

Е.В. Овчинникова, В.А. Фаткин

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Представлен вариант построения обобщенной математической модели процесса получения диэлектрических покрытий, используемых при изготовлении элементов РЭУ (радиоэлектронных устройств). Предложенный подход позволяет моделировать и прогнозировать состояния любого функционального модуля процесса, а также его конечные результаты.

Введение. В современном промышленном производстве при изготовлении элементов и дискретных компонентов РЭУ, наряду с другими, широкое применение нашли порошковые технологии (трафаретная печать, электрофоретическое осаждение), позволяющие получать диэлектрические покрытия с широким диапазоном параметров при неограниченной номенклатуре материалов. Анализ современных методов повышения эффективности функционирования предприятий с различной серийностью выпускаемой продукции показал, что решение проблемы совершенствования показателей качества производимой продукции и технологических процессов должно осуществляться с использованием последних достижений менеджмента ка-

чества, удовлетворяющих требованиям международных стандартов ИСО серии 9000 [1, 2].

Теоретические аспекты управления процессом получения диэлектрических покрытий. В качестве метода управления процессом получения диэлектрических покрытий был выбран рекомендуемый стандартом ИСО 9001:2000 цикл Деминга - Шухарта PDCA (Plan-Do-Check-Act), включающий в себя функции планирования, организации процесса, контроля его выполнения и регулирования.

Практическая реализация процессного подхода при получении диэлектрических покрытий при производстве элементов РЭУ предполагает распределение управленческих задач по трем уровням (рисунок 1).

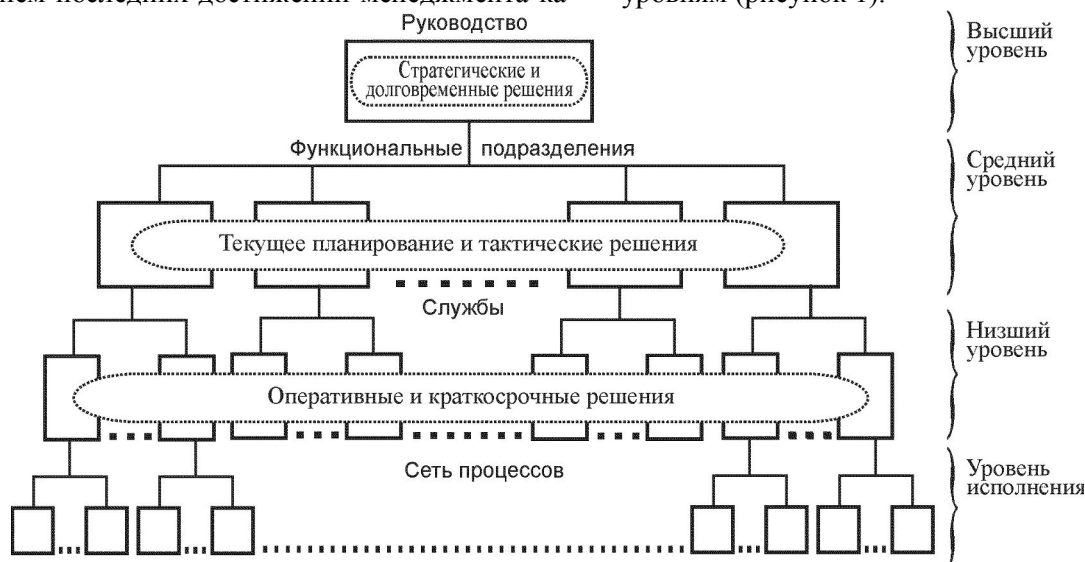


Рисунок 1 – Иерархическое представление управления сетью процессов в организации

Высший управленческий персонал - главный технолог и главный конструктор предприятия являются владельцами процесса получения диэлектрических покрытий и принимают долгосрочные стратегические решения, а также отслеживают выполнение решений с точки зрения деятельности предприятия.

Средний уровень – начальник технического бюро отдела главного технолога является руко-

водителем процесса и реализует принятые на высшем уровне решения путем текущего планирования и проведения процесса получения диэлектрических покрытий с целью достижения запланированных результатов.

Низший уровень управления – мастера участков и технолог отвечают за текущее состояние процесса получения диэлектрических покрытий.

Максимальная результативность и эффективность работы управленцев каждого уровня зависит от совокупности информации (в электронном виде, в форме бумажных документов, а также в виде опыта и знаний сотрудников), сопутствующей процессу получения диэлектрических покрытий.

Решение управленческих задач на каждом уровне процесса получения диэлектрических покрытий невозможно без их детального описания и последующего анализа. Описание процесса и каждой из входящих в него работ (деятельности, подпроцесса, процесса второго и последующих уровней или функций) должно происходить с применением особых методик и приемов графического изображения процессов, позволяющих исключить многие ошибки на стадии проектирования.

Структурно-функциональная модель процесса получения диэлектрических покрытий. Для решения задачи совершенствования процесса получения композиционных диэлектрических покрытий был выполнен их структурно-функциональный анализ. В качестве лингвистического обеспечения решения данной задачи был использован пакет Международных стандартов моделирования IDEF (Integrated Computer-Aided Manufacturing Definition), позво-

ляющий проанализировать процессы с ключевых точек зрения. Наибольшее распространение среди аналитиков на этапе концептуального анализа получила методология структурно-функционального моделирования IDEF0 [3], использование которой дает возможность уменьшения дорогостоящих ошибок за счет структуризации процесса на ранних этапах создания интеллектуальной системы, улучшения контактов между пользователями и разработчиками и сглаживания переходов от анализа к проектированию.

Исходя из положений IDEF-моделирования, сложная задача процесса получения диэлектрических покрытий при изготовлении элементов РЭУ была разбита на ряд простых задач, решение которых позволило наиболее эффективно справиться с исходной проблемой.

Диаграмма A0, находящаяся на вершине модели, обобщает весь рассматриваемый процесс. Диаграмма A0 следующего уровня представляет важнейшие подпроцессы с их взаимосвязями, а диаграммы A1, A3, A4 нижнего уровня представляют детализированные функции и так далее до необходимого уровня конкретизации. Фрагмент разработанной структурно-функциональной модели процесса представлен на рисунке 2.

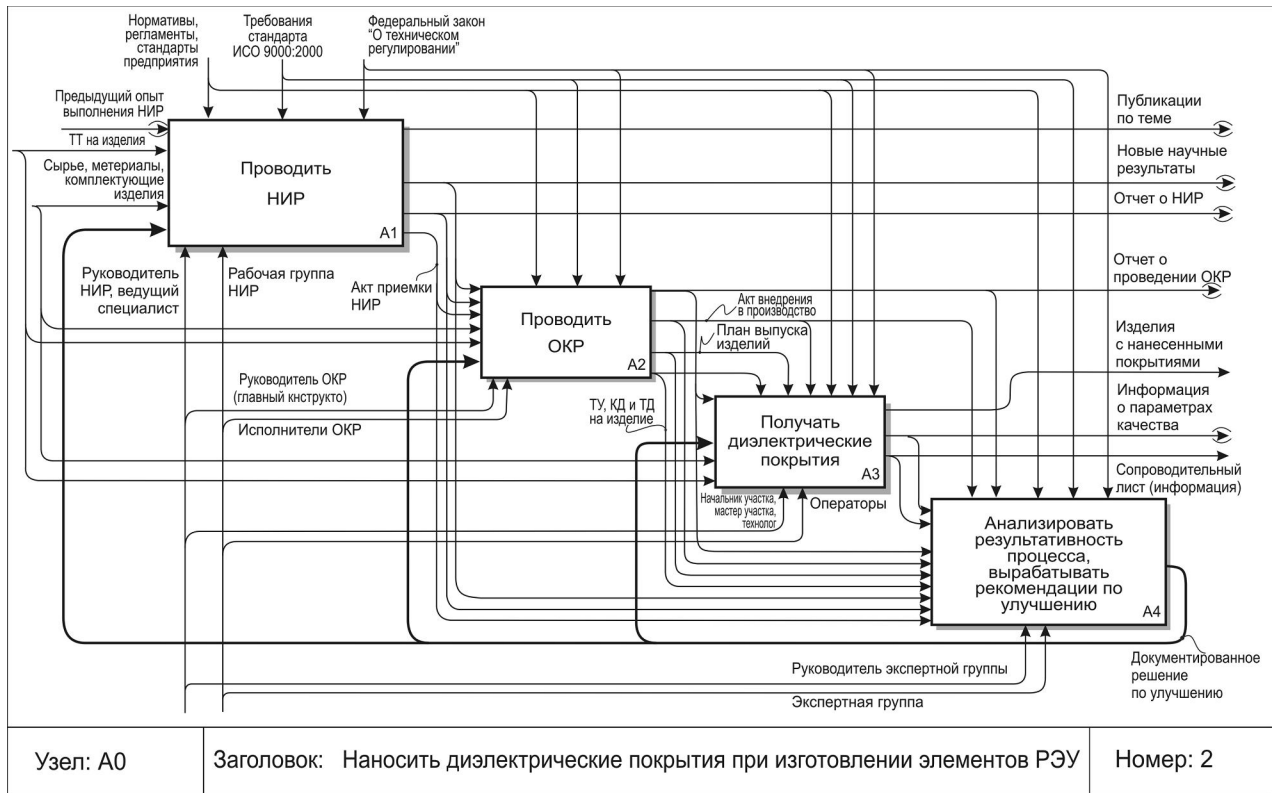


Рисунок 2 – Фрагмент структурно-функциональной модели процесса получения диэлектрических покрытий

На основе структурно-функциональной модели было проведено построение дерева узлов

процесса получения диэлектрических покрытий, которое представляет собой графовую структуру

(рисунок 3), являющуюся дискретным множеством взаимосвязанных компонентов. Структура подобного типа представляет собой аппарат, удобный для построения обобщенной математической модели рассматриваемого процесса [5].

Построение обобщенной математической модели процесса. В соответствии с рекомендациями, приведенными в [4], дополним вершины дерева узлов процесса наборами их признаков P_i . При этом каждый из признаков последующих уровней конкретизирует признак более высокого уровня. Вершинами последнего уровня являются базовые элементы структуры, даль-

нейшее расчленение которых нецелесообразно для данной задачи.

Наборы характеристик P_i являются множествами достаточной мощности, включающими в себя совокупности системных характеристик. При этом каждый из признаков последующих уровней конкретизирует признак более высокого уровня. Вершинами последнего уровня являются базовые элементы структуры, дальнейшее расчленение которых нецелесообразно для данной задачи.

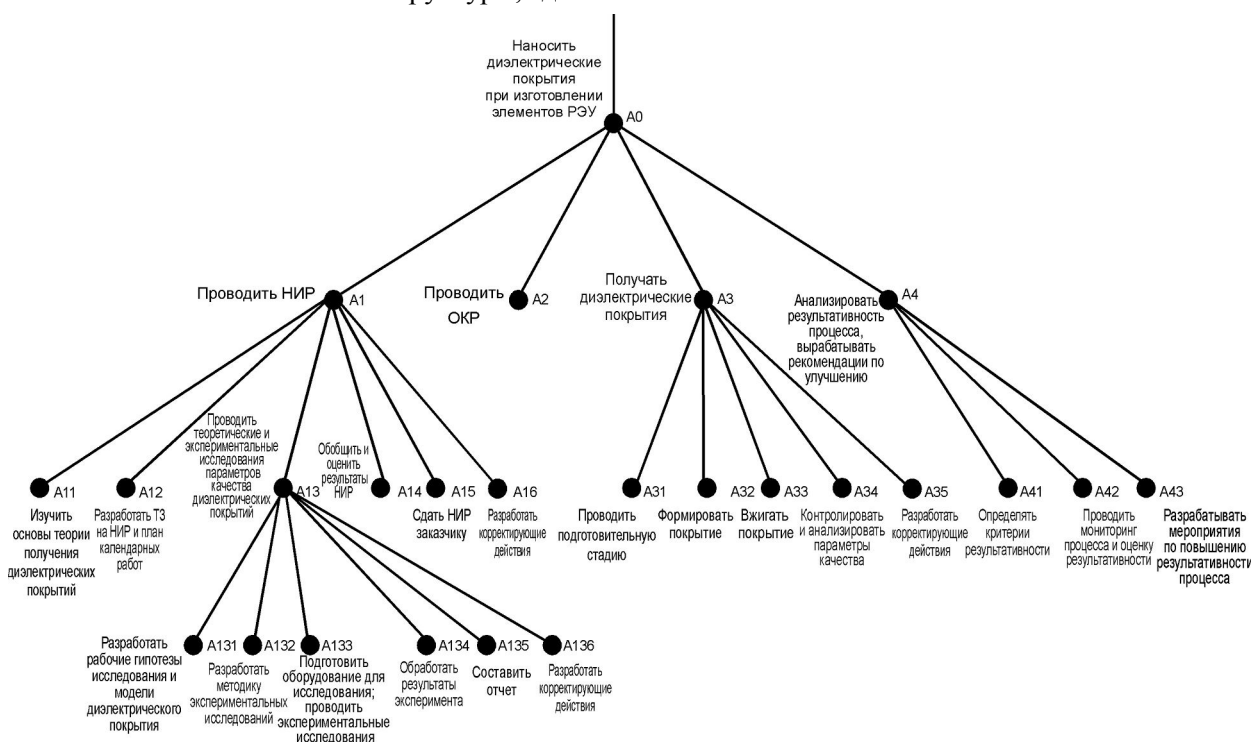


Рисунок 3 – Дерево узлов процесса получения диэлектрических покрытий

Наборы характеристик P_i включают в себя следующие совокупности системных характеристик

$$\langle H_j^i, F_j^i, S_j^i, I_j^i \rangle,$$

где H_j^i - показатель связей j -го объекта i -го уровня с внешней средой;

F_j^i - показатель функций j -го объекта i -го уровня;

S_j^i - показатель структуры j -го объекта i -го уровня;

I_j^i - показатель истории функционирования объекта j -го объекта i -го уровня.

Совокупность характеристик на каждом уровне представляет собой ориентированные графы, вершинами которых являются соответ-

ствующие характеристики, а ребрами - взаимосвязи между ними.

Характер связей с внешней средой вершины каждого уровня дерева процесса получения диэлектрических покрытий отображает мультиграф $H_j^i(H_{jm}^i, h_{jm}^i)$. Множеству его вершин соответствует H_{jm}^i , рассматриваемое как взаимодействие вершины с внешней средой (m – количество взаимодействий), а множеству дуг h_{jm}^i - отношения (связи) между вершинами мультиграфа (n – количество связей). При этом связи между элементами нижнего уровня могут породить элементы на более высоком уровне - элементы, обладающие функциональными связями.

Главной частью связей каждой вершины графовой структуры с внешней средой являются входные и выходные параметры. В общем слу-

чае входные параметры могут быть разбиты на три группы. К первой группе отнесем управляемые параметры, которые можно измерять и целенаправленно изменять. Обозначим их через $x_{j1}^i, x_{j2}^i, \dots, x_{ji}^i$. Соответственно вектор

$$X_j^i = (x_{j1}^i, x_{j2}^i, \dots, x_{ji}^i)$$

назовем вектором управляемых факторов.

Ко второй группе относятся контролируемые, но не управляемые параметры, которые образуют вектор неуправляемых факторов

$$D_j^i = (d_{j1}^i, d_{j2}^i, \dots, d_{jk}^i).$$

В третью группу входят неконтролируемые и неуправляемые факторы, образующие вектор неконтролируемых факторов

$$W_j^i = (w_{j1}^i, w_{j2}^i, \dots, w_{jp}^i).$$

Множество выходных параметров обозначим как вектор отклика $Y_j^i = (y_{j1}^i, y_{j2}^i, \dots, y_{jq}^i)$, который является функцией от входных параметров и некоторого управляющего воздействия $G_j^i = (g_{j1}^i, g_{j2}^i, \dots, g_{js}^i)$:

$$Y_j^i = f_j^i(X_j^i, D_j^i, W_j^i, G_j^i).$$

В свою очередь, деятельность каждого объекта графовой структуры зависит от каждой элементарной функции, характеризующей данный объект, что позволяет представить показатель функции объекта в следующем виде:

$$F_j^i = \Phi_j^i(f_{j1}^i, f_{j2}^i, \dots, f_{jb}^i).$$

При определении структурной характеристики объекта принято различать функциональные, временные и пространственные структуры. Наиболее простым и удобным аппаратом для построения математической модели структуры является теория графов. Функциональная структура каждого подпроцесса, являющегося вершиной графа, показывает упорядоченную последовательность преобразования начального состояния объекта A_0 в конечное A_k , то есть представляет собой граф $S_{\phi_j}^i(A_j^i, \phi_j^i)$, где A_j^i - вершины графа, отражающие параметры объекта и информацию о состоянии объекта после соответствующего изменения, ϕ_j^i - связи, соответствующие операции изменения объекта.

Временная структура объекта задает точный порядок выполнения всех функций при помощи трех временных отношений: последовательного, параллельного и сдвинутого во времени. Временная структура определяет длительность этапов процесса получения диэлектрических покрытий и образует собою граф $S_{Bj}^i(F_j^i, \tau_j^i)$, где

F_j^i - вершины, отображающие функции системы, а τ_j^i - связи, характеризующие временные отношения.

Множество вышерассмотренных признаков описывают состояние процесса получения диэлектрических покрытий на момент начала функционирования. В случае, когда возникает необходимость выбора функционального модуля (бывшего в эксплуатации) из имеющегося множества на данном предприятии, то необходимой характеристикой в данном случае будет история данного модуля. В соответствии с рекомендациями [2, 4] модель истории системы в общем виде можно записать:

$$I_j^i = \psi_j^i(\alpha_j^i, \eta_j^i, k_j^i, p_j^i, u_j^i, \beta_j^i),$$

где α_j^i - начальное состояние функционального модуля;

η_j^i - изменения, возникающие при выполнении технологического процесса;

k_j^i - корректирующие мероприятия для j -го объекта i -го уровня;

p_j^i - предупреждающие мероприятия j -го объекта i -го уровня;

u_j^i - действия, направленные на постоянное улучшение j -го объекта i -го уровня;

β_j^i - состояние функционального модуля после соответствующих преобразований.

Обобщенная математическая модель процесса получения диэлектрических покрытий представляет собой совокупность частных математических моделей, рассмотренных выше:

$$M = \left\{ \begin{array}{l} \langle H_0, F_0, S_0, I_0 \rangle \\ \langle H_1, F_1, S_1, I_1 \rangle \\ \dots \\ \langle H_j^i, F_j^i, S_j^i, I_j^i \rangle \\ \dots \\ \langle H_{136}, F_{136}, S_{136}, I_{136} \rangle \end{array} \right.$$

где – с индексом 0 приводятся системные характеристики объекта высшего уровня; индекс i изменяется от 1 до 4 и характеризует номер подпроцессов первого уровня; индекс j характеризует номера подпроцессов последующих подуровней подуровня.

Дополнив вершины дерева (рисунок 4) множествами P_i их характеристик, получим дерево

технического решения процесса получения композиционных диэлектрических покрытий.

Заключение. Разработанная структурно-функциональная модель процесса получения диэлектрических покрытий при изготовлении элементов РЭУ позволила выявить ключевые этапы процесса и послужила базой для построения варианта обобщенной математической модели с учетом показателей структуры, функций, связей с внешней средой и истории функциони-

рования для каждого этапа. Установление функциональных связей между компонентами всех уровней и подуровней позволяет по исходным данным синтезировать частное техническое решение и прогнозировать конечные результаты процесса. Использование подобного подхода может послужить основой для создания автоматизированной системы контроля и управления качеством процесса.

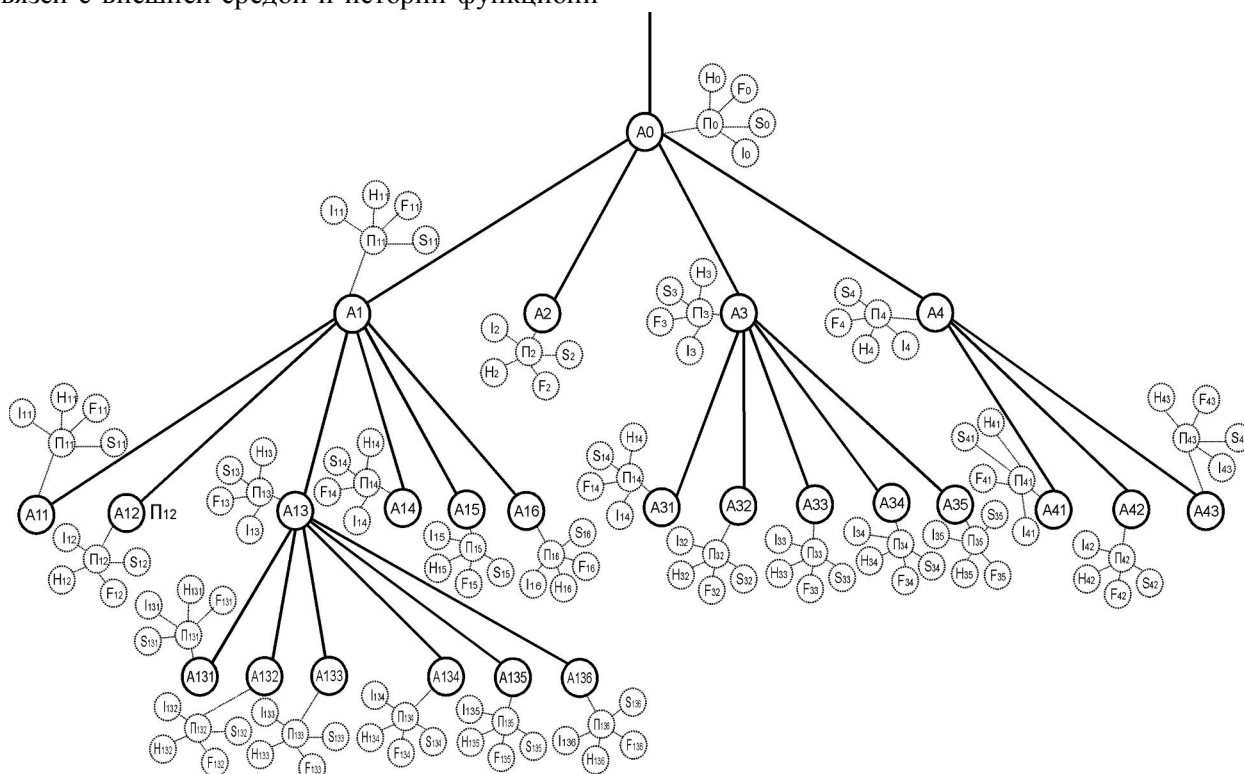


Рисунок 4 – Дерево технического решения процесса получения диэлектрических покрытий

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 21 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности. - М.: Изд-во стандартов, 2001. - 45 с.
3. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методоло-

гия функционального моделирования. - М.: Издательство стандартов, 2000, - 49 с.

4. Волосов С.С., Гейлер З.Ш. Управление качеством продукции средствами активного контроля. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 264 с.

5. Горбатов В.А. Дискретная математика: учеб. для студентов вузов / В.А. Горбатов, А.В. Горбатов, М.В. Горбатова. - М.: АСТ: Астрель, 2006. - 447 с. (Высшая школа).