A} (a_{\beta} + b_{\beta}r + c_{\beta}z), \quad \beta = i, j, k. \quad (6)$$

Температура

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 07-08-00216).

$$T = \begin{bmatrix} N_i & N_j & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_k \end{Bmatrix}, \quad (7)$$

где T_i , T_j , T_k – значения температуры в узлах, последовательно проходимых от узла i в направлении, противоположном направлению движения часовой стрелки.

Матрица градиентов $[B]$:

$$[B] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} b_i & b_j & b_k \\ c_i & c_j & c_k \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Матрица свойств материала $[D]$:

$$[D] = \begin{bmatrix} K_{rr} & 0 \\ 0 & K_{zz} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Предполагая толщину элемента единичной, заменим dV на dA . Подынтегральное выражение постоянно и может быть вынесено за знак интеграла:

$$\int_V [B]^T [D] \cdot [B] \cdot dV = [B]^T [D] \cdot [B] \int_A dA = A \cdot [B]^T [D] \cdot [B]. \quad (10)$$

Вычисляя произведение матриц, имеем

$$[k^{(e)}] = \int_{V^{(e)}} [B^{(e)}]^T \cdot [D^{(e)}] \cdot [B^{(e)}] dV + \int_{A^{(e)}} h \cdot [N^{(e)}]^T \cdot [N^{(e)}] dA. \quad (11)$$

Вектор-столбец правых частей уравнений для элемента определяется формулой

$$\{f^{(e)}\} = - \int_{V^{(e)}} [N^{(e)}]^T Q dV + \int_{A_1^{(e)}} [N^{(e)}]^T dA - \int_{A_2^{(e)}} [N^{(e)}]^T T_\infty h dA, \quad (12)$$

где величины Q , T_∞ и h имеют числовые значения.

Матрица теплоемкости имеет вид

$$[C^{(e)}] = \int_V \lambda \cdot [N]^T \cdot [N] dV. \quad (13)$$

Процедура преобразования алгоритма расчета температуры в неподвижных заготовках к задаче для движущейся заготовки осуществляется на основании следующих формул:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right] - v \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{w}{cy}; \quad (14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + v \frac{\partial T}{\partial z} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{w}{cy}, \quad (15)$$

при этом производная по времени заменяется конечно-разностным аналогом:

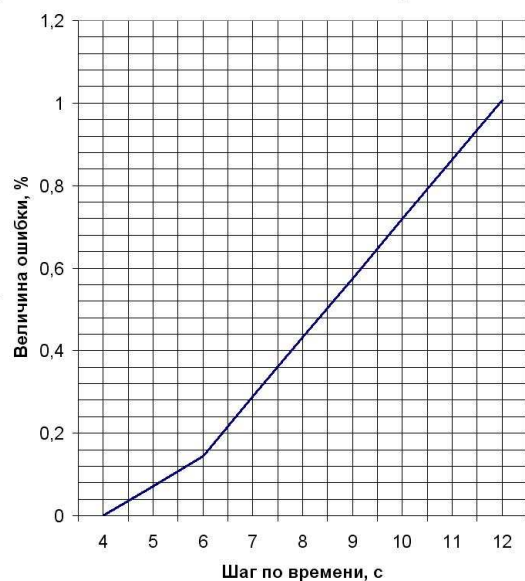
$$\frac{\partial T}{\partial \tau} \rightarrow \frac{T_{n+1} - T_n}{\Delta t}, \quad (16)$$

$$v \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\Delta z}{\Delta t} \cdot \frac{\partial T}{\Delta z} = \frac{\Delta z}{\Delta z} \cdot \frac{\partial T}{\Delta t} = \frac{T_{n+1} - T_n}{\Delta t}. \quad (17)$$

Таким образом, перемещение заготовки отражается в переприсвоении температур между соседними слоями по длине.

Аналогично переходу от производной по времени к конечно-разностному аналогу в случае замены первой производной по координате следует учитывать проблему устойчивости и точности вычислительного процесса. Необходимо стремиться к минимизации шага дискретизации в пространстве, что создает проблему времени расчета. Как видно из (17), движение заготовки в печи является дискретным. Точность диаграмм можно опосредованно задавать в исходных данных (через число шагов с шагом по времени и через число слоев заготовки), что соответственно увеличивает время расчета. Результатом разработки численной модели нестационарного теплообмена для цилиндрических заготовок является программный продукт, позволяющий на основе функции распределения внутренних источников тепла и исходных дан-

ных заготовки и длины рабочей части индуктора рассчитывать распределение температуры в различных слоях заготовки упрощенным методом.



Погрешность расчетов относительно точного решения в зависимости от шага по времени для поверхности заготовки

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мельников А.А. Расчет электромагнитных и температурных полей методом конечных элементов. М.: Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики, 2001.
2. Сигерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979.
3. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986.
4. Норри Д., Ж. де Фриз. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1981.
5. Слухоцкий А.Е., Немков В.С., Павлов Н.А., Бамунэр А.В. Установки индукционного нагрева. Л.: Энергоиздат, 1981.
6. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.: Энергоатомиздат, 1988.

Статья поступила в редакцию 31 октября 2007 г.

УДК 62-3

Б.М. Горшков, Д.Г. Токарев

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КООРДИНАТНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Потеря геометрической точности прецизионных станков в результате упругих перемещений их конструктивных элементов (станин, стоек, стола) приводит к различным погрешностям обработки деталей. Возможно снижение влияния возникающих погрешностей на точность обработки путем применения разработанной авторами системы компенсации погрешностей. Эффективность применения указанной системы подтверждается результатами натурных экспериментов по обработке корпусной детали, приведенными в статье. На основе анализа результатов можно утверждать, что использование системы компенсации погрешностей позволяет «перевести» станок из класса точности В в класс А. При этом его точность повышается в среднем в 3 раза по сравнению с аналогичным станком, не оснащенным системой компенсации погрешностей.

Упругие перемещения станин и стоек под действием сил веса шпиндельной бабки, стола с обрабатываемой деталью обуславливают потерю геометрической точности прецизионных станков.

В общем виде суммарная погрешность обработки партии деталей определяется следующим выражением [1]:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{СИСТ} + \frac{1}{K} \sqrt{\Delta_f^2 K_f + \Delta_c^2}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{сист}}$ – сумма систематических погрешностей;
 Δ_f – сумма функциональных погрешностей;
 Δ_c – сумма случайных погрешностей;
 K, K_f – коэффициенты относительного рассеивания.

К наиболее характерным видам погрешности при выполнении работ на координатно-расточных станках следует отнести взаимное расположение поверхностей и осей обрабатываемой детали относительно зеркала стола. Исходя из этого в качестве заготовки была выбрана корпусная деталь.

Для снижения влияния на точность обработки некоторых факторов в проводимых экспериментах необходимо принять определенные меры. Так, например, прогрев станка на холостых оборотах в течение одного часа позволил снизить влияние функциональных погрешностей [1]. Выбор малого машинного времени практически исключил погрешность, вносимую размерным износом режущего инструмента, а предварительная черновая обработка уменьшила разброс припуска.

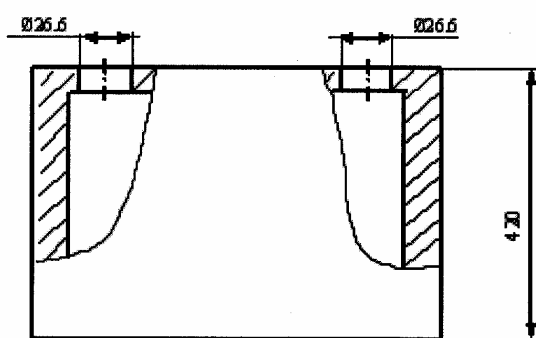
Установка корпусной детали как минимум на три опорные точки относительно базовой поверхности не фиксируется однозначным образом, что обусловлено наличием контактных деформаций системы «деталь - опоры», «опоры - стол». Это затрудняет сравнение результатов экспериментов.

С целью исключения такого вида погрешностей обрабатывалась одна корпусная деталь. Для осуществления операции растачивания на определенной высоте от поверхности стола было выполнено значительное количество отверстий. Накопленный в результате опытов материал позволил, используя методы математической статистики, построить гистограммы распределений случайных величин. При этом систематические погрешности обработки определялись в основном упругими деформациями станины и стойки координатно-расточного станка.

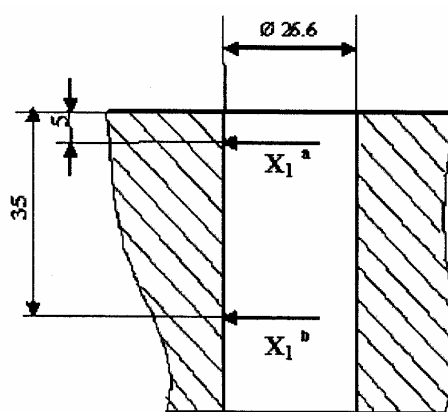
Поэтому для эмпирической оценки указанных погрешностей было проведено две серии экспериментов, в частности растачивание отверстий в корпусной детали на вертикальном КРС модели 24K40СФ4 с отключенной системой компенсации погрешностей (СКП) (нечетные отверстия) и при ее работе (четные отверстия).

Эксперименты проводились на специально изготовленной для этих целей детали (рис. 1). Материал – СЧ 21-40 ГОСТ 1412-70, твердость – НВ 150...180. Геометрические размеры – 660x660x460 мм.

Установка детали на столе осуществлялась на три опорные точки. Причем её положение относительно зеркала стола было выверено электронными уровнями (с разрешающей способностью 1 угловая секунда), а момент завинчивания на струбцине контролировался тарировочным ключом ($M \cong 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$).



Р и с. 1. Корпусная деталь для проведения эксперимента



Р и с. 2. Схема контрольных замеров

Детали, обработанные на станке без использования СКП и при её функционировании, передавались для измерения в метрологическую лабораторию. Операции контроля были выполнены на координатно-расточном станке модели Hydroptic-8 фирмы SIP (Швейцария), который используется в режиме координатно-измерительной машины. При этом условия установки детали на стол были сохранены.

В качестве мерительного инструмента применялся механотронный датчик перемещений с

ценой деления 0,1 мкм. Для выполнения операции растачивания на плоскости (рис. 1) было выполнено по двадцать два (количество определялось исходя из определенных значений достоверной вероятности и точности) отверстия $\varnothing 26,6$ мм. При этом глубина отверстия составляла 50 мм.

В качестве режущего инструмента использовался резец марки ВК6, закрепленный в нестандартной борштанге длиной $l = 260$ мм.

Операция контроля непараллельности осей растачиваемых отверстий базовой поверхности (зеркалу стола) сводилась к замерам наклона образующих цилиндрических отверстий. При этом их цилиндричность определялась в специально проведенных опытах по их контролю. Измерялись величины X_1^a , X_2^a , X_1^b и X_2^b (рис. 2) (надстрочный индекс «a» соответствует станку без использования СКП, а индекс «b» – с функционированием СКП), которые регистрировались на базе 30 мм. Разность соответствующих значений, отнесенная к расстоянию между ними, позволяет определить угол наклона образующей цилиндрического отверстия к плоскости зеркала стола.

Известно, что погрешности взаимного расположения поверхностей или осей деталей (неперпендикулярность, непараллельность и т.д.) являются случайными величинами [1]. Последние подчиняются либо закону модуля разности, либо закону эксцентриситета.

При статистической обработке результатов растачивания отверстий осуществлялась оценка случайности выборки методом последовательных разностей [2]. Проверка выборок показала, что все детали (отверстия) выборок отвечают критерию случайности.

Характер эмпирических распределений оказался также близким к нормальному закону с уклонением.

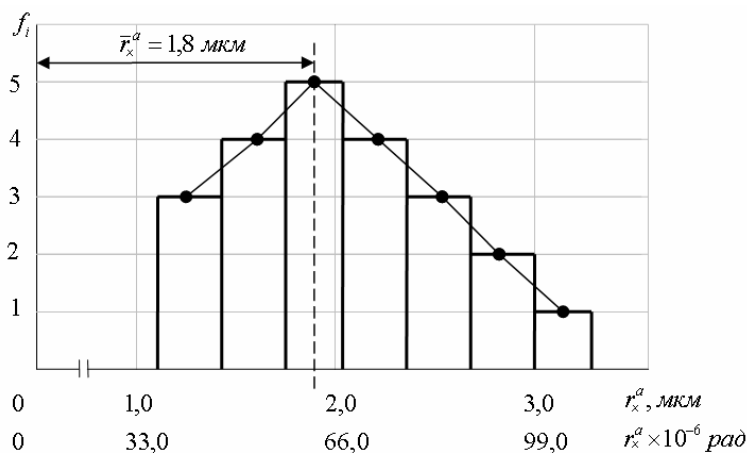
Результаты исследования точности обработки на станке с отключенной СКП и при её функционировании иллюстрируются гистограммами r_x^a и r_x^b соответственно (рис. 3, рис. 4).

Построенные на гистограммах вероятностные полигоны позволили определить средние значения погрешностей \bar{r}_x^a и \bar{r}_x^b , которые составили 1,8 мкм для станка с отключенной СКП и 0,4 мкм для станка с функционирующей СКП.

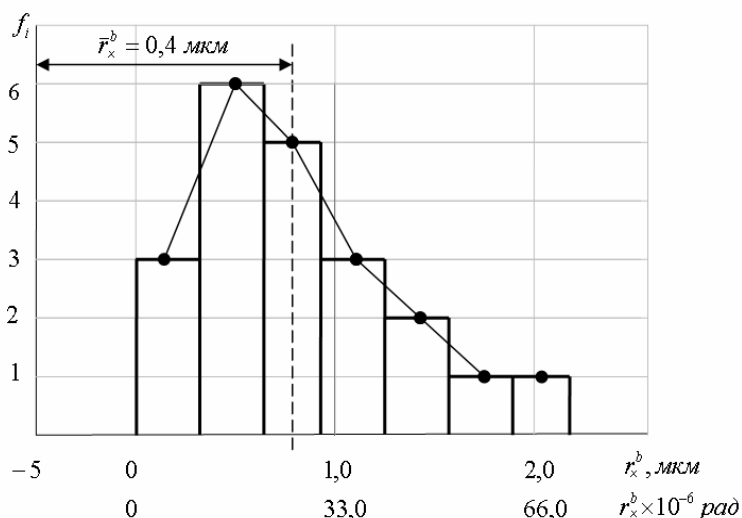
На этих же графиках даны вторые шкалы r_x^{a*} и r_x^{b*} величин углов наклона образующей цилиндрического растачиваемого отверстия относительно технологической базы (зеркала стола). Анализ гистограмм с помощью вероятностных полигонов показывает, что среднее значение \bar{r}_x^{a*} равно $62,4 \cdot 10^{-6}$ рад, что соответствует 12,9 угловым секундам, а среднее значение \bar{r}_x^{b*} составляет $14,8 \cdot 10^{-6}$ рад (3 угловых секунды).

Сопоставление вероятностных характеристик процессов рассеивания, представленных на рис. 3 и рис. 4, показывает следующее:

- а) точность положения оси растачиваемого отверстия при функционировании СКП возрастает по сравнению с обработкой на станке, не оснащенном СКП;
- б) поле рассеивания отклонений при растачивании остается неизменным в обоих режимах обработки; указанное объясняется незначительностью относительных колебаний «инструмент-заготовка» вследствие незначительной глубины растачиваемых отверстий и малых сил резания, при которых обеспечивается большой запас устойчивости упругой системы станка; это обуславливает отсутствие демпфирующего влияния СКП на систему;



Р и с. 3. Гистограмма распределения размеров при фрезеровании на станке без СКП



Р и с. 4. Гистограмма распределения размеров при фрезеровании на станке, оснащенном СКП

Результатом повышения точности обработки на вертикальных КРС является то, что можно утверждать: использование СКП позволяет «перевести» станок из класса точности В в класс А. При этом его точность повышается в среднем в 3 раза по сравнению с аналогичным станком, не оснащенным СКП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1982. 228 с.
2. Справочник по производственному контролю в машиностроении. 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. А.К. Кутая. Л.: Машиностроение, 1984. 692 с.
Статья поступила в редакцию 16 апреля 2007 г.

УДК 681.248.56

К.В. Картышов

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД В ОПИСАНИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО РЭС

Рассматривается особенность разработки моделей процесса прохождения конструкторских документов, связанных с проектированием конструкций РЭС в контексте функций PDM-системы. Описанные модели инвариантны относительно особенностей реализации функции PDM-системы и вложенных в них нотаций. Это позволяет использовать их на этапе организации проектно-конструкторских работ при внедрении PDM-систем.

Внедрение CALS-технологий в сферу автоматизации проектно-конструкторской деятельности КБ предприятия радиотехнического профиля предполагает использование систем класса PDM/PLM. Таких систем в современном мире достаточно много. Все они обладают широким набором функций, как правило, идентичным для каждой PDM-системы и нацеленным на решение некоторого класса задач. Качество решения таких задач зависит от степени понимания как разработчиком системы, так и системным аналитиком предметной области автоматизируемых процессов, глубины их охвата и уровня настройки самой системы на реализацию интересующих процессов. При этом каждый из разработчиков PDM-систем, как правило, предоставляет собственный механизм реализации функций для системных аналитиков, но не предлагает законченного решения для отдельно взятого предприятия в силу специфики протекающих там процессов. Автоматизация проектных работ средствами PDM-системы требует соответствующей её настройки, достигаемой при помощи встроенного визуального механизма и тех нотаций, которые разработчики вложили в саму систему. Поэтому для эффективного

использования PDM-системы и всего комплекса средств автоматизации необходимо провести работу по оценке организации проектных работ на предприятии, пересмотру и реинжинирингу устоявшихся процессов уже на начальных этапах внедрения системы [1].

В связи с этим выполним структурный анализ процесса прохождения конструкторской документации (КД) в конструкторском бюро (КБ) радиотехнического профиля [2]. Для моделирования его в нотации IDEF0 воспользуемся средствами системы All Fusion Modeling Suite. Поскольку внедрение CALS-технологий требует построения единого информационного пространства предприятия (ЕИП), то возникает необходимость определения основных участников – специалистов в проектных работах, процедур автоматизации, систем автоматизированного проектирования (САПР), баз данных (БД) и программного обеспечения (ПО), задействованных в данном ЕИП.

Рассмотрим моделирование процесса прохождения КД с учётом как вышеупомянутых требований CALS, так и функций PDM-системы для случая проектирования электронного блока.

На основе указанных требований на нулевом уровне IDEF0-моделирования в качестве исходной функции A0 зададим действие – «Проектирование электронного блока». Входом будет служить «Техническое задание» (ТЗ), выходом – «Комплект конструкторской документации» на блок. В качестве объекта управления, воздействующего на способ, которым «вход» преобразуется в «выход», выступают требования ЕСКД, а механизмом, непосредственно выполняющим это преобразование, – «Коллектив конструкторского бюро» (рис. 1).



Рис. 1. Постановка проблемы

Для случая проектирования блочных конструкций РЭС вначале определим участников проектной деятельности и их взаимосвязь в процессе проектирования с потоком разрабатываемой документации. Для этого на 1-м уровне декомпозиции составим модель (рис. 2), в которой проектная деятельность выражена функциями A1, A2, A3, A4. Участники деятельности

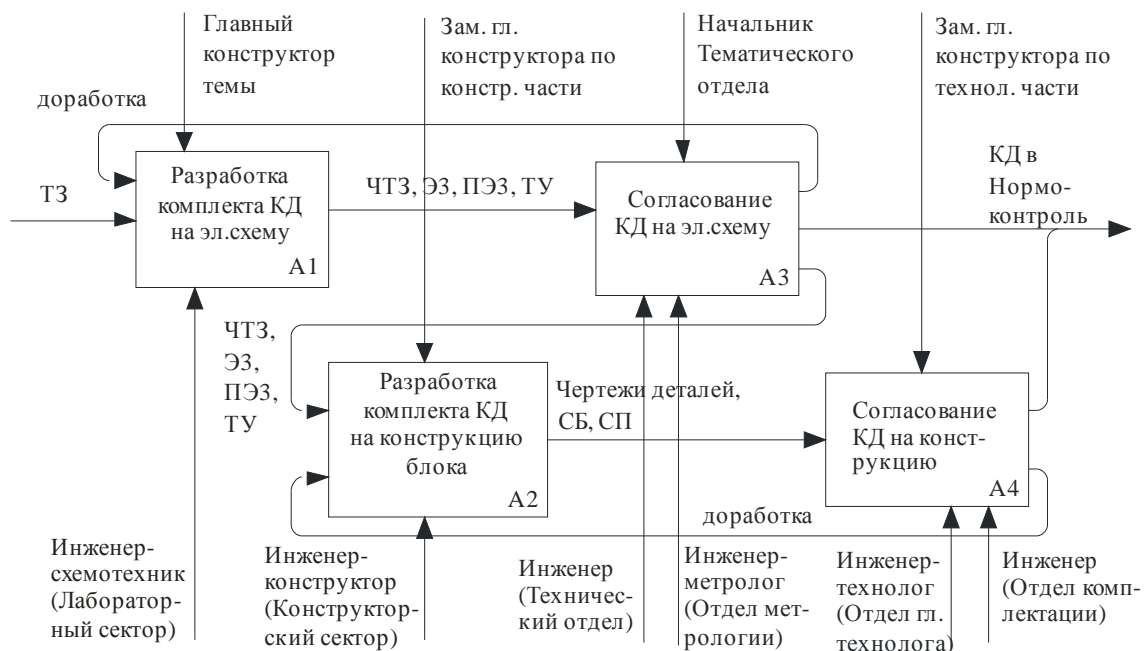


Рис. 2. Модель процесса разработки комплекта КД участниками проектной деятельности

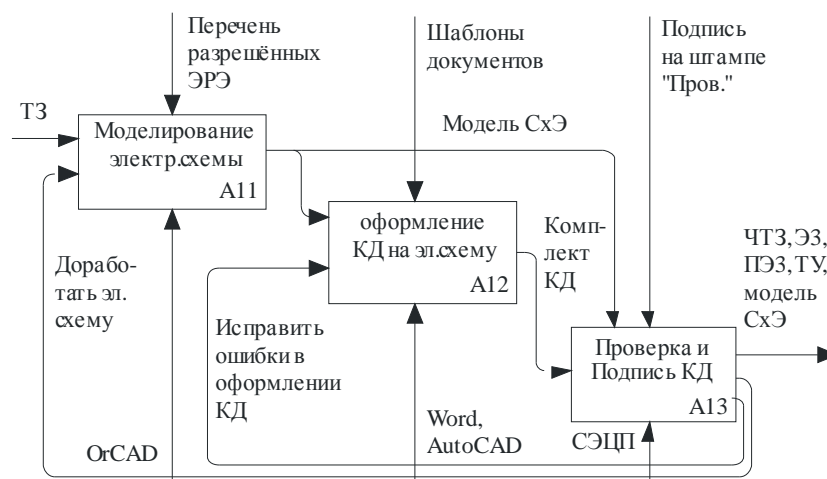
- это исполнители (инженер-схемотехник, инженер-конструктор и т.п.) и координаторы (главный конструктор, его заместитель и т.п.), а поток – это документация и/или модели проекта на входах и выходах блоков. Основные процедуры, которые при этом приходится в процессе подготовки КД выполнять, – это разработка комплекта КД на схему, его согласование, разработка комплекта КД на конструкцию и также его согласование. Из полученной модели следует, что автоматизация этого вида работ может быть осуществлена такой функцией PDM-системы, как управление данными на ролевой основе (Collaboration Management). Поэтому

для её реализации PDM-системой в качестве исходных данных необходима информация об организационной структуре КБ предприятия, в которой помимо ролей его сотрудников должна быть отражена специфика выполняемых ими работ. Например, при разработке блоков антенно-фидерных устройств могут участвовать одни специалисты, приёмо-передающих – другие, источников питания – третьи. При этом для различных видов проектных работ (НИР, ОКР и т.д.) или типов разрабатываемой аппаратуры (стойки, шкафы и т.п.) состав участников может быть также различным. Как правило, в роли координатора в подобном КБ должен выступать ответственный за разработку части проекта, а исполнители проекта будут меняться в зависимости от специфики выполняемых ими работ. Вместе с тем представленная на рис. 2 модель описывает общую организацию и взаимодействие участников проектных работ в КБ независимо от вида проектных работ и поэтому может считаться базовой для описания подобных процессов. В связи с этим такой подход к составлению модели можно считать базовым, и на его основе появляется возможность создавать модели проектной деятельности и получения КД для ряда высших иерархических уровней конструкций РЭС (панели, стойки, рамы, шкафа).

На следующем уровне декомпозиции показана необходимость интеграции в PDM-систему САПР, классификаторов, справочников стандартных изделий, шаблонов документов и программного обеспечения, которые могут быть задействованы в этом виде проектной деятельности. На рис. 3 приведена декомпозиция функции А1, а на рис. 4 – функции А2. (Аналогичным образом декомпозируются функции А3 и А4). На этом уровне декомпозиции проектной деятельности также уточняются форматы передаваемых данных и используемые в данном случае информационные системы (AutoCAD, OrCAD и др.). Одновременно определяются статусы документов, которые, по сути своей, выражаются простановкой электронной подписи на штампе документа: «Разраб.», «Пров.», «Т.Контр.», «Н.Контр.», «Утв.» и виз других специалистов.

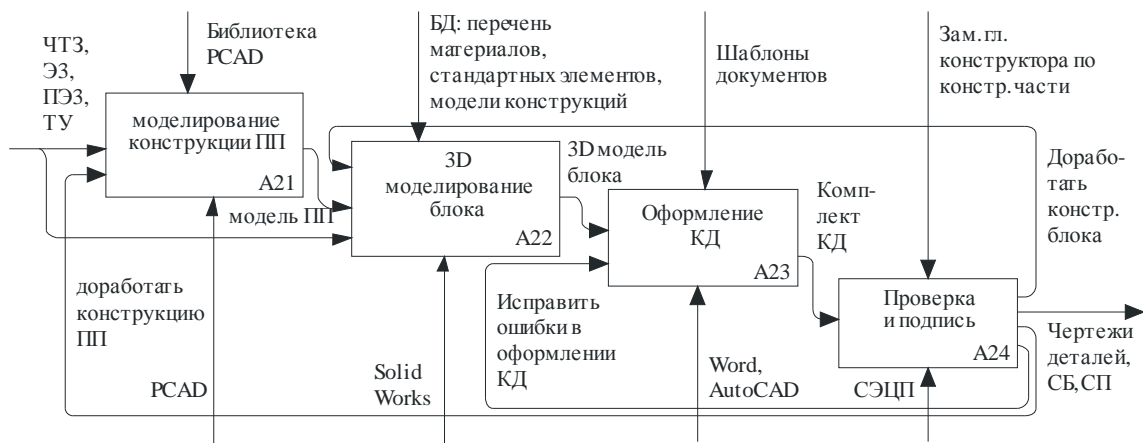
Кроме ролевой, в данном случае находят отражение такие функции PDM-системы, как управление и сопровождение ходом проекта (Project Management), а также функция визуализации проектных данных. Чтобы каждый участник проекта мог работать только со своей частью проекта, данные на этом этапе проектной деятельности целесообразно передавать в формате стандарта STEP (для 3D-моделей это IGES, для плоских изображений – DXF).

Моделирование поставленной проблемы, выполняемое подобным образом, позволяет на каждом из представленных уровней чётко выделить необходимую сферу области автоматизации, выстроить стратегию развития и автоматизации процесса проектирования на предприятии и определить основные настройки PDM-системы для эффективной организации проектных работ и электронного документооборота.



Р и с. 3. Модель управления ходом проекта разработки электрической схемы

По предложенным моделям была осуществлена экспериментальная настройка системы PDM Step Suite под процесс проектной деятельности КБ радиотехнического профиля при разработке конструкции электронного блока. Сравнительно просто и в достаточно короткие сроки (два-три месяца) удалось определить порядок функционирования системы при организации проектных работ.



Р и с. 4. Модель управления ходом проекта разработки конструкции блока

Предложенные модели оказались инвариантными относительно особенностей реализации функции PDM-системы и вложенных в них нотаций. Поэтому их можно считать базовыми для описания любых видов проектно-конструкторской деятельности при разработке изделий радиотехнического профиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.В. Бакаев, Е.В. Судов, В.Ю. Гомозов и др. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / Под ред. В.В. Бакаева; М.: Машиностроение-1, 2005. 624 с.
2. Ретин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. 408 с.

Статья поступила в редакцию 20 марта 2007 г.

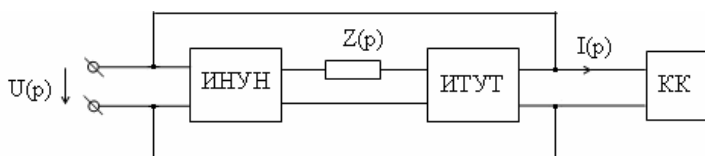
УДК 621.373.42

В.С. Ляпидов

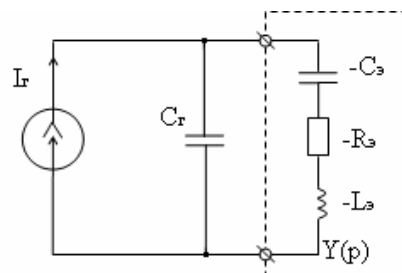
ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИОННОСТИ КОНВЕРТОРОВ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО ИМПЕДАНСА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Дана оценка влияния инерционности конвертора отрицательного импеданса на его устойчивость и частоту колебаний измерительного автогенератора.

В работе [1] исследованы схемы высокочувствительных измерительных LC -автогенераторов (ИГ) с конверторами отрицательной ёмкости и индуктивности без учёта инерционности схем конверторов. ИГ с конверторами отрицательного импеданса представляют собой активные цепи, выполненные на основе управляемых источников напряжения (ИНУН) и тока (ИТУТ) [1] (рис. 1), где КК – колебательный контур ИГ; $Z(p)$, $U(p)$, $I(p)$ – изображения по Лапласу импеданса, напряжения и тока.



Р и с. 1. Структурная схема ИГ с конвертором отрицательного импеданса



Р и с. 2. Схема подключения конвертора отрицательного импеданса

Пусть передаточная функция ИТУТ ИГ с конвертором отрицательной ёмкости (индуктивности) имеет вид передаточной функции аperiodического звена, постоянная времени T_1 которого характеризует инерционность конвертора.

Тогда передаточная функция схемы конвертора отрицательной ёмкости $W_1(p)$ и передаточная функция схемы конвертора отрицательной индуктивности $W_2(p)$ будут иметь вид

$$W_1(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{-K_1 K_2 p C_3^*}{T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2)p + 1}; \quad (1)$$

$$W_2(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = \frac{-\frac{K_1 K_2}{R^*}}{T_1 T_3 p^2 + (T_1 + T_3)p + 1}, \quad (2)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты преобразования управляемых источников тока и напряжения;
 C_3^* – конвертируемая ёмкость;

$$T_2 = C_3^* (R_{BH1} + R_{BX2} + R_6) = C_3^* R^*; \quad (3)$$

$$T_3 = \frac{L_2^*}{R^*}; \quad (4)$$

L_2^* – конвертируемая индуктивность;

R_{BH1}, R_{BX2}, R_6 – согласно [1] внутреннее сопротивление источника напряжения, входное сопротивление источника тока, регулировочное сопротивление соответственно.

Каждая из передаточных функций (1) и (2) может быть представлена в виде эквивалентной отрицательной проводимости, составленной по Баркгаузену [2] (рис. 2).

Величины эквивалентных параметров (C_3, R_3, L_3) для передаточной функции конвертора отрицательной ёмкости можно найти из выражения

$$Y(p) = \frac{I(p)}{U(p)} = -\frac{pC_3}{L_3 C_3 p^2 + R_3 C_3 p + 1}, \quad (5)$$

где

$$C_3 = K_1 K_2 C_3^*; \quad L_3 = \frac{T_1 T_2}{C_3} = \frac{T_1 R^*}{K_1 K_2}; \quad R_3 = \frac{T_1 + T_2}{C_3} = \frac{T_1 + C_3^* R^*}{K_1 K_2 C_3^*}. \quad (6)$$

Величины эквивалентных параметров для передаточной функции конвертора отрицательной индуктивности можно найти аналогично из выражения отрицательной проводимости:

$$Y(p) = -\frac{\frac{1}{R_3}}{L_3 C_3 p^2 + R_3 C_3 p + 1}, \quad (7)$$

где

$$R_3 = \frac{R^*}{K_1 K_2}; \quad C_3 = \frac{(T_1 R^* + L_2^*) K_1 K_2}{(R^*)^2}; \quad L_3 = \frac{T_1 R^* L_2^*}{(T_1 R^* + L_2^*) K_1 K_2}. \quad (8)$$

Если эквивалентную отрицательную проводимость $Y(p)$ подключить к источнику питания тока (I_r) с нагрузочной ёмкостью (C_r) (см. рис. 2), то устойчивость схемы конвертора отрицательной ёмкости (индуктивности) можно исследовать путём анализа корней многочлена знаменателя передаточной функции

$$H(p) = \frac{U(p)}{I_r(p)}. \quad (9)$$

Характеристическое уравнение функции имеет вид

$$pC_r - [(pC_3)^{-1} + R_3 + L_3 p]^{-1} = 0. \quad (10)$$

Корни характеристического уравнения (10) имеют отрицательное значение, когда

$$C_r > C_3. \quad (11)$$

Это неравенство даёт возможность определить условие устойчивости конвертора. Значит, внешняя ёмкость может принимать бесконечно большое значение (может быть короткозамкнута), следовательно, схема конвертора устойчива до режима короткого замыкания.

Для схемы замещения ИГ с конвертором отрицательной ёмкости (с учетом T_1) справедливо уравнение, записанное в операторном виде:

$$p^4 U(p) + Ap^3 U(p) + Bp^2 U(p) + Dp U(p) + EU(p) = 0, \quad (12)$$

где

$$A = \frac{T_1 RC_2 + R^* C_3^* RC_2 + T_1 R^* C_3^*}{T_1 R^* C_3^* RC_2}; \quad (13)$$

$$B = \frac{RL_1 C_3 + L_1(T_1 + R^* C_3^*) + RT_1 R^* C_3^* - K_1 K_2 C_3^* RL_1}{T_1 R^* C_3^* RC_2 L_1}; \quad (14)$$

$$D = \frac{L_1 + R(T_1 + R^* C_3^*)}{T_1 R^* C_3^* RC_2 L_1}; \quad (15)$$

$$E = \frac{1}{T_1 L_1 C_2 R^* C_3^*}; \quad (16)$$

$$R^* = R_{BH1} + R_{BX2} + R_6; \quad (17)$$

$$R^{-1} = R^{-1}_{BX1} + R^{-1}_K + R^{-1}_{BH2}, \quad (18)$$

где R_{BX1} , R_K , R_{BH2} согласно [1] – входное сопротивление источника напряжения, сопротивление потерь колебательного контура ИГ, внутреннее сопротивление источника тока;

L_1 , C_2 – индуктивность и ёмкость колебательного контура ИГ [1].

Из (12), используя решение Декарта-Эйлера и мнимую часть корней характеристического уравнения, получим выражение для частоты на выходе ИГ с конвертором отрицательной ёмкости (с учетом инерционности ИТУТ):

$$\omega_3 = [L_1(C_2 - K_1 K_2 C_3)]^{-0,5}, \quad (19)$$

где

$$C_3 = \frac{C_3^*(1 - \omega_3^2 C_3^* R^* T_1)}{(1 - \omega_3^2 C_3^* R^* T_1)^2 + \omega_3^2 (T_1 + C_3^* R^*)^2}. \quad (20)$$

Проведенные исследования позволили установить следующее:

а) схема конвертора отрицательного импеданса устойчива до режима короткого замыкания;

б) величина постоянной времени, характеризующая инерционность конвертора отрицательной ёмкости, влияет на частоту и не влияет на устойчивость работы ИГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ляпидов В. С. Активные цепи в измерительных автогенераторах // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Вып. 20. Сер. Технические науки. 2004. С. 135-144.
2. Бенинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах. М.: Сов. Радио. 1975. 288 с.

Статья поступила в редакцию 8 октября 2007 г.

Д.А. Майдан

ХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЙНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ НИТРИДОВ МЕТАЛЛОВ ГРУППЫ ЖЕЛЕЗА В РЕЖИМЕ САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЗИДА НАТРИЯ И ГАЛОИДНЫХ СОЛЕЙ АММОНИЯ

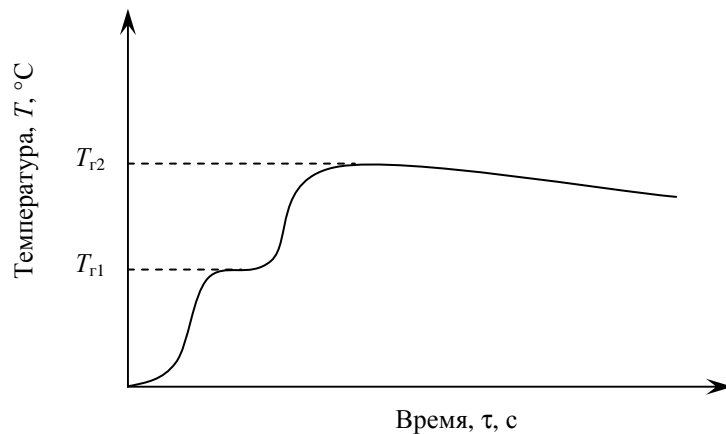
Представлены результаты исследования химической стадийности образования нитридов металлов группы железа в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с использованием азидов натрия и галоидных солей аммония (СВС-Аз).

В 1967 г. в Отделении Института химической физики АН СССР академиком А.Г. Мерзжановым, профессорами И.П. Боровинской и В.М. Шкиро разработан способ синтеза тугоплавких соединений, в том числе нитридов, который получил название «самораспространяющийся высокотемпературный синтез» (СВС). Технология СВС относится к порошковым технологиям, но она принципиально отличается от традиционных технологий порошковой металлургии тем, что для осуществления процесса азотирования исходные порошки сжигают, а не нагревают в печи. Процесс СВС идет за счет собственного тепловыделения, без подвода энергии извне, в простых, компактных аппаратах, а не в громоздком высокотемпературном оборудовании. Отсутствие длительного и энергоемкого нагрева в печи – одно из главных преимуществ технологии СВС. Высокие температуры горения обеспечивают полноту превращения исходных элементов в конечные продукты и способствуют испарению примесей, поэтому продукты синтеза имеют высокую чистоту. Большие скорости горения обуславливают высокую производительность процесса. Однако классическим методом СВС с использованием газообразного азота в качестве азотирующего реагента нитриды металлов группы железа получить не удастся, так как реакция образования нитрида железа является крайне слабозэкзотермичной, а реакции образования нитридов кобальта и никеля эндотермичны. Использование азидов натрия в качестве азотирующего реагента и галоидных солей аммония для химической нейтрализации азидов в процессах горения позволяет решить вопрос синтеза нитридов металлов группы железа за счет тепла, выделяющегося при горении азидов натрия и галоидной соли. Это так называемая азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-Аз).

При горении большинства систем СВС-Аз наблюдаются два независимых фронта горения, которые можно условно разделить на низко- и высокотемпературный (рис. 1). Однако существует ряд систем, у которых, несмотря на доказанное наличие низкотемпературной реакции между азидом натрия и галоидной солью аммония, на температурных профилях осциллограмм низкотемпературный фронт горения отдельно не проявляется, а сливается с высокотемпературным фронтом [1]. В основном это системы «элемент – азид натрия – галоидная соль аммония»: «Si—NaN₃—NH₄Cl», «B—NaN₃—NH₄Cl», «Ti—NaN₃—NH₄F», «Zr—NaN₃—NH₄Cl (NH₄F)», «Hf—NaN₃—NH₄Cl (NH₄F)», «V—NaN₃—NH₄Cl (NH₄F)».

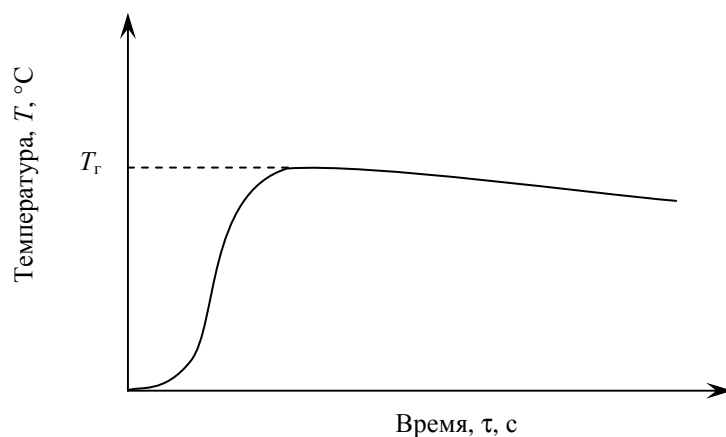
Практические исследования синтеза нитридов металлов группы железа в режиме СВС-Аз показали, что системы «металл группы железа (Fe, Co, Ni) – азид натрия – хлорид (фторид) аммония» имеют только один фронт горения (рис. 2). Условно разделим фронт горения на низко- и высокотемпературные части. В низкотемпературной части фронта горения будут протекать реакции разложения азидов натрия и взаимодействия натрия с галоидной солью аммония. В высокотемпературной части фронта горения будет протекать реакция азотирования металла группы железа (рис. 3).

Теоретические термодинамические расчеты, выполненные с использованием программы *Thermo*, разработанной в Институте структурной макрокинетике и проблем материаловедения РАН, показали, что адиабатическая температура стехиометрической по азоту химической реакции «16Fe + NaN₃ + NH₄Cl (NH₄F)» составляет 221 °С (240 °С), реакции «12Co + NaN₃ + NH₄Cl (NH₄F)» – 111 °С (135 °С), реакции «12Ni + NaN₃ + NH₄Cl (NH₄F)» – 157 °С (179 °С) [2]. Причем температуры реакций не зависят от давления внешнего азота. Системы с такими низкими адиабатическими температурами не способны к горению. Действительно, практические исследования синтеза нитридов металлов группы железа в режиме СВС-Аз показали, что



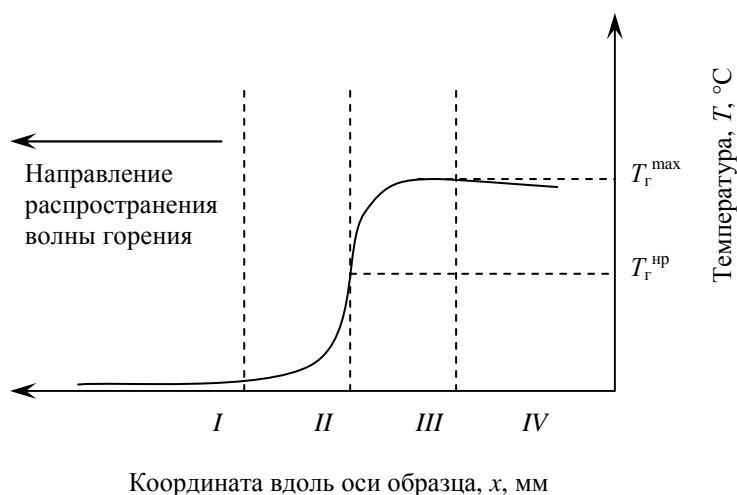
Р и с. 1. Типичный вид осциллограммы горения систем СВС-Аз:

T_{r1} – температура 1-го фронта горения;
 T_{r2} – температура 2-го фронта горения



Р и с. 2. Типичный вид осциллограммы горения систем «zFe (Co, Ni)—NaN₃—NH₄Cl (NH₄F)»:

T_r – температура горения (330-730 °C)



Р и с. 3. Структура волны горения систем «zFe (Co, Ni)—NaN₃—NH₄Cl (NH₄F)»:

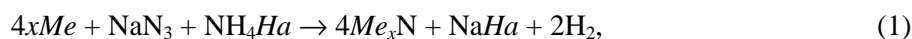
I – исходные реагенты; *II* – предпламенная зона; *III* – зона пламени (волна горения); *IV* – зона охлаждения продуктов горения; T_r^{np} – температура начала реакции (330-430 °C); T_r^{max} – максимальная температура реакции (640-730 °C)

системы, описываемые стехиометрическими по азоту уравнениями, в условиях лабораторного СВС-Аз реактора не горят, что можно объяснить малым количеством горючих элементов.

Синтез в режиме горения наблюдается только в системах, описываемых нестехиометрическими уравнениями реакций с недостатком азотируемого элемента, но с увеличенным количеством горючих элементов [3, 4, 5]. Системы «железо – азид натрия – хлорид (фторид) аммония» с недостатком железа, в которых в процессе синтеза образуется нитрид железа Fe_xN , при давлении азота в реакторе СВС-Аз 5 МПа горят при температурах 330-660 °С; системы «кобальт – азид натрия – хлорид (фторид) аммония» с недостатком кобальта при давлении азота 5 МПа горят при температурах 430-640 °С, однако в продуктах горения нитриды кобальта обнаружены не были, поскольку температура разложения Co_2N составляет 276 °С, а Co_3N – 327 °С [6, 7]; системы «никель – азид натрия – фторид аммония» с недостатком никеля, в которых в процессе синтеза образуется нитрид никеля Ni_3N , при давлении азота 5 МПа горят при температурах 430-730 °С. Теоретические термодинамические расчеты показали, что адиабатическая температура нестехиометрической по азоту химической реакции с недостатком железа « $12Fe + NaN_3 + NH_4Cl (NH_4F)$ » при давлении внешнего азота 5 МПа составляет 307 °С (324 °С). С уменьшением количества железа в исходной системе адиабатическая температура реакции растет: температура реакции « $Fe + NaN_3 + NH_4Cl (NH_4F)$ » при давлении внешнего азота 5 МПа составляет 472 °С (508 °С). Аналогичная картина наблюдается при расчетах адиабатических температур реакций с кобальтом и никелем: температура реакции « $9Co + NaN_3 + NH_4Cl (NH_4F)$ » при давлении внешнего азота 5 МПа составляет 248 °С (270 °С), реакции « $1,5Co + NaN_3 + NH_4Cl (NH_4F)$ » – 327 °С (327 °С), реакции « $9Ni + NaN_3 + NH_4Cl (NH_4F)$ » – 272 °С (291 °С), реакции « $1,5Ni + NaN_3 + NH_4Cl (NH_4F)$ » – 360 °С (360 °С). Причем с увеличением давления внешнего азота адиабатическая температура реакций слабо растет [2].

Опираясь на результаты, представленные в работах [1, 8, 9], определим химическую стадийность образования нитридов в системах «металл группы железа – азид натрия – хлорид (фторид) аммония».

Стехиометрические по азоту уравнения образования нитридов металлов группы железа можно представить так:

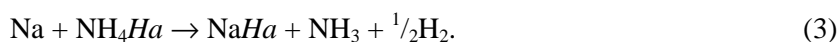


где Me – металл группы железа (Fe, Co, Ni);

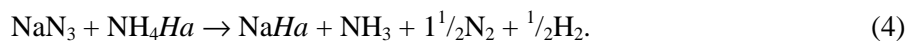
Ha – галоген (Cl, F);

x – стехиометрический коэффициент (для железа $x = 2, 3, 4$; для кобальта $x = 2, 3$; для никеля $x = 3$).

Реакции низкотемпературной части фронта горения:



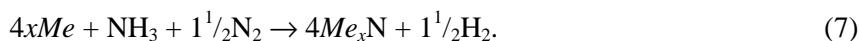
Суммарная реакция низкотемпературной части фронта горения:



Реакции высокотемпературной части фронта горения:

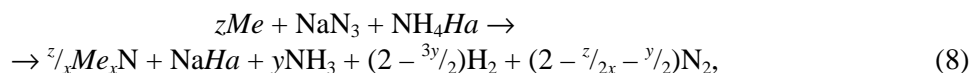


Суммарная реакция высокотемпературной части фронта горения:



Химическая стадийность образования нитридов металлов группы железа в системах, описываемых нестехиометрическими уравнениями реакций, будет отличаться от рассмотренной выше тем, что в реакциях высокотемпературной части фронта горения не весь азот и азот аммиака, выделившегося в низкотемпературной части фронта горения, будут связываться в нитрид. Часть азота и аммиака будет выделяться в атмосферу реактора. Это основное отличие химической стадийности образования нитридов металлов группы железа из систем «металл группы железа – азид натрия – хлорид (фторид) аммония» от химической стадийности, предлагаемой авторами работ [1, 8, 9] для других аналогичных систем СВС-Аз.

Нестехиометрические по азоту уравнения реакций образования нитридов металлов группы железа можно представить уравнением



где y – количество образующегося аммиака, зависящее от давления внешнего азота ($0 < y < 1$), моль;

z – количество металла группы железа в исходной системе (для железа и кобальта $z < 8$, для никеля $z < 12$), моль.

Выделение газообразного азота и аммиака в процессе горения систем, описываемых нестехиометрическими уравнениями реакций с недостатком азотируемого элемента, подтверждается теоретическими термодинамическими расчетами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бичуров Г.В. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов с применением неорганических азидов и галоидных солей: Дис. ... д-ра техн. наук. Самара, 2003. 250 с.
2. Майдан Д.А. Термодинамический анализ возможности синтеза нитридов металлов группы железа в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с применением твердых азотирующих реагентов / Перспективные разработки науки и техники 2005: Матер. II Междунар. науч.-практ. конф. Прага и Днепропетровск, 21-29 ноября 2005 г. Прага: Издательский дом «Education and Science S. R. O.»; Днепропетровск: Наука и просвещение, 2005. Т. 13. С. 15-19.
3. Майдан Д.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов железа с применением твердых азотирующих реагентов / Высокие технологии в машиностроении: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Самара, 20-22 октября 2004 г. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2004. С. 166-168.
4. Майдан Д.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов кобальта и никеля с применением азидов натрия и галоидных солей аммония / Современные наукоемкие технологии. 2005. №11. С. 56-57.
5. Майдан Д.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитрида никеля с применением твердых азотирующих реагентов / Высокие технологии в машиностроении: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Самара, 19-21 октября 2005 г. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2005. С. 187-189.
6. Самсонов Г.В. Нитриды. Киев: Наукова думка, 1969. 380 с.
7. Самсонов Г.В., Кулик О.П., Полищук В.С. Получение и методы анализа нитридов. Киев: Наукова думка, 1978. 318 с.
8. Левашев А.Ф. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез нитридов переходных металлов IV группы и алюминия с применением неорганических азидов: Дис. ... канд. техн. наук. Куйбышев, 1983. 155 с.
9. Макаренко А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез ультрадисперсного порошка нитрида бора с применением неорганических азидов и галоидных солей: Дис. ... канд. техн. наук. Куйбышев, 1990. 169 с.

Статья поступила в редакцию 13 мая 2007 г.

УДК 519.68:159.955

Ю.С. Ройтбург, Г.П. Пиастро, А.Ф. Кабардин, Е.А. Шалаев, А.В. Коженев

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ЛОГИСТИКИ

Предложен и апробирован ряд моделей и методов оптимизации производственных расписаний, использующих технологии искусственного интеллекта. Расписания формируются применительно к оперативному управлению дискретным заготовительным производством – планируется выпуск деталей, при котором обеспечивается бесперебойная работа сборочного конвейера и корректировка уровней запасов, обеспечивающая переход к стационарным производственным циклам. Применительно к прессовому производству ОАО «АВТОВАЗ» разработан и апробирован программный комплекс для моделирования и оперативно-календарного планирования работы линий и участков с учетом имеющихся ресурсов и темпа потребления деталей конвейером.

Технологии оперативного управления в производственных системах материальными, информационными, финансовыми и другими потоками относят в настоящее время к области производственной логистики. Одной из актуальных задач информационного обслуживания заготовительного (обеспечивающего сборочное производство) участка, цеха в серийном дис-

кретном производстве является формирование производственных расписаний, при составлении которых необходимо учитывать множество факторов. К ним относятся, в частности: имеющиеся на начало интервала планирования уровни запасов деталей, обеспечивающих сборку, и материалов для выпуска деталей, планы выпуска на сборке, нормативы времени на наладку оборудования и изготовление деталей, сменность работы оборудования, объемы партий запуска, межоперационные и межцеховые запасы. Необходимо учитывать также и кадровое обеспечение, нормативы брака, уровни предельных, страховых и критических запасов.

Указанные оптимизационные задачи с использованием заданных технико-экономических критериев необходимо решать в реальном времени с применением оперативно формируемых баз данных. Как правило, эти задачи управления решаются на интуитивном уровне, с учетом опыта и общих представлений о рациональной организации производственного процесса.

Применение технологий искусственного интеллекта, моделей и методов оптимизации в оперативном управлении производством [1], [2] позволяет только за счет принятия оптимизированных решений стабилизировать ход производства, снизить потери, исключить неоправданные сверхурочные работы, повысить в целом технико-экономические показатели.

Разработан, апробирован на данных пресового производства ОАО «АВТОВАЗ» комплекс моделей и методов оперативного управления производством, при котором обеспечивается бесперебойная работа сборочного конвейера, потребляющего детали равномерно во времени, с заданной интенсивностью. Исходя из проектных характеристик заданы уровни предельных и страховых запасов деталей. Разность этих уровней определяет максимальные объемы партий в стационарном периоде оборота задела. При этом также обеспечивается минимизация количества переналадок (переходов от выпуска одного типоразмера деталей к другому). Следовательно, минимизируются потери основного рабочего времени. Модель поведения производственной системы при этом оптимальна по технико-экономическому критерию, обеспечивающему максимальную загрузку оборудования при минимизации штрафов за недопоставки деталей.

Задача оптимизационной программы – найти такое расписание работы системы (объемы партий, времена их запуска по всем типоразмерам), которое является циклом корректировки уровней запасов, не нарушающим ход производства на сборке. Затем, определив допустимые начальные условия, можно перевести систему в режим стационарного цикла [3].

Стратегия поиска решения задается как в виде вариантов расчетных схем, алгоритмов оптимизации, так и в виде наборов эвристик, необходимых для формирования планов с учетом опыта управления объектом. Особое место в схеме подготовки вариантов решений занимает формирователь специфических характеристик объекта. Формирователь действует в модели совместно с имитатором поведения производственной системы. Этот формирователь необходим для учета календарей работы, сменности, особенностей поведения персонала исполнителей, планово-профилактических ремонтов, перебросок заданий с линии на линию,

Модуль позволяет пользователю сгенерировать различные ситуации по движению деталей в системе «Производство – складирование – потребление». На рисунке показан вариант транспортировки деталей в буферы-накопители СКП со склада в соответствии с планами сварки изделий с учетом темпа их потребления.

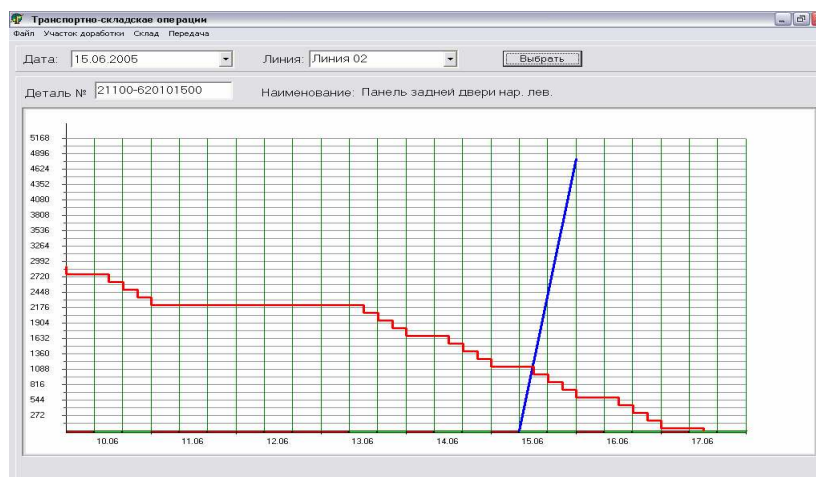
Модуль позволяет имитировать процесс неравномерной отгрузки потребителю деталей, выпущенных и складированных у производителя, а также исследовать соотношения моделируемого равномерного потребления, используемого для построения расписаний, с реальной системой отгрузки. Это позволяет отобразить отклонение от сменного задания, и, при необходимости, произвести корректировку расписания работы линии, на которую планируется выпуск очередных партий деталей.

АРМ «Учет выпуска» позволяет провести учет деталей по всем технологическим участкам, а также использовать планы сварки на следующий день. Исходя из полученной информации формируется комплекс отчетов по наличию, расходу и потребности деталей.

Предложены направления развития системы принятия решений и соответствующие стратегии с учетом соотношений «план-факт» по случаям: *несущественные отклонения*, что свидетельствует о штатной работе производственной системы; *существенные отклонения*, которые говорят о нестабильности работы производства, в том числе в связи с неисправностями линий.

Модуль «Производственная ситуация» обеспечивает ввод в систему параметров реальной ситуации «план-факт» по деталям определенной линии для передачи в АРМ «Планировщик»,

где выполняется анализ сложившейся ситуации и, при необходимости, может формироваться новое расписание для работы линий.



Моделирование процесса транспортировки деталей в СКП на сварку

Разработанный комплекс позволил провести системное моделирование различных производственных ситуаций, формализовать ряд эвристических правил, уточнить математические модели и их параметры, выявить и сформулировать рекомендации для диспетчерского персонала как ЛПП производственной системы.

Комплекс используется как учебно-исследовательский для студентов, обучающихся по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». В комплекс для учебных целей дополнительно включен пакет программ с паспортизованными базами данных, ряд пособий, методических указаний и заданий для выполнения исследований.

Экранные формы пакетов и их описания, дополнительная информация по комплексу приведены на сайте www.kam.prioritet-mo.ru.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыжиков А.Ю. Имитационное моделирование: теория и технологии. СПб.: КОРОНА-принт, 2004.
2. Стюарт Рассел, Питер Норвиг. Искусственный интеллект: современный подход: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
3. Ройтбург Ю.С., Пиастро Г.П., Кабардин А.Ф. Модели и методы логистики для управления технологическими системами в дискретном производстве / Теплофизика и технологические аспекты управления качеством в машиностроении: Сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Тольятти, 2005.

Статья поступила в редакцию 16 апреля 2004 г.

УДК 621.762

А.Р. Самборук, А.А. Ермошкин, Е.А. Борисенкова, А.А. Самборук

ОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ АБРАЗИВНЫХ ПОРОШКОВ КАРБИДА ТИТАНА МАРКИ СВС – ФГ ПРИ ДОВОДКЕ ШАРОВ¹

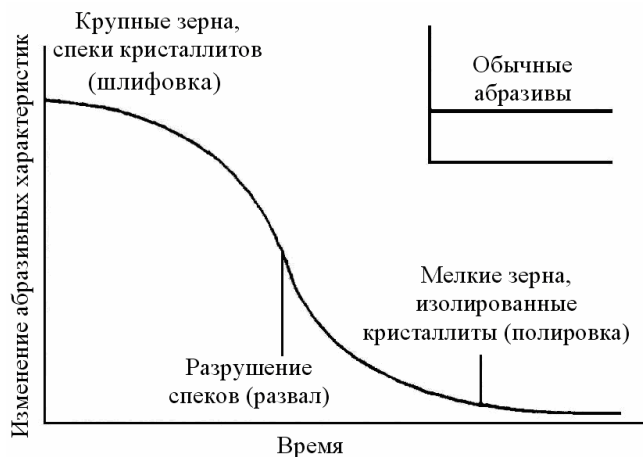
Приведены результаты исследования динамики измельчения порошков карбида титана при использовании их в качестве компонента доводочных паст при доводке шаров подшипников в условиях их промышленного производства на Самарском подшипниковом заводе.

Академик А.Г. Мержанов в работе [1] отмечает, что СВС-порошки можно подразделить на два типа: монокристалльные и агломератные. Монокристалльные порошки, как правило, являются довольно мелкими с развитой удельной поверхностью (до 20 м²/г). Это делает их хорошим сырьем для спекания изделий. Агломератные порошки состоят из отдельных скреп-

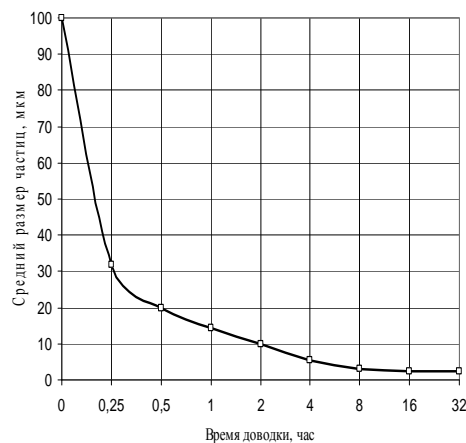
¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №05–08–33562.

ленных между собой зерен и имеют более специфическую область применения. На основе агломератных порошков карбида титана марки СВС разработаны абразивные пасты, обладающие уникальной способностью. Она заключается в том, что в одной операции можно осуществлять и шлифование, и полирование поверхности. При этом наблюдается эффект саморазрушения агломератных зерен в ходе обработки. На рис. 1 приведена диаграмма А.Г. Мержанова, иллюстрирующая этот эффект.

На рис. 2 показана зависимость среднего размера частиц абразивного порошка карбида титана марки СВС-ФГ, синтезированного в Инженерном центре СВС СамГТУ [2, 3], от времени при доводке шаров подшипников на доводочном станке ДШ-12 на Самарском подшипниковом заводе. Порошок вводился в состав доводочной пасты, которая затем загружалась в барабан станка вместе с обрабатываемыми шарами. Средний размер частиц исходного карбида титана составлял 100 мкм при максимальном размере агломерированных частиц 350-400 мкм.

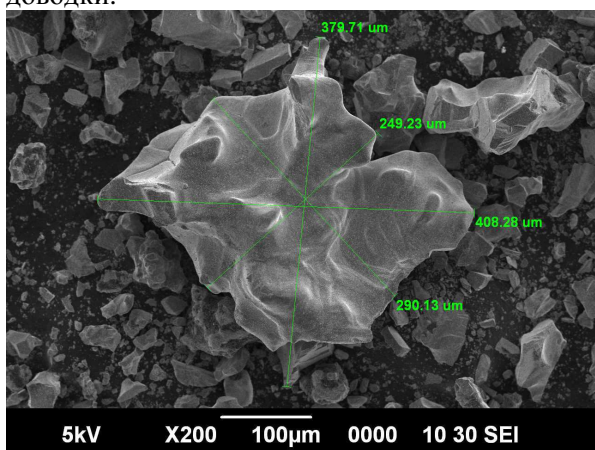


Р и с. 1. Абразивные характеристики агломератных порошков карбида титана, полученных методом СВС [1]

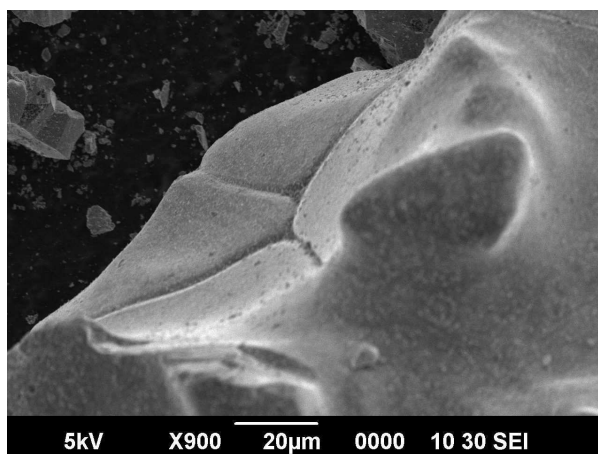


Р и с. 2. Динамика измельчения частиц карбида титана на стадии доводки шаров

График показывает, что наибольшая степень измельчения от 100 до 10 мкм достигается при временах до 2 часов. На этой стадии происходит предварительная доводка шаров крупными агломерированными частицами. Их достаточно крупные зерна осуществляют «грубую работу» – шлифовку поверхности шаров. При временах свыше 4 часов происходит измельчение агломератов до дисперсности 2-5 мкм, при которой осуществляется «тонкая работа» – полирование поверхности. В это время шары находятся на стадии окончательной (финишной) доводки.



Р и с. 3. Морфология частиц исходного карбида титана



Р и с. 4. Фрагмент поверхности крупной агломерированной частицы

Анализ морфологии частиц исходного карбида титана свидетельствует, что они представляют собой как крупные агломераты, так и мелкие монокристаллические частицы карбида титана, как показано на рис. 3. На рис. 4 приведен фрагмент поверхности крупной частицы, на котором видно, что она является агломератом.

Полученные результаты подтверждают выводы А.Г. Мержанова об уникальной способности СВС-порошка карбида титана в одной операции осуществлять и шлифование, и полирование поверхности обрабатываемого металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мержанов А.Г. Процессы горения и синтез материалов // Черноголовка: ИСМАН, 1998. С. 41-69.
2. Ермошкин А.А. Технология получения карбида и нитрида титана из гранулированной шихты // Конструкции из композиционных материалов. 2006. №4. С. 27-31.
3. Самборук А.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез карбида и нитрида титана из гранулированных шихт // Заготовительные производства в машиностроении. 2007. №3. С. 42-47.

Статья поступила в редакцию 30 октября 2007 г.

УДК 338.24.012

А.А. Фартусова, А.И. Магазирик, В.П. Шукин

ЭЛЕКТРОННАЯ ОБУЧАЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СТАДИЙ ПРОИЗВОДСТВА АММИАКА

Система состоит из трех разделов: теоретические основы производства аммиака, виртуальная лаборатория, итоговое тестирование. Основная среда разработки – Macromedia Dreamweaver MX. Для реализации мультимедийного информационного наполнения используется Macromedia Flash MX.

При подготовке операторов сложных технологических систем наиболее эффективно использование таких средств, как тренажеры и электронные обучающие системы (ЭОС). Разработка ЭОС весьма актуальна, так как человеческий фактор зачастую становится причиной больших и малых аварий, недостаточная квалификация персонала приводит к невосполнимым потерям. В частности, безопасность технологии синтеза аммиака во многом определяется эргономическими особенностями подсистем управления процессами, квалификацией обслуживающего персонала: аппаратчиков, операторов, диспетчеров.

ЭОС «Проам 1.0» разработана, в первую очередь, для подготовки студентов Тольяттинского государственного университета. Предполагается использование пакета в центрах подготовки персонала предприятий по производству аммиака. ЭОС «Проам 1.0» предназначена для этапов теоретической профессиональной подготовки. АРМ обучаемого даёт возможность самостоятельного обучения и оперативного контроля знаний.

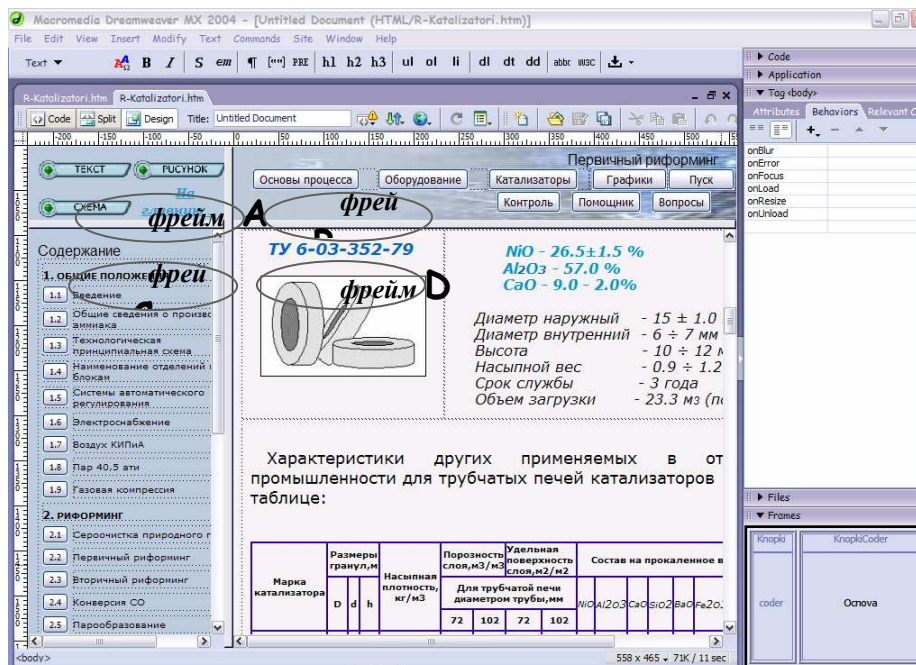
Средой разработки ЭОС «Проам 1.0» является Macromedia Dreamweaver MX 2004. Основной инструмент, применяемый в разработке ЭОС для реализации мультимедийного информационного наполнения, – Macromedia Flash MX 2004. Тесная интеграция Macromedia Flash MX 2004 с Macromedia Dreamweaver MX 2004 позволила эффективно использовать Flash-файлы для создания ЭОС. Пример интернет-страницы ЭОС, разделенной на четыре фрейма, приведен на рис. 1.

Фрейм А предназначен для переключения между текстовыми и графическими разделами ЭОС с помощью кнопок: «Текст», «Схема» и «Рисунок». Фрейм В служит для детальной навигации внутри разделов ЭОС. Это позволяет упорядочить теоретический, методический и справочный материалы. Фрейм С – содержание, одновременно служащее навигацией по разделам ЭОС. Фрейм D – основной информационный блок, где обучаемому предоставляется текстовая, анимационная информация.

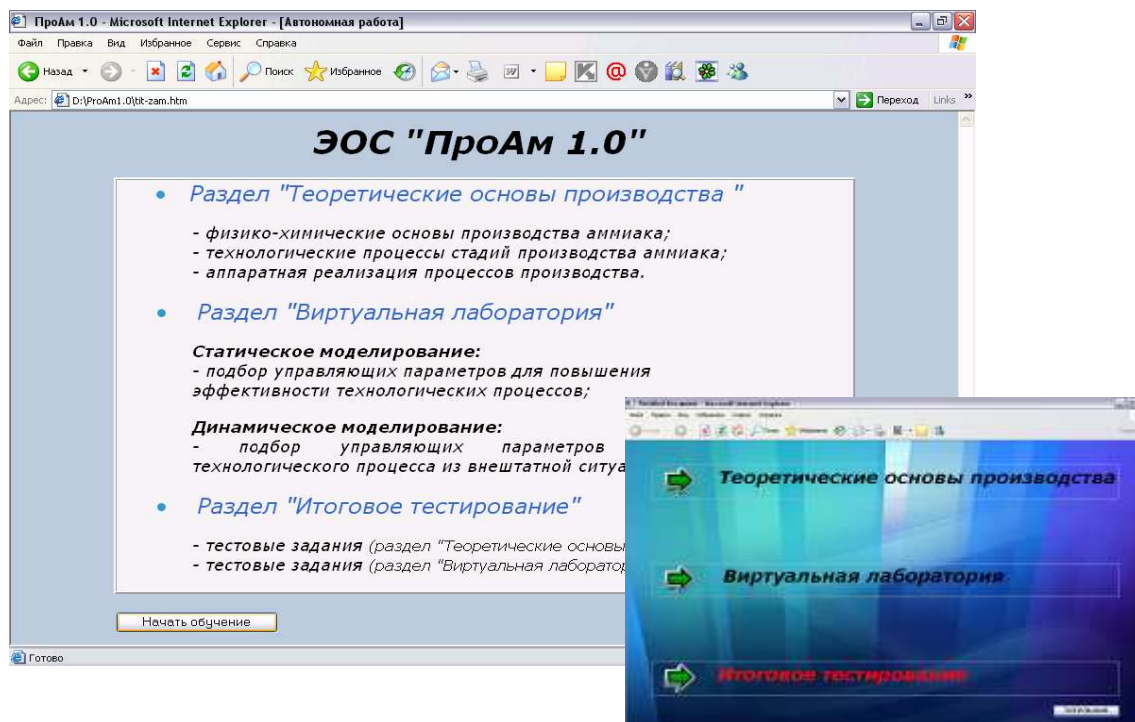
ЭОС имеет три составные части (раздела) (рис. 2). Первый раздел посвящен изучению теоретических основ технологических процессов стадий производства аммиака, их описанию, правилам безопасности, условиям пуска и останова, основному оборудованию. Предусмотрены анимация и 3D-изображения, имеющие целью повышение уровня понимания и усвоения информации. Тестовые задания направлены на подготовку к последующему прохождению практической части ЭОС и к итоговому тестированию. В данном режиме предоставляется возможность воспользоваться подсказками.

Второй раздел включает статическое и динамическое моделирование процессов [1]. Статическое моделирование позволяет выполнить подбор управляющих параметров для повышения эффективности технологического процесса. Динамическое моделирование – основа «полномасштабного тренажера», с помощью которого можно изменять параметры технологического процесса, отображенного на мнемосхеме, наблюдать, анализировать и изменять его ход.

Наличие в мнемосхеме управляемых клапанов, задвижек, вентилях и других средств автоматизации создаёт ощущение работы с реальным участком, что является необходимым



Р и с. 1. Интернет-страница в среде разработки



Р и с. 2. Структура ЭОС «Проам 1.0»

условием правильного формирования трудовых навыков [2]. В ЭОС, в частности, включен фрагмент первичного риформинга метана, осуществляющий реакцию каталитической конверсии природного газа с целью получения водорода.

ЭОС помимо обучения позволяет выполнять эксперименты с вводом параметров, выходящих за пределы технологического регламента. В этом случае возможен поиск более рациональных режимов работы агрегата по производительности и безопасности. Это превращает работы по освоению принципов управления агрегатом в творческий процесс поиска эффективных режимов, которые в последующем, после согласования их экологичности и безопасности, могут быть внесены в технологический регламент ведения процесса.

Итоговое тестирование является заключительной частью обучения и дает возможность оценить полученные знания с занесением результатов в базу данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рыжиков А. Ю.* Имитационное моделирование: теория и технологии. СПб.: КОРОНА-принт, 2004.
2. *Стюарт Рассел, Питер Норвиг.* Искусственный интеллект: современный подход: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.
3. *Ройтбург Ю.С., Пиастро Г.П., Кабардин А.Ф.* Модели и методы логистики для управления технологическими системами в дискретном производстве / Теплофизика и технологические аспекты управления качеством в машиностроении: Сб. трудов Всерос. науч-техн. конф. Тольятти, 2005 г.

Статья поступила в редакцию 16 апреля 2007 г.

ПАМЯТИ БОРИСА ЛЕОНИДОВИЧА ШТРИКОВА



Борис Леонидович Штриков родился в 1948 г. в городе Куйбышеве в семье военного. С 1964 г. Б.Л. Штриков работал в Самарском государственном техническом университете. В стенах университета произошло становление Б.Л. Штрикова как преподавателя и талантливого ученого. Здесь он защитил кандидатскую (1976 г.) и докторскую (1994 г.) диссертации, работал сначала доцентом (1981 г.), а затем профессором (1995 г.), стал заведующим кафедрой «Автоматизация технологических процессов в машиностроении» (1992 г.), проректором по учебной работе Самарского государственного технического университета (1999 г.), действительным членом Российской академии проблем качества, членом совета УМО Минобразования России по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении».

Сферы научных интересов Бориса Леонидовича Штрикова касались теоретических и прикладных задач

автоматизации систем механической обработки и сборки, ультразвуковой интенсификации процессов механообработки и сборки, технологического управления качеством изделий и управления качеством высокоточных изделий средствами автоматизации.

Б.Л. Штриковым разработаны научное направление и основы применения ультразвуковых колебаний при сборке прессовых, резьбовых соединений и прецизионных соединений с зазором. Им впервые установлены общие закономерности воздействия ультразвука на основные элементы физико-химического механизма сборки, определяющие ее эффективность по технологическим и эксплуатационным показателям, и разработаны новые технологии ультразвуковой сборки, обеспечивающие повышение точности, прочности соединений путем направленного регулирования параметров микрорельефа поверхностей и состояния поверхностного слоя непосредственно в процессе сборки. В рамках развиваемого научного направления под руководством Б.Л. Штрикова выполнены и успешно защищены 8 кандидатских диссертаций.

Б.Л. Штриков являлся председателем регионального редакционного совета журнала «Сборка в машиностроении, приборостроении», издаваемого издательством «Машиностроение», а также главным редактором журнала «Вестник СамГТУ».

Он отмечен нагрудным знаком ГКНО СССР «За отличные успехи в работе» и нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования», награжден Губернской премией в области науки.

Б.Л. Штриковым были опубликованы в России и за рубежом более 250 научных работ, в том числе 26 авторских свидетельств, 8 учебных пособий, 6 монографий. Его научные разработки широко используются в учебном процессе в виде учебных пособий, конспектов лекций, методической литературы.

Скончался Борис Леонидович Штриков 14 мая 2007 г. Светлая память о нем всегда будет жить в сердцах коллег по университету, всей научной общественности Самарской области и России.

*Зав. кафедрой «Автоматизация технологических процессов в машиностроении»
к.т.н., доцент О.М. Батищева*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале предполагается публикация статей объемом до 8 страниц (включая рисунки и таблицы) формата А4, а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 2-4 стр. формата А4 вместе с рисунками и таблицами). Объем заказных статей устанавливается редколлегией.

В приоритетном порядке будут рассматриваться заказные и обзорные статьи, а также материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

Редколлегия оставляет за собой право отклонить или отправить представленные статьи на доработку на основании соответствующих заключений рецензентов. Переработанные варианты статей рассматриваются заново.

Одно лицо может быть автором или соавтором только одной статьи.

Правила оформления статей, рисунков, таблиц и библиографического списка

1. Текст статьи набирается в редакторе MS Word (версия не ниже Word 97) на листе формата А4 (210х297 мм). Шрифт Times New Roman.

2. Поля: верхнее – 1,7 см; нижнее – 1,7 см; левое – 2,5 см; правое – 2,5 см.

3. Структура статьи.

Первая строка: УДК – размер шрифта – 11 пт., отступ первой строки абзаца – 0,7 см.

Третья строка: инициалы автора, фамилия – 11 пт. п/ж курсив, отступ 0,7 см.

Пятая строка: наименование статьи – 11 пт., прописные, п/ж, отступ 0,7 см.

Начиная с седьмой строки – реферат (от 3 до 10 строк) 10 пт., курсив, отступ 0,7 см.

Текст статьи – 11 пт., отступ 0,7 см, межстрочный интервал – одинарный; выравнивание текста – по ширине.

4. При наборе сложных формул нужно использовать специальный редактор уравнений – MS Equation, входящий в комплект поставки MS Word. Формулы располагаются по центру строки, номер формулы должен совпадать с правым краем текста. Переменные набираются курсивом (не полужирным). Размеры для редактора: 11-8-6-18-11.

5. На все помещаемые в статью иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) и таблицы в тексте должны присутствовать ссылки.

Каждая иллюстрация, таблица должны иметь содержательное название и номер. Следует использовать сквозную нумерацию (арабскими цифрами) в пределах статьи отдельно для иллюстраций и таблиц. Для названия таблицы, ее номера, текста и подрисуночных подписей размер шрифта – 10 пт.

Рисунки должны быть подготовлены к печати в электронном виде (сканированы или выполнены в графическом редакторе в одном из растровых форматов – TIFF, JPEG, PCX, BMP) и вставлены в текст статьи.

6. Список использованных источников должен начинаться заголовком «БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК» и включать пронумерованный список источников <1. Источник>. Размер шрифта – 9 пт. Фамилии авторов выделяются курсивом. Сведения об источниках следует располагать в списке в порядке появления ссылок на источники в тексте статьи.

Статья должна быть подготовлена в полном соответствии с требованиями и представлена в электронном виде на дискете с приложением 2 экз. распечатанного текста.

На отдельном листе представляются полные сведения об авторах (ФИО, ученая степень, ученое звание, полное название места работы, должность, домашний или служебный телефоны для оперативной связи).

Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращаться авторам без рассмотрения.

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю редакции И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, корп. 8, комн. 304).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 07 00 – Ирина Григорьевна Минакова (E-mail: vest_teh@samgtu.ru)

Редколлегия журнала