

Использование метода функционально-логических матриц для выбора технологических маршрутов в авиационном производстве

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

Описана сущность метода функционально-логических матриц (ФЛМ), который используется для формирования технологических маршрутов при подготовке производства аэрокосмической техники. Суть метода заключается в установлении функционально-логических связей между характеристиками из ТТТ к изделиям и параметрами технологической системы, что позволяет уменьшить объемы доводочных работ и повысить качество изделий.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, технологический маршрут, функционально-логические взаимосвязи, параметры технологической системы.

До настоящего времени одной из проблем при проведении технологической подготовки производства (ТПП) является обеспечение заданных эксплуатационных показателей изделий, обусловленных тактико-техническими требованиями (ТТТ). Сложность этой задачи заключается в том, что при реализации техпроцессов обеспечивается, как правило, достижение заданных геометрических, физико-механических или стойкостных показателей поверхностных слоев для отдельных деталей или монолитных узлов (шероховатость, волнистость, поверхностная твердость, износостойкость и т.п.). В тоже время основные эксплуатационные характеристики готового изделия (например, для самолета - скорость полета, дальность, практический потолок и т.п.) формируются после сборочных операций и проведения испытаний [1].

Поскольку на ранних стадиях производства соблюдается лишь технические условия (ТУ) на изготовление деталей или монолитных узлов, содержащиеся в рабочих чертежах, то обеспечение эксплуатационных показателей на изделие в целом в этих чертежах, как правило, не регламентируется. То есть подразумевается, что соблюдение ТУ на детали и узлы однозначно обеспечит достижение заданных тактико-технических требований к изделию в целом.

Однако, на практике не всегда удается обеспечить соблюдение указанного правила, тем более, что некоторые эксплуатационные показатели определить или измерить в производственных условиях не всегда возможно. К таким показателям, например, можно отнести максимальную скорость полета или практический потолок для самолетов; коэффициент усиления или поляризационную развязку для зеркальных радиоантенн и т.п.

Указанные обстоятельства зачастую определяют необходимость проведения на готовых изделиях дополнительных доводочных работ, обеспечивающих требуемые эксплуатационные показатели. Трудоемкость этих операций может составить от 15 до 22% от общих трудозатрат на изделие [2].

Таким образом, разработка методов проведения ТПП, позволяющих максимально обеспечить достижение заданных эксплуатационных показателей изделий, является актуальной задачей. Одним из эффективных способов ее решения является использование разработанного авторами метода функционально-логических матриц (ФЛМ).

Сущность метода функционально-логических матриц и особенности его использования при проведении ТПП.

Метод функционально-логических матриц основан на установлении булевых соотношений между показателями изделий и соответствующими элементами технологической системы, в которой формируются заданные геометрические, физико-механические или стойкостные параметры поверхностных слоев деталей, а также эксплуатационные показатели изделия в целом.

То есть в основе этой двузначной логики лежит понятие булевой функции [3], алфавит которой состоит из двух элементов. В качестве двоичного алфавита используется два любых символа, например «+» и «-», 0 и 1, «ложь» и «истина» и т.п. Булева функция «n» аргументов может быть записана в виде $Y=F(X_1, X_2, \dots, X_n)$, ее можно задать в виде таблицы, записывая рядом с каждым набором аргументов соответствующее ему значение функции.

С учетом изложенного рассмотрим взаимосвязи между тактико-техническими требованиями (ТТТ) к изделию и характеристиками технологической системы (ТС) на примере магистрального самолета (табл. 2...4) [4].

Таблица 1 *

Функциональные взаимосвязи между свойствами обрабатываемой поверхности и технологическими операторами, реализуемыми в ТС.

Виды технологических операторов	Определение вида заготовки (отливка, штамповка, прокат и т.п.)	Определение режимов обработки	Выбор технологического оборудования	Выбор средств технологического оснащения	...	Булева функция Y_1
Свойства (показатели) обрабатываемой поверхности						
Точность	1	1	1	1	...	F_1
Шероховатость поверхности	0	1	0	1	...	F_2
Микротвердость	1	1	1	0	...	F_3
Износостойкость	1	1	0	0	...	F_4
...

Таблица 2

Функциональные взаимосвязи между ТТТ к изделию и свойствами (показателями) обрабатываемой поверхности

Свойства (показатели) поверхности	Точность	Шероховатость	Микротвердость	Износостойкость	...	Булева функция Y_2
Основные ТТТ						
Скорость полета	1	1	0	0	...	F_1
Практический потолок	1	1	0	0	...	F_2
Дальность полета	0	1	0	0	...	F_3
Расход топлива	1	1	0	1	...	F_4
...

Таблица 3

Функциональные взаимосвязи между технологическими операторами и ТТТ
к изделию

Основные ТТТ	Скорость полета	Практичес- кий потолок	Дальность полета	Расход топлива	...	Булева функция Y ₃
Определение вида заготовки	1	1	1	1	...	F ₁
Определение режимов обработки	1	0	1	1	...	F ₂
Выбор технологического оборудования	0	0	0	0	...	F ₃
Выбор средств технологического оснащения	1	0	1	0	...	F ₄
...

*- в таблицах 1-3 - используются условные значения булевых переменных

Таким образом, с помощью приведенных таблиц устанавливаются функционально-логические взаимосвязи, позволяющие сформировать структуру маршрутных техпроцессов, максимально обеспечивающую достижение заданных эксплуатационных показателей.

Такой подход обеспечивает уменьшение объемов работ по перепроектированию техпроцессов и снижение трудоемкости доводочных операций непосредственно в производстве. Рассмотренный метод может также эффективно использоваться и для анализа уже существующих техпроцессов с целью их совершенствования.

В качестве примера рассмотрим технологический маршрут изготовления одной из высокоточных деталей агрегата авиационного двигателя, структура которого приведена в табл. 4.

Таблица 4.

Структура технологического маршрута изготовления корпуса гидропривода
авиадвигателя

Виды операций	Токарные	Токарные с ЧПУ	Фрезерные	Сверлильные	Резьбонарез- ные	Слесарные	Шлифоваль- ные	Промывочные	Контрольные
Количество операций, шт	2	1	8	8	1	5	5	5	4
Трудоемкость операций, мин	12,3	76,44	158,27	84,37	18,12	45,57	34,8	11,9	52,9
Трудоемкость операций, %	4,24	15,0	31,2	16,6	3,5	8,9	7,8	2,3	10,43

Как следует из табл. 4, трудоемкость слесарных и промывочных операций составляет около 11,2 % от общей трудоемкости. Необходимо указать, что применяемые методы отделочно-зачистных операций не всегда обеспечивают полное удаление заусенцев и других дефектов из-за наличия на деталях

труднодоступных мест, глухих полостей и т.п. По этой же причине промывочные операции также не гарантируют полного удаления с обработанных поверхностей мелких зерен и других продуктов абразивной обработки, что может послужить причиной неисправностей и отказов агрегата в эксплуатации.

Поэтому предлагается заменить указанные операции на более эффективную для данных условий газоимпульсную обработку, разработанную на кафедре производства летальных аппаратов Национального аэрокосмического университета «ХАИ». Достоинством этой технологии, при которой обработка деталей осуществляется в специальной камере путем воздействия на них высокотемпературных газовых импульсов, образующихся при кратковременном сгорании газокислородных смесей, является не только тщательная очистка всех поверхностей, включая глубокие и глухие полости, но и возможность оплавления мелких заусенцев и других дефектов на кромках деталей, а также скругления этих кромок.

Данная технология является универсальной как по отношению к механическим свойствам материала, так и к конструктивным особенностям деталей, при этом допускается одновременная обработка нескольких изделий различной геометрической формы. Рабочий цикл обработки является практически мгновенным (длительность газового взрыва), а вместе с подготовленными операциями можно осуществлять до 2-х технологических циклов в минуту.

Отсюда следует, что рассматриваемая технология позволяет не только кардинально улучшить качество отделочно-зачистной обработки, но и в несколько раз повысить производительность.

Поэтому, используя метод ФЛМ, произведем обоснование замены в рассматриваемом технологическом маршруте слесарных и промывочных операций на газоимпульсную очистку и зачистку (табл. 5).

Таблица 5.
Функционально-логические взаимосвязи при отделочно-зачистных операциях

Конструктивно-технологические характеристики изделия	Механические свойства материала			Теплофизические свойства материала		Конструктивная форма изделия		Технологические последствия отделочных операций	Всего соотношений
	Труднообрабатываемые	Легкообрабатываемые	Неметаллы	Высокая температура плавления	Низкая температура плавления	Простые геометрические формы	Сложнокорпусные детали с глухими полостями		
Лезвийная зачистка	1	1	1	1	1	1	0	1	7
Виброабразивная зачистка	1	0	0	1	1	1	0	0	4
Электрохимическая зачистка	1	1	0	1	1	1	1	0	6
Газоимпульсная очистка и зачистка	1	1	1	1	1	1	1	1	8

Из табл. 5 следует, что наиболее эффективным технологическим решением является газоимпульсная очистка и зачистка (наибольшая сумма положительных соотношений).

При этом, как показывают расчеты, снижение трудоемкости обработки за счет замены существующих слесарных и промывочных операций на новую технологию газоимпульсной очистки и зачистки на корпусных деталях агрегатов авиадвигателя может составить 15-18%.

Следует отметить, что из-за отсутствия способов прямого определения взаимосвязей между рассматриваемыми параметрами, заполнение таблицы 5 осуществлялось с помощью экспертных оценок.

Из применяемых экспертных методов был выбран метод Дельфи как наиболее подходящий для научно-технического и экономического прогнозирования и оценки трудоемкости НИР и ОКР в мелкосерийном производстве [5]. Применительно к нашему случаю использовались опросы 25 экспертов-специалистов в области технологического проектирования (специалисты заводов, НИИ, преподаватели вузов). При этом использование метода Дельфи предусматривало четыре тура опросов.

В первом туре на основании анкет составлялся перечень событий для прогноза структуры технологического маршрута и функциональных взаимосвязей между показателями ТТТ и характеристиками технологической системы. Во втором туре проводилась статистическая обработка полученных данных, и формировались крайние точки зрения. Третья анкета содержала перечень событий и сводных данных о причинах тех или иных оценок событий с учетом сроков их наступления. В итоге формировался новый прогноз. Четвертый тур содержал ознакомление экспертов с новым групповым прогнозом и подготовку окончательного решения.

С учетом работы [3] возможна разработка аналитических методов прогнозирования в технологическом проектировании на основе использования R-функций, что является предметом дальнейших исследований.

Выводы

В работе рассмотрены особенности использования метода функционально-логических матриц при формировании новых технологических маршрутов в авиационном производстве, а также при совершенствовании существующих технологий.

Основу метода ФЛМ составляют матрицы бинарных соотношений между тактико-техническими требованиями к разрабатываемым изделиями и параметрами технологической системы, в которой формируются эти параметры. Для этого составляются три матрицы взаимосвязей: первая содержит взаимосвязи между показателями поверхностных слоев деталей и структурой используемых технологических операторов; вторая матрица отражает взаимосвязи между показателями поверхностных слоев и заданными в ТТТ параметрами и, наконец, третья матрица содержит искомые взаимосвязи между параметрами из ТТТ и структурой технологической системы.

Предлагаемое построение технологических маршрутов позволяет обеспечивать заданные ТТТ еще на ранних стадиях производства, что позволяет уменьшить объемы доводочных работ с одновременным повышением качества изделий.

Список литературы

1. Крысин В.Н. Технологическая подготовка авиационного производства – М.: Машиностроение, 1984. – 200с.
2. Божко Д.В. Оценка эффективности предложенных моделей и методов управления проектами технологической подготовки производства наукоемкой техники / Д.В. Божко, В.М. Илюшко, В.П. Божко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: наук.-техн. журн.: Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ» - № 4 (38). – Х., 2009. – С. 109 – 112.
3. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. – К. Техніка, 1967. – 212 с.
4. Божко В.П. Вибір технологічних рішень за критеріями адекватності факторів техпроцесу і технологічних вимог до виробів на прикладі листових деталей складної форми / В.П. Божко, Д.В. Божко // Вісті академії інженерних наук України: спец. випуск «Машинобудування та прогресивні технології». – 2000. – № 4 – С. 63 – 71.
5. Трояновский В.М. Математическое моделирование в менеджменте: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: РДЛ, 2000. – 256 с.

Рецензент: д-р. техн. наук, проф., зав.каф. Г.И. Костюк, Национальный аэрокосмический университет им. М.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 16.11.2010.

Використання методу функціонально-логічних матриць для вибору технологічних маршрутів у авіаційному виробництві

Описано сутність методу функціонально-логічних матриць (ФЛМ), який використовується для формування технологічних маршрутів при підготовці виробництва аерокосмічної техніки. Сутність методу полягає у встановленні функціонально-логічних зв'язків між характеристиками з ТТВ до виробів і параметрами технологічної системи, що дозволяє зменшити обсяги довідних робіт і підвищити якість виробів.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, технологічний маршрут, функціонально-логічні взаємозв'язки, параметри технологічної системи.

Using functional logic array technology to select routes in aviation manufacturing method

The essence of functional logic array (FLA), which used to form the process flow in preparation of aerospace engineering. The essence of the method consists in establishing functional and logical relationships between the characteristics of the product TTP and parameters of the technological system that reduces the amount of work, and Honing improve product quality.

Keywords: manufacturing technology training, process flow, functional-logical relationships, the parameters of technological system