

УДК 684.4:004

**П.Ю. Бунаков**

Коломенский филиал Московского государственного открытого университета

Бунаков Павел Юрьевич родился в 1958 г., окончил в 1981 г. Московский институт электронного машиностроения, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производства и проектирования в машиностроении Коломенского филиала Московского государственного открытого университета, ведущий специалист ООО «Базис-Центр». Имеет около 70 печатных работ в области автоматизации проектирования и технологической подготовки производства.  
Тел.: (8496) 616-01-37



## **ТЕОРИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СОПУТСТВИЯ КАК ОСНОВА ИНТЕГРАЦИИ КОНСТРУКТОРСКОЙ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ САПР КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ**

Предложены теоретическая и методическая основы интеграции конструкторских, технологических и экономических подсистем САПР корпусной мебели.

*Ключевые слова:* технологическое сопутствие, конструкторско-технологический цикл, структурно-атрибутивная модель, уровень декомпозиции, узел сопряжения.

Во всех отраслях отечественной промышленности, включая мебельную, этап локальной автоматизации отдельных элементов бизнес-процессов можно считать завершенным. Предприятия вплотную подошли к необходимости комплексной автоматизации, использования единого информационного потока на всех этапах жизненного цикла изделий. Однако существующие коммерческие САПР мебельных изделий позволяют эффективно решать лишь задачи конструирования изделий корпусной мебели. Задачи технологической подготовки производства решаются в них фрагментарно, а проблемы интеграции – на уровне передачи информации в подсистемы раскрытия материалов, формирования управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ и стандартные форматы обмена данными, что не соответствует современным потребностям. В качестве теоретической и методической основ интеграции конструкторских, технологических и экономических подсистем предлагается использовать теорию технологического сопутствия, основные положения которой рассматриваются ниже.

Определим конструкторско-технологический цикл (КТЦ) изделия, как период времени от начала концептуального проектирования до формирования комплекта электронных и/или печатных документов, достаточных для его изготовления. Основными составными частями такого комплекта являются: сборочный чертеж изделия и рабочие чертежи отдельных деталей; спецификация материалов и комплектующих; маршрутная технология изготовления; операционные технологии; карты раскрытия листовых и погонных материалов; УП для станков с ЧПУ; калькуляция себестоимости изделия; сводная таблица трудоемкости изготовления; эксплуатационная документация.

Сокращение длительности КТЦ и его прямая информационная стыковка с производственным циклом представляют собой перспективное направление минимизации времени реализации заказов при одновременном повышении их качества. Для этого необходимо обеспечить глубокую интеграцию всех модулей, используемых для автоматизации отдельных этапов КТЦ. Условием практического применения теории технологического сопутствия является переход от геометрических моделей объектов в САПР к объектным структурно-атрибутивным моделям (ОСАМ) [3].

Для описания предлагаемого подхода к моделированию изделий корпусной мебели воспользуемся аппаратом дискретной математики [4].

Структурная модель мебельного ансамбля формируется путем декомпозиции объекта на иерархические уровни:

$$M_c \Rightarrow L_d \subset L_b \subset L_c \subseteq L_n \subseteq L_a,$$

где  $L_d, L_b, L_c, L_n$  и  $L_a$  – уровень соответственно детали, блока, секции, изделия, ансамбля.

На нижнем уровне декомпозиции (уровень детали) объект представляется в виде совокупности деталей –  $M_c(L_d) = P \cup K$  – соответственно мебельных щитов требуемой геометрической формы (панелей) и элементов крепежной и декоративной фурнитуры.

Свойства элементов  $p_i \in P$  определяют геометрические и проектные параметры отдельной панели:

$$\forall i \Rightarrow p_i \in P \Leftrightarrow F(p_i) \subseteq F(P) = \left( \bigcup_j F(g_j) \right) \cup \left( \bigcup_j F(m_j) \right) \cup \left( \bigcup_j F(r_j) \right) \cup F(d),$$

где  $F(g_j)$  – свойства элементов вектора геометрических параметров;

$F(m_j)$  – свойства материала панели и облицовочных материалов кромок;

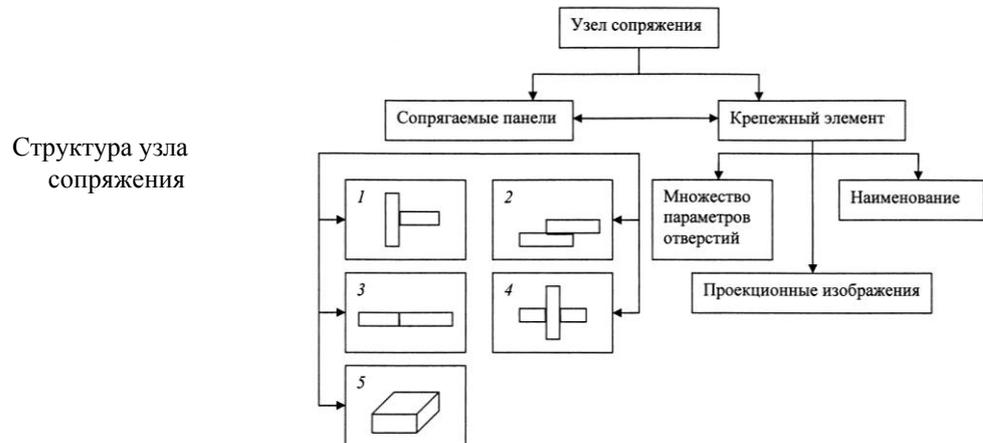
$F(r_j)$  – свойства присадочных отверстий под фурнитуру;

$F(d)$  – свойство, определяющее размерность показателя расхода объекта.

Элементы  $k_i \in K$  определяются множеством обобщенных отверстий и, при необходимости, набором допустимых схем сопряжения панелей  $M(k_i)$  в порождаемом ими узле сопряжения [2]:

$$\forall i \Rightarrow k_i \in K \Leftrightarrow F(k_i) \subseteq F(K) = \left( \bigcup_j F(o_j) \right) \cup M(K) \cup F(d).$$

Свойство  $F(d) = F(P) \cap F(K)$  является общим для всех объектов уровня детали и представляет собой булевский вектор  $W = (s, l, k, v) \in R^4(W)$ , в котором только одна из четырех координат может принимать единичное значение:  $s = 1$ , если единицей учета объекта является площадь (ДСтП, ДВП, облицовочный пластик и т.д.);  $l = 1$ , если единицей учета объекта является линейный размер (кромочный материал, профили,



столешницы, направляющие механизмов раздвижных дверей и т.д.);  $k = 1$ , если объект учитывается в штуках (ручки, комплекты систем выдвижения ящиков, светильники и т.д.);  $v = 1$ , если единицей учета объекта является вес или объем (клей и т.д.).

На уровне блоков модель дополняется структурными элементами (блоками) двух видов:  $M_c(L_6) = M_c(L_d) \cup C \cup B$ . Стандартный блок  $c \in C$  представляет собой элемент, не допускающий дальнейшей декомпозиции по физическим или логическим причинам и входящий в структуру объекта как единое целое с точки зрения технологического процесса изготовления мебельного изделия на конкретном производстве. В отличие от него обычный блок  $b \in B$  является рекурсивной логической структурой, состоящей из панелей, узлов сопряжения, стандартных блоков и ранее созданных блоков, которая выделяется в модели по конструктивным, технологическим или экономическим критериям:

$$B = \left( \bigcup_{j \in J(P)} p_j \right) \cup \left( \bigcup_{\substack{j \in J(U) \\ k \in K}} u_j(k) \right) \cup \left( \bigcup_{j \in J(C)} c_j \right) \cup \left( \bigcup_{j \in J(B)} b_j \right).$$

На уровне блока и выше вводится понятие узла сопряжения – структурной единицы, определяемой множеством сопрягаемых панелей и крепежным элементом:

$$\forall i \Rightarrow u_i(k) \in U(K) \Leftrightarrow u_i(k) = \left( \bigcup_{j \in [1,2,3]} p_j \right) \cup k, p_j \in P, k \in K.$$

Структура узла сопряжения и взаимосвязь его атрибутов показана на рисунке. Схема сопряжения панелей определяет их взаимное расположение и допустимость применения определенных крепежных элементов.

Уровень секции является первым уровнем, определяющим функциональные и художественно-конструктивные особенности мебельного изделия. Секция  $s = F(p) \in S$  представляет собой часть внутреннего пространства изделия, полностью или частично ограниченную стационарными перегородками.

Уровень секции включает в себя элементы нижележащих уровней, ассоциированных с определенной секцией:

$$M(L_c) = \bigcup_{i \in I(S)} (p_i^s \cup u_i^s(k) \cup b_i^s \cup c_i^s);$$

$$p_i^s \in P^s \subseteq P, u_i^s(k) \in U^s(K) \subseteq U(K), b_i^s \in B^s \subseteq B, c_i^s \in C^s \subseteq C.$$

Секция является основным элементом, формирующим структуру изделия, поэтому на уровне изделия модель описывается следующим образом:

$$M(L_n) = \left( \bigcup_i s_i \right) \cup F(p_{n_1} \cap p_{n_2}); \forall i \neq j \Rightarrow s_i \in S, s_j \in S, s_i \cap s_j = \emptyset; n_1 \neq n_2.$$

Уровень ансамбля представляет собой простое объединение отдельных мебельных изделий в соответствии с художественно-конструктивным замыслом:

$$M(L_a) = \left( \bigcup_i M_i(L_{n_i}) \right) \cup P_a \cup K_a; K_a \subset K; P_a \subset P,$$

где  $P_a$  – щитовые элементы, ассоциированные одновременно с несколькими изделиями (столешницы, балюстрады и т.п.);

$K_a$  – элементы крепежа, предназначенные для скрепления мебельных изделий между собой или с элементами интерьера.

Поскольку на любом уровне структурной декомпозиции выделяется показатель  $F(d)$ , для точного дифференцированного расчета материалоемкости изделия  $Q_M$  на основе ОСАМ используется следующее соотношение:

$$Q_M = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M \beta_j \cdot l_j + \sum_{k=1}^L \gamma_k \cdot H_k, \quad (1)$$

где  $N$  – количество материалов, учетной характеристикой которых является площадь;

$\alpha_i$  – повышающий коэффициент, учитывающий отходы при раскрое  $i$ -го площадного материала;

$S_i$  – суммарная площадь деталей из  $i$ -го материала в составе изделия;

$M$  – количество материалов, учитывающихся в единицах длины;

$\beta_j$  – повышающий коэффициент, учитывающий отходы при раскрое  $i$ -го погонного материала;

$l_j$  – суммарный линейный размер деталей из  $j$ -го материала в составе изделия;

$L$  – количество материалов, учитывающихся в штуках;

$\gamma_k$  – повышающий коэффициент, учитывающий производственные и внепроизводственные затраты, отнесенные к  $k$ -ому материалу;

$H_k$  – количество штучных деталей  $k$ -го наименования.

Для планирования трудовых затрат на изготовление мебельного изделия или ансамбля необходимо каждой работе поставить в соответствие некоторый параметр модели:  $\forall i \Rightarrow r_i \in R \Leftrightarrow r_i = f(a); a \subset M_{\text{ОСАМ}}$ . Это позволит дифференцировать работы по характеру отношения к отдельным параметрам деталей или изделия в целом. Тогда трудоемкость изготовления  $Q_p$  может быть рассчитана в норма-часах дифференцировано по операциям:

$$Q_p = \sum_{i=1}^I \mu_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^J v_j \cdot l_j + \sum_{k=1}^K \xi_k + \sum_{m=1}^M \rho_m \cdot X_m, \quad (2)$$

где  $I$  – количество операций, учет трудоемкости которых пропорционален площади поверхности детали или ее части;

$\mu_i$  – коэффициент трудоемкости  $i$ -й операции данного вида;

$S_i$  – суммарная площадь деталей в изделии, требующих выполнения  $i$ -й операции;

$J$  – количество операций, учет трудоемкости которых пропорционален линейным параметрам детали;

$v_j$  – коэффициент трудоемкости  $j$ -й линейной операции;

$l_j$  – суммарная длина деталей в изделии, требующих выполнения  $j$ -й операции;

$K$  – количество операций, трудоемкость которых пропорциональна видом, назначением, функционально-конструктивными и иными особенностями изделия;

$\xi_k$  – трудоемкость  $k$ -й операции предыдущего типа;

$L$  – количество операций, учитываемых в единицах исполнения;

$\rho_m$  – трудоемкость  $m$ -й операции, учитываемой в единицах исполнения;

$X_m$  – суммарное количество элементов, реализуемых единичной или групповой  $m$ -й операцией.

Существует большая группа материалов, требующихся при изготовлении и реализации мебельных изделий, но которые явно не входят в структуру ОСАМ. Они образуют множество «невизуальных» материальных компонентов изделия – сопутствующих материалов для выполнения предписанной технологическим процессом последовательности операций. Эти материалы дифференцируются по отношению к параметрам деталей так же, как и основные материалы, а их нормирование выполняется в соответствии с (1), если повышающие коэффициенты заменить коэффициентами удельного расхода. Множество сопутствующих материалов образует цепочки, представляющие собой рекурсивные нециклические группы, и описывается соотношением:

$$S = \bigcup_j S_j(q_j) = \bigcup_j \left( \bigcup_i \left( m_i^j \cup S(q_k^i) \right) \right),$$

$$m_i^j \cap S(q_k^i) = \emptyset, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K,$$

где  $S(q_j)$  – цепочка сопутствующих материалов для выполнения  $j$ -й операции;

$m_i^j$  –  $i$ -й сопутствующий материал для выполнения  $j$ -й операции.

Исходя из (1), необходимое количество сопутствующих материалов определяется следующей функциональной зависимостью:

$$Q_c = \sum_j F(S_j). \quad (3)$$

Объединив соотношения (1), (2) и (3), получим формулу для расчета суммарных материальных и трудовых затрат на изготовление мебельного изделия или ансамбля:

$$Q = Q_m + Q_p + Q_c.$$

Себестоимость изготовления мебельного изделия  $C$  можно рассчитать по формуле

$$C = \sum_{i=1}^N c_i \cdot m_i + c_{н-ч} \cdot \sum_{i=1}^M q_i + \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^{K^j} c_i^j \cdot m_i^j,$$

где  $N$  – количество видов основных материалов в изделии;

$c_i$  – стоимость  $i$ -го основного или сопутствующего материала в изделии, отнесенная к единице его учета, р./ед.;

$m_i$  – количество основного или сопутствующего материала  $i$ -го вида в единицах учета;

$c_{н-ч}$  – стоимость нормо-часа;

$M$  – количество операций;

$q_i$  – трудоемкость выполнения  $i$ -й операции в нормо-часах;

$L$  – количество цепочек сопутствующих материалов;

$K^j$  – количество элементов в  $j$ -й цепочке.

В качестве практического примера рассмотрим предприятие, которое для изготовления мебели использует ДСтП толщиной 17 мм, облицованную шпоном красного дерева. В свою очередь, эта ДСтП изготавливается из необлицованной ДСтП толщиной 16 мм, шпона красного дерева, клеевого материала, лакокрасочного материала и грунтовки. Перед ее окончательной отделкой применяется технологическая операция шлифования, в ходе которой расходуется абразивная лента. Все материалы в данном примере, кроме облицованной ДСтП, являются сопутствующими, поскольку предназначены для изготовления основного материала.

Норма расхода сопутствующего материала всегда задается на единицу расхода основного материала. Например, на 1 м<sup>2</sup> облицованной ДСтП будет расходоваться 1,05 м<sup>2</sup> необлицованной ДСтП, 2,25 м<sup>2</sup> шпона красного дерева и т. д. Вся указанная информация заносится в базу данных с определением необходимых для них параметров: цены, коэффициента, единиц измерения, кода, класса. Для реализации механизма технологического сопутствия устанавливаются логические связи между основными и сопутствующими материалами, а также – между материалами и сопутствующими операциями.

В рассматриваемом примере в качестве основного материала принимается облицованная шпоном красного дерева ДСтП с неопределенной ценой, поскольку ее цена будет складываться из материалов, использованных для изготовления, заработной платы рабочих, выполняющих необходимые операции (подготовка к облицовыванию, облицовывание, шлифование, отделка и т. д.), а также амортизации оборудования и инструмента. Более подробно данный пример рассмотрен в [1].

Таким образом, объединение объектных структурно-атрибутивных моделей и принципов теории технологического сопутствия позволяет сформировать взаимосвязанное множество конструкторской, технологической и экономической информации, принципиальным образом изменяющее структуру и характер конструкторско-технологического проектирования мебельных изделий. При этом множество исходных данных для расчетов формируется автоматически в процессе анализа ОСАМ мебельного изделия. Это является основой реальной интеграции технических и экономических служб предприятия в единую систему проектирования, управления и принятия решений, что позволяет эффективно решать следующие актуальные для позаказного промышленного производства задачи: оперативное и среднесрочное производственное планирование; факторный анализ экономических показателей; расчет технико-экономических допусков; планирование и определение экономически оптимальных вариантов автоматизации производства.

Дополнительный эффект от внедрения рассмотренного подхода заключается в возможности тесной интеграции работы экономического модуля с подсистемой автоматизации складского учета для формирования эффективного плана материально-технического снабжения. Оптимизация складских запасов материалов и комплектующих позволяет уменьшить внепроизводственные издержки, что, в свою очередь, вносит определенный вклад в снижение себестоимости изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бунаков, П.Ю. Интеграция проектирования и экономических расчетов в САПР БАЗИС [Текст] / П.Ю. Бунаков // САПР и графика. – 2008. – № 2(136). – С. 68–71.
2. Бунаков, П.Ю. Моделирование обобщенной структуры узлов сопряжения корпусных мебельных изделий [Текст] / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Моделирование систем и информационные технологии: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: Научная книга, 2005. – Вып. 2. – С. 203–206.
3. Новая парадигма проектирования САПР сложной корпусной мебели для позаказного промышленного производства: монография [Текст] / П.Ю. Бунаков [и др.]. – М.: МГУЛ, 2007. – 319 с.
4. Яблоновский, С.В. Введение в дискретную математику [Текст] / М.: Высш. шк., 2008. – 384 с.

Поступила 20.04.09

*P.Yu. Bunakov*

Kolomna Branch of Moscow State Open University

#### **Theory of Technological Accompanying as Integration Basis for Design, Technological and Economic Information in Complex CAD of Cabinet Furniture**

Theoretical and methodical foundations for integration of design, technological and economic subsystems of Cabinet Furniture CAD are offered.

Keywords: technologically accompanying, design-technological cycle, structural-attributive model, decomposition level, coupling unit.