

## **Метод оценки сроков проекта технологической подготовки производства наукоемких изделий**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»*

Рассмотрен метод прогнозирования сроков проекта технологической подготовки производства наукоемких изделий, основанный на показателе конструктивно-технологической сложности. Предложенный показатель учитывает особенности декомпозиции изделия, его параметры и особенности будущей технологии изготовления.

**Ключевые слова:** технологическая подготовка производства, конструктивно-технологическая сложность, конструктивно-технологический элемент

В условиях жесткой конкуренции при создании сложной техники предприятия столкнулись с необходимостью реализации большого количества проектов при относительно малых объемах выпуска. При этом существенно повышаются роль и значение правильно выбранных и своевременно принятых управленческих решений, а также ответственность за последствия этих решений, особенно при подготовке производства.

Технологическая подготовка производства (ТПП) является ключевым этапом жизненного цикла создания высокотехнологичной техники с позиции обеспечения её качества. Поэтому технологическую подготовку производства можно рассматривать как отдельный проект, обладающий уникальностью, сжатыми сроками выполнения и требующий формирования команды проекта, которая должна состоять из высококвалифицированных технологов и конструкторов. Задачами проекта ТПП являются: создание технологических процессов производства, выбор и размещение оборудования, определение технологического оснащения для обеспечения выпуска продукции необходимого уровня качества в заданные сроки для определенных объемов выпуска. При планировании работ, связанных с ТПП, важно определить сроки, затраты на реализацию проекта, разработать методы оценки качества, по которым впоследствии можно будет контролировать результаты проекта. При этом для каждого проекта существует ряд особенностей, которые необходимо учитывать руководителю:

- сроки и затраты проекта ТПП зависят от конструктивно-технологической сложности рассматриваемого изделия и уровня технологической системы предприятия;
- качество ТПП в основном определяется полнотой и адекватностью совокупности параметров технологической системы, которая взаимосвязана с параметрами изделия, задаваемыми конструктором до начала реализации проекта;
- существенное влияние на принятие решений о выборе параметров технологической системы оказывает значение объема выпуска изделия, которое в условиях конкуренции обладает неопределенностью.

Важный вклад в развитие методов оценки качества проектов ТПП путем управления взаимосвязями требований к продукту проекта и структурой производственной системы внесли такие авторы, как Коршунов А.И. [1], Попов П. М. [2], Селиванов С.Г., Иванова М.В. [3] и др. В работе [4] была рассмотрена формализованная модель взаимосвязи требований к продукту проекта и параметров тех-

нологических процессов. Исследование влияния величины объема выпуска изделия на выбор параметров технологической системы представлено в работе [5].

В указанных работах большое внимание уделяется определению сроков изготовления деталей на основе анализа сложности изделия, однако для большинства проектов ТПП важно определить сроки и объем реализации конструкторско-технологических работ.

В работе предлагается адаптировать данные подходы к решению задачи прогнозирования сроков и затрат на реализацию проекта ТПП на основе анализа конструктивно-технологической сложности изделия и уровня технологической системы предприятия.

### **Оценка показателя конструктивно-технологической сложности высокотехнологичного изделия**

Конструктивно-технологическая сложность (КТС) высокотехнологичного изделия представляет собой неотъемлемое его свойство, учитывающее особенности изделия и его структурных составляющих, а также предъявляемые к ним конструкторские и технологические требования в соответствии с существующим уровнем оснащённости предприятия.

КТС может рассматриваться как мера затрат ресурсов на реализацию различных этапов жизненного цикла высокотехнологичного изделия и представляет собой комплексный показатель, обобщающий ряд характеристик сложной технической системы, обеспечивающих уровень качества изделия.

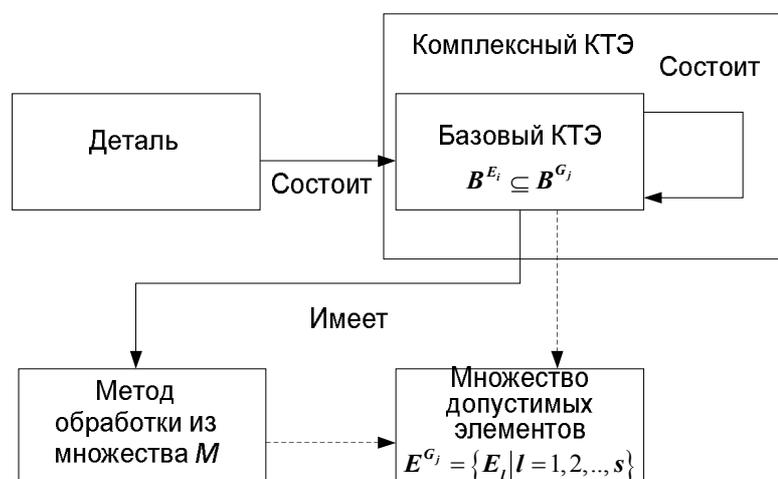
В общем случае КТС высокотехнологичного изделия представляет собой функцию  $C = f(S, D, R, P, TP)$ , где  $S$  – множество сборочных единиц изделия;  $D$  – множество деталей изделия;  $R$  – множество отношений между структурными составляющими изделия;  $P$  – множество параметров изделия. Определим множество технологических переделов, охватывающее все технологические переделы, применяемые на предприятии  $TP = \{TP_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ . КТС деталесборочных единиц (ДСЕ) определяется как функция, аддитивная относительно КТС непосредственно входящих в неё элементов и применяемых к ней технологических переделов:

$$C_{\text{ДСЕ}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{ДСЕ } i} + \sum_{j=1}^m C_{TP_j},$$

где  $n$  – количество ДСЕ, непосредственно входящих в данную ДСЕ;  $C_{\text{ДСЕ } i}$  – КТС  $i$ -й ДСЕ нижнего уровня;  $m$  – количество технологических переделов, применяемых к ДСЕ;  $C_{TP_j}$  – КТС, соответствующая  $j$ -му технологическому переделу, применяемому к конкретной ДСЕ.

Очевидно, что расчет КТС, соответствующей конкретному технологическому переделу, должен проводиться с использованием модели, разрабатываемой индивидуально для каждого передела, для которого определяется множество допустимых элементов  $E_i$ , где  $E^{TP_j} = \{E_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ . Каждый элемент также относится к однозначно определенному классу элементов  $G_j$ , составляющих некоторое множество  $G = \{G_j | j = 1, 2, \dots, l\}$ . Конструктивно-технологический элемент

(КТЭ) представляет собой поверхность, которая характеризуется, с одной стороны, определенной геометрической формой, т.е. способом формирования, с другой стороны, конструкторско-технологическими параметрами, однозначно определяющими данный элемент (рисунок).



### Взаимосвязь деталей, КТЭ и методов обработки

Для каждого класса элементов определяется некоторое множество  $B^{G_j} = \{b_h | h = 1, 2, \dots, r\}$  элементов, обеспечивающих порождение допустимых элементов данного класса  $E^{G_j} = \{E_l | l = 1, 2, \dots, s\}$ , где  $E^{G_j} \subseteq E^{TP_j}$ . Таким образом, элементы, относящиеся к множеству  $B^{G_j}$ , называются порождающими элементами класса  $G_j$ . Элементы  $E_i$ , относящиеся к множеству  $E^{TP_j}$ , называются, соответственно, порожденными элементами. Для каждого из них определено множество порождающих элементов  $B^{E_i} = \{b_k | k = 1, \dots, u\}$ ,  $B^{E_i} \subseteq B^{G_j}$ , таким образом, что  $E_i = f(B^{E_i}, M)$ , где  $M$  – множество преобразований, разрешенных для данного технологического передела.

Каждый элемент  $E_i$  характеризуется некоторой совокупностью параметров  $P^E = \{P_i^E | i = 1, 2, \dots, p\}$ ,  $P^E \subseteq P$ , каждый из них характеризуется некоторым множеством значений  $Pz = \{pz\}$ , мощность которого специфична для конкретного параметра. При анализе технологического передела, применяемого к конкретной ДСЕ, выделяются элементы, соответствующие порожденным элементам  $E_i$ , относящимся к данному технологическому переделу.

КТС технологического передела определяют в виде аддитивной функции, учитывающей сложности выделенных для конкретной ДСЕ элементов, относящихся к данному переделу:

$$C_{TP} = \sum_{j=1}^l \left[ \sum_{i=1}^s \left[ \sum_{k=1}^{n_i} C_{Ek} \right] \right],$$

где  $C_{TP}$  – КТС технологического передела, применяемого к ДСЕ;  $l$  – число классов элементов передела;  $s$  – количество порожденных элементов в  $j$ -м классе;  $n_i$  – количество однотипных элементов, соответствующих  $i$ -му порожденному элементу;  $C_{Ek}$  – сложность  $k$ -го элемента, соответствующего  $i$ -му порожденному элементу.

КТС элемента класса определяется в виде функциональной зависимости вида  $C_E = f(B^E, P^E, P^{ДСЕ}, P)$ , где  $B^E$  – множество порождающих элементов, определяющих данный элемент;  $P^E$  – множество параметров элемента  $E_i$ ;  $P^{ДСЕ}$  – множество параметров ДСЕ, к которой относится элемент;  $P$  – множество параметров изделия. При этом КТС элемента может определяться для некоторых переделов как сложность связи между двумя элементами или ДСЕ. Функцию сложности для элемента, относящегося к некоторому технологическому переделу, рассматривают как мультипликативную функцию:

$$C_E = q \prod_{m=1}^n K_m,$$

где  $q$  – нормирующий коэффициент для соответствующего элемента класса;  $K_m$  –  $m$ -й показатель;  $n$  – общее количество показателей, определенных для данного технологического передела.

В ходе исследований было предложено показатели  $K_m$  представлять в виде относительных коэффициентов, учитывающих соответствующие конструкторско-технологические признаки исследуемого объекта, таким образом, что  $K_m > 0$ .

### Определение сроков проекта ТПП

Срок проекта ТПП определяют с использованием линейной регрессионной зависимости сроков и конструктивно-технологической сложности изделий и их составляющих, которую получают на основе статистической выборки, собранной в конкретной производственной системе

$$T = a + bC,$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты уравнения регрессии.

Задачу прогнозирования сроков проекта ТПП создания нового изделия решают в несколько этапов:

1. Анализ номенклатуры производственной системы и формирование представительной выборки изделий.
2. Определение КТС изделий, входящих в выборку.
3. Построение регрессионной зависимости между КТС и сроками проекта ТПП.
4. Анализ полученной зависимости, проверка значимости полученного уравнения регрессии и входящих в него коэффициентов, при необходимости корректировка выборки и повторение п. 3.
5. Определение КТС оцениваемого изделия с помощью предложенных моделей и расчет сроков проекта его ТПП с использованием полученного уравнения регрессии.

### Вывод

Современные предприятия обладают значительной вариативностью номенклатуры выпускаемой продукции, поэтому должны характеризоваться высокой гибкостью и управляемостью. В этой связи разработка методов, позволяющих на этапе планирования повысить оперативность принятия решений по срокам проекта ТПП, является актуальной задачей.

Результаты, полученные в ходе исследований в области оценки конструктивно-технологической сложности высокотехнологичных изделий, могут успешно использоваться при оценке длительности работ по изготовлению изделия и по подготовке его производства.

Предложенный показатель сложности включает в себя показатели КТС непосредственно входящих в изделие элементов и коэффициенты сложности применяемых к ней технологических переделов. Для расчета КТС технологического передела оценивают множество допустимых КТЭ и методы их обработки. Для каждого передела проводят комплекс работ по подготовке к его реализации, что также влияет на КТС изделия. После накопления статистики по срокам проектов ТПП данных изделий, дальнейшее планирование проектов будет выполняться на основе линейной регрессионной зависимости. Это позволит существенно сократить временные затраты и повысить уровень обоснованности при планировании сроков реализации ТПП.

### Список литературы

1. Коршунов А.И. Использование показателей организационно-технического уровня производственной системы для оценки трудоемкости изготовления производственной номенклатуры / А.И. Коршунов, Р.Л. Фоминых // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. – №1. – С. 128-138.
2. Попов П. М. Организация автоматизированных систем подготовки авиационного производства / П. М. Попов – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 216 с.
3. Селиванов С.Г. Теоретические основы реконструкции машиностроительного производства / С.Г. Селиванов, М.В. Иванова. – Уфа: Гилем, 2001. – 312 с.
4. Божко В.П. Вибір технологічних рішень за критеріями адекватності факторів техпроцесу і технічних вимог до виборів на прикладі великогабаритних листових деталей складної форми / В.П. Божко, Д.В. Божко // Вісті Академії інженерних наук України № 4/2000. Спец. вип. «Машинобудування та прогресивні технології». – С. 63-71.
5. Божко Д.В. Метод выбора средств технологического оснащения в проектах подготовки производства наукоемкой техники / Д.В. Божко // Системний аналіз та інформаційні технології: Десята міжнар. наук.-техн. конф. – Ін-т прикладного системного аналізу Нац. техн. ун-ту України «КПІ». – 2008. – С. 74.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 16.06.09

## **Метод оцінки термінів проекту технологічної підготовки виробництва наукоємних виробів**

Розглянуто метод прогнозування термінів проекту технологічної підготовки виробництва наукоємних виробів, оснований на показнику конструктивно-технологічної складності. Запропонований показник враховує особливості декомпозиції виробу, його параметри й особливості майбутньої технології виготовлення.

**Ключові слова:** технологічна підготовка виробництва, конструктивно-технологічна складність, конструктивно-технологічний елемент.

## **The method time estimate of the project of production tooling of the high technology products**

The method time estimate of the project of production tooling of the high technology products, based on a parameter of constructive – technological complexity is considered. The offered parameter takes into account features of decomposition of a product, its parameters and features of the future manufacturing techniques.

**Keywords:** production tooling, constructive – technological complexity, constructive - technological element