

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Говорков А.С.

*Иркутский государственный технический университет (национальный исследовательский университет),
ул. Лермонтова, 83, Иркутск, 664074, Россия
e-mail: govorkov_as@istu.edu*

Рассмотрена методика количественной оценки технологичности конструкции детали планера на основе взаимодействия отдельных частных показателей с учетом весовых коэффициентов. Предложен алгоритм проведения технологического контроля детали на основе её трехмерной модели.

Ключевые слова: деталь планера, модель, технологичность, конструктивный элемент, частный показатель технологичности.

Многообразие технической литературы, рекомендации справочников по технологичности конструкции изделий (ТКИ) машиностроения [1, 3] отражают основные сведения о ТКИ, составе и особенностях частных показателей, методические основы её обеспечения и оценки.

При разработке детали в CAD/CAM/CAE/PDM-системах рациональным решением является проведение оценки конструкции на технологичность уже на начальных этапах запуска продукции. Для снижения цикла подготовки документации и запуска в производство перед конструктором и технологом ставятся следующие задачи:

- выбор современных конструктивных решений, оптимального варианта изготовления и конструктивной компоновки детали;
- рациональный выбор конструкции детали в зависимости от функциональности детали (выполняемой функции);
- использование стандартных, библиотечных конструктивных элементов (КЭ) при моделировании деталей планера (например, в системе NX);
- возможность применения типовых технологических процессов изготовления деталей;
- снижение трудоемкости изготовления деталей.

Обработывая конструкцию детали планера на производственную технологичность, нужно учитывать масштабы выпуска, тип производства и специфику завода-изготовителя, с тем чтобы конструк-

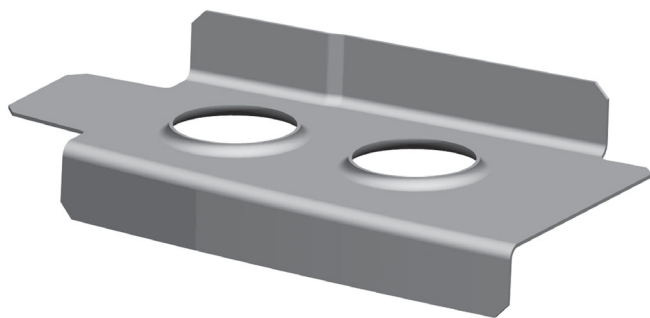
ции отдельных деталей могли быть изготовлены с учетом указанных факторов.

На ранних стадиях технологической подготовки производства оценка уровня технологичности по основным показателям стандарта [2, 4] затруднительна, а часто и невозможна в полном объеме ввиду неполноты информации (норм времени, перечень оборудования и др.). Для обеспечения производственной технологичности конструкции качественную оценку можно провести по свойствам ТКИ, а количественную — с помощью частных показателей.

Окончательная оценка производственной технологичности в условиях опытного производства детали планера была выполнена по частным показателям путем сравнения вариантов предлагаемой детали с аналогом, существующим на предприятии. При отсутствии аналога определяют комплексный показатель, который должен быть больше 0,5. Величина комплексного показателя определяется из условий крайне неблагоприятного сочетания показателей на основе экспертных оценок.

В данной работе рассматривается методика по расчету технологичности и оценке качества объекта, позволяющая формализовать процесс оценки детали планера на технологичность и изменять характеристики и параметры частных показателей.

Исходные данные для расчета технологичности конструкции детали на примере диафрагмы (см. рисунок) приведены в табл. 1.



Диафрагма тормозного щитка самолёта

Количественная оценка технологичности детали «диафрагма» на этапе проектирования и сравне-

ния вариантов технологии осуществлена с помощью комплексного показателя (табл. 2), [2]

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}, \tag{1}$$

где k_i — значение i -го частного показателя технологичности детали;

φ_i — коэффициент весомости i -го частного показателя технологичности детали;

n — количество принятых показателей, определяемых экспертом, должно быть не менее 5.

Таблица 1

Исходные данные для расчета технологичности конструкции диафрагмы тормозного щитка самолета

№	Наименование данных	Значение
1	Данные по геометрическим параметрам	Модель детали, технические условия
2	Объем выпуска в год	0-100 шт.
3	Масса детали	Не более 0,100 кг
4	Количество наименований конструктивных элементов	Более 3
5	Выход на теоретический контур	Да
6	Материал	Д16АТ
7	Допуск на аэродинамический контур	±1,0

Таблица 2

Сводная ведомость расчета показателей технологичности детали АТ

№	Наименование частного показателя технологичности	Значение показателя	Коэффициент весомости, φ_i	$k_i \varphi_i$
1	Объем выпуска в год, $k_{год}$	0,30	0,06	0,018
2	Технологичность разделительной операции, $k_{раз}$	1,00	0,12	0,12
3	Технологичность формоизменяющей операции, $k_{фор}$	0,90	0,13	0,117
4	Уровень повторяемости КЭ, входящих в изделие, $k_{эл}$	0,90	0,12	0,108
5	Масса детали, k_m	1,00	0,07	0,07
6	Габаритные размеры, $k_{раз}$	0,80	0,08	0,064
7	Форма обводов, $k_{ф.об}$	0,75	0,06	0,045
8	Форма контура, $k_{ф.кон}$	0,60	0,05	0,03
9	Уровень кривизны, $k_{ур.кр}$	0,9	0,11	0,099
10	Допуск на аэродинамический контур, $k_{аэр}$	0,40	0,05	0,02
11	Выход на обвод, $k_{тк}$	0,5	0,08	0,04
12	Расположение элементов относительно условной плоскости детали, k_N	0,8	0,07	0,056
Итого			1,00	0,787

Далее величины показателей уровня технологичности показателей в данной работе приняты условными.

Показатели объема выпуска в год $k_{год}$ (табл. 3) оценивают возможность механизации и автоматизации процесса изготовления детали. Чем больше объем выпуска, тем эффективнее применение средств механизации и автоматизации и, соответственно, существенное снижение трудоемкости и себестоимости детали.

Показатель технологичности в зависимости от вида разделительной $k_{раз}$ операции при изготовлении заготовки детали из листа (табл. 4) учитывает такой показатель ТКИ, как технологическая себестоимость заготовки.

Показатель технологичности в зависимости от вида формообразующей $k_{фор}$ операции при изготовлении формы детали из листа (табл. 5) учитывает такой показатель ТКИ, как технологическая себестоимость заготовки, технологическая простота.

Таблица 3

Объем выпуска деталей планера в год

№	Объем выпуска деталей планера в год	$k_{год}$
1	1-10	0,1
2	10-50	0,2
3	50-100	0,3
4	100-200	0,4
5	200-300	0,5
6	300-400	0,6
7	400-600	0,7
8	600-800	0,8
9	800-1000	0,9
10	1000 и выше	1,0

Таблица 4

Показатель технологичности в зависимости от вида разделительной операции

№	Технологичность разделительной операции	$k_{раз}$
1	На фрезерном станке с ЧПУ	1,0
2	На фрезерном станке по шаблону	0,8
3	В штампе	0,6
4	Гильотинные ножницы	0,4
5	Роликовые ножницы	0,2

Таблица 5

Показатель технологичности в зависимости от вида формообразующей операции

№	Технологичность формообразующей операции	$k_{фор}$
1	Формовка эластичной средой	1,0
2	Формовка на падающих молотах	0,8
3	Гибка в штампе	0,6
4	Обтяжка	0,3

При нескольких видах операций формообразования одной детали определяют средневзвешенное значение показателя по формуле

$$k_{фор\ ср} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{фор\ i} p_i}{p}, \tag{2}$$

где p — общее количество применяемых формообразующих операций при изготовлении детали;

$k_{фор\ i}$ — значение параметра технологичности по i -му параметру;

p_i — количество операций i -го вида.

Показатель $k_{эл}$, характеризующий повторяемость конструктивных элементов, входящих в конструкцию детали, выбирается из табл. 6.

При количестве конструктивных элементов более 40 оценка показателя принимается в зависимости от сложности формообразующей операции в пределах 0,40—0,10.

Показатель $k_{м}$, зависящий от массы детали, определяется по табл. 7 и учитывает свойство ТКИ. Данные в таблице применимы только для деталей планера самолета.

Показатель $k_{раз}$, характеризующий габаритные размеры детали, выбирается по табл. 8.

Показатель $k_{ф.об}$, учитывающий форму обводов, определяется из целевого назначения всей детали или отдельных ее элементов. Показатели формы обводов приведены в табл. 9.

Показатель $k_{ф.кон}$, учитывающий форму контура, определяется из конструктивного представления детали или ее отдельных элементов: борт, ребро и др. Показатели формы контуров приведены в табл. 10.

Показатель $k_{ур.кр}$, учитывающий уровень кривизны детали, определяется из конструктивного представления детали или отдельных элементов. Показатели уровня кривизны приведены в табл. 11.

Таблица 6

Уровень повторяемости конструктивных элементов в детали

№	Количество наименований элементов	Количество элементов	$k_{эд}$
1	1-2	1-4	1,0
2		Более 4	0,95
3	3-5	4-10	0,90
4		Более 10	0,85
5	5-8	10-20	0,80
6		Более 20	0,75
7	8-12	20-30	0,70
8		Более 30	0,60
9	12-20	30-40	0,50
10		Более 40	0,40

Таблица 7

Показатель массы детали

№	Масса детали, кг	k_m
1	0-0,5	1,0
2	0,5-1,0	0,8
3	1,0-2,0	0,6
4	2,0-5,0	0,4
5	5,0-10,0	0,2
6	Более 10,0	0,1

Таблица 8

Показатель технологичности габаритных размеров детали

№	Тип детали	Габаритные размеры, м	$k_{раз}$
1	Одномерная, $l/b > 5$	Длина l : до 0,5	1
2		Длина l : до 2	0,85
3		Длина l : до 6	0,75
4		Длина l : свыше 6	0,5
5	Двумерная, $l/b < 5$	до 0,5	0,9
6		до 2	0,8
7		до 6	0,7
8		свыше 6	0,4
9	Трехмерная	до 0,5	0,8
10		до 2	0,7
11		до 6	0,5
12		свыше 6	0,3

Показатель формы обводов

№	Форма обводов	$k_{ф.об}$
1	Плоская	1,0
2	Цилиндрическая	0,75
3	Коническая	0,5
4	Двойной кривизны	0,2

Таблица 9

Таблица 10

Показатель формы контуров

№	Форма контуров	$k_{ф.кон}$
1	Прямолинейная	1,0
2	Дуги окружности	0,7
3	Криволинейная	0,6
4	Произвольная	0,5

Таблица 11

Показатель уровня кривизны

№	Уровень кривизны	$k_{ур.кр}$
1	Малая кривизна, $r > 1$	0,9
2	Большая кривизна, $r < 1$	0,6

Показатель $k_{аэр}$, учитывающий допуск на аэродинамический контур, определяется из целевой функции детали (табл. 12).

Показатель $k_{ТК}$, учитывающий выход элементов детали на теоретический контур, определяется в зависимости от целевой функции детали (табл. 13).

Показатель k_N , учитывающий расположение конструктивных элементов детали относительно уловной плоскости детали, определяется по табл. 14.

Таблица 12

Показатель допуска на аэродинамический контур

№	Допуск на аэродинамический контур	$k_{\text{аэр}}$
1	0,5-0,8	0,2
2	0,8-1,0	0,4
3	1,0-1,5	0,6
4	1,5-2,0	0,8
5	2,0-3,0	1

Таблица 13

Показатель выхода на теоретический обвод

№	Выход на обвод	$k_{\text{ТК}}$
1	Выходит	0,5
2	Не выходит	1,0

Таблица 14

Показатель расположения элементов

№	Расположение элементов	k_{N}
1	Одностороннее	1,0
2	Двустороннее	0,8

Используя приведенную выше методику, находим показатели k_i применительно к конструкции диафрагмы (заполняем табл. 1) и с учетом коэффициентов весомости определяем $k_i \varphi_i$. Коэффициенты весомости показателей технологичности определены экспертным путем. Для оценки других деталей планера могут быть использованы или все, или часть показателей, а их коэффициенты весомости должны быть выявлены на основе новых экспертных оценок. Сумма выбранных коэффициентов весомости равняется единице.

Таким образом, определяем комплексный показатель технологичности диафрагмы по формуле (1)

$$p = \frac{0,787}{1} = 0,787.$$

В результате проведенных расчетов получили следующие значения технологичности диафрагмы:

- 1) для новой детали 0,5;
- 2) рассчитанное по методике 0,787.

Сравнивая комплексный показатель, рассчитанный по приведенной методике, с базовым для новой детали, можно сделать вывод, что проектируемая конструкция диафрагмы технологична и может быть принята для использования в производ-

ственных условиях. Предлагаемая методика проверена при конструировании штампуемых деталей из листа и отражает реальность процесса конструирования и изготовления.

Следовательно, предлагаемая методика обработки конструкции детали на технологичность может успешно применяться на практике для расчета производственной технологичности и оценки качества новых разрабатываемых деталей планера, для которых на ранних стадиях технологической подготовки производства оценка уровня технологичности по основным показателям стандарта затруднительна и невозможна ввиду неполноты информации, а по дополнительным показателям — ограничена, так как отражает только конструктивные элементы.

Применение данной методики в системе анализа ТКИ на ранних этапах проектирования деталей планера позволяет преобразовывать модели деталей в условиях изменяющегося словаря технологического представления при значительном постоянстве словаря конструкторского представления. Временное изменение обусловлено развитием технологий и методов технологического проектирования. Предлагаемая система анализа ТКИ должна, по возможности, изолировать конструктора от пространственно-временных изменений технологического базиса, но учитывать их при построении технологической модели детали.

Таким образом, применение системы анализа ТКИ обеспечивает адаптацию метода к заданному производству, аккумулируя знания о технологическом базисе производства. Тем самым обеспечивается адаптивность метода в целом, учитываются субъективные и объективные особенности производства. Метод распознавания работает с конструкторскими моделями, построенными твердотельными примитивами, чем обеспечивает инвариантность методики анализа ТКИ к способу построения модели.

Библиографический список

1. Амиров Ю. Д. Технологичность конструкции детали / Библиотека конструктора. — М.: Машиностроение, 1990. — 768 с.
2. ГОСТ 14.201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкции детали. — М.: Издательство стандартов, 1983.
3. Колганов И.М., Дубровский П.В., Архипов А.Н. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1: Учебное пособие. — Ульяновск: УлГТУ, 2003. — 148 с.
4. Осетров В. Г., Амиров Ю.Д. Технологический анализ машиностроительного производства. — М.: Машиностроение, 1980. — 205 с.

METHOD OF QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE AIRFRAME ELEMENT MANUFACTURABILITY

Govorkov A.S.

*Irkutsk state technical university (National Research University),
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074, Russia
e-mail: govorkov_as@istu.edu*

Abstract

Purpose

Nowadays element design is carried out with the help of CAD/CAM/CAE/PDM systems. Thus it is rational to estimate the manufacturability of element structure at early stages of product launch during element design and manufacturing. The goal of this paper is to provide a method for such evaluation. The paper considers a method of manufacturability calculation and estimation, which allows formalizing the process of airframe element manufacturability evaluation and altering characteristics and parameters of individual indicators.

Design/methodology/approach

While refining the airframe element design with the purpose of increasing the airframe manufacturability, one must take into account the manufacturing type and specific features of the manufacturer (manufacturing plant) so that structure of individual elements could be produced with taking the aforementioned factors into account.

The paper proposes a method of quantitative estimation of airframe element structure manufacturability based on interaction of individual indicators with taking into account their weight-coefficients. Also an algorithm for manufacturability control of the element based on its 3D-model is suggested.

Final assessment of industrial manufacturability is carried out according to single individual indicators by comparing the variants of the proposed element with analogues, which are already manufactured at the considered plant. The aggregated indicator value is determined under the conditions of an extremely unfavorable combination of individual indicators based on expert estimates.

The quantitative assessment of element manufacturability during its design is carried out with the help of an aggregated indicator:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i},$$

where k_i is the value of individual element manufacturability indicator i ;

φ_i is the weight-coefficient of individual element manufacturability indicator i ;

n is the number of adopted indicators, which is defined by the expert and must be no less than 5.

Weight-coefficients of the manufacturability indicators are determined by experts. Part of the indicators can be used again to evaluate other airframe elements while their weight-coefficients should be re-identified based on new expert estimates.

Findings

It is difficult and often impossible to fully estimate manufacturability level at early stages of manufacturing process design because of insufficient information. To ensure the structure manufacturability it is possible to make a qualitative assessment via manufacturability properties and carry out the quantified evaluation using individual indicators.

The proposed method was tested on the example of structure design of sheet pressed airframe elements. It was discovered that this method does reflect the real conditions of structure design and manufacturing processes.

Research limitations/implications

The proposed method is based on expert estimations. Thus additional work is required for selecting the appropriate groups of experts to make these estimations less influenced by subjectivity of particular personalities.

Originality/value

Proposed methodology of refining the element structure manufacturability can be successfully applied in practice for calculation of manufacturability and

estimation of the quality of the new developed airframe elements. This is especially important since it might be hard and/or impossible to carry out the manufacturability estimation for such elements according to the main indicators of the standards at the early stages of pre-production planning due to the lack of information, while the ability to carry out the estimation according to additional indicators is limited since such estimation would only reflect the structural design aspect.

Technologies and methods of manufacturing design change over time. The proposed system of manufacturability analysis aspires to «isolate» the designer from such changes while still taking them into account during the creation of the model of the element manufacturing process.

Application of structure manufacturability analysis provides for adaptation of the method to the specific manufacturing by accumulating knowledge about its technological basis. This ensures adaptability of the method as a whole and takes into account general and particular characteristic features of manufacturing. The recognition method works with structure models, which are based on solid-body primitives, thus ensuring the invariability of the manufacturability analysis method towards the way the model was built.

Keywords: product model, manufacturability, airframe structure element, individual indicator of manufacturability, structure component.

References

1. Amirov Yu.D. *Tekhnologichnost' konstruksii detali* (Element structure manufacturability), Moscow, Mashinostroenie, 1990, 768 p.
2. *Obshchie pravila obespecheniya tekhnologichnosti konstruksii detali, GOST 14.201-83* (GOST All-Union State Standard 14.201-83. Common rules of providing the element structure manufacturability, GOST 14.201-83), Moscow, Standarty, 1983.
3. Kolganov I.M., Dubrovskii P.V., Arkhipov A.N. *Tekhnologichnost' aviatsionnykh konstruksii, puti povysheniya* (Aircraft structure manufacturability and ways of its improvement), Ulyanovsk, UIGTU, 2003, part 1, 148 p.
4. Osetrov V.G., Amirov Yu.D. *Tekhnologicheskii analiz mashinostroitel'nogo proizvodstva* (Analysis of manufacturing technologies of machinery production), Moscow, Mashinostroenie, 1980, 205 p.