

Разработка обобщенной методики для отработки конструкции устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования на технологичность

03, март 2011

УДК: 621.924

авторы: Шиляев С. А., Осетров В. Г.

ГОУ ВПО «ИжГТУ»;

shiljaev@mail.ru

Многообразие технической литературы, рекомендации справочников по технологичности конструкции изделий (ТКИ) отражают основные сведения о ТКИ, методические основы ее обеспечения и оценки, состав и особенности основных показателей, порядок проведения технологического контроля конструкторской документации. Изучая эту объемную и полезную информацию о ТКИ, у исследователя возникают новые идеи и желание формализовать процесс оценки изделий на технологичность.

В процессе изготовления и испытаний опытного образца выявляется, насколько правильно и удачно решены требования технологичности и на основании этого разрабатываются мероприятия по улучшению технологичности конструкции станка для серийного производства. Для конкретного вида изделия при обработке конструкции на технологичность ставятся определенные задачи [1, 2].

Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется непосредственным воздействием на ее техническую сущность путем придания конструкции комплекса свойств, обеспечивающих ее организационную пригодность.

Учитывая многочисленные рекомендации для Устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования (УРЛОШ) необходимо решить следующие задачи [3, 4]:

- выбор современных конструктивных решений, оптимального варианта кинематики и компоновки УРЛОШ;

- рациональное разделение УРЛОШ на самостоятельные узлы – составные сборочные единицы, обеспечивающее возможность параллельной независимой сборки, удобство монтажа и регулирования;

- обоснованный выбор баз, а также системы простановки размеров и допусков на сборочные размеры, обеспечивающий точность сборки, экономически целесообразный уровень взаимозаменяемости и удовлетворительную работу УРЛОШ;

- использование стандартных, нормализованных агрегатов, узлов и деталей;

- унификация составных частей изделия и материалов, включающая сокращение количества наименований и типоразмеров составных частей;

- возможность применения типовых технологических процессов сборки, обработки, контроля, испытаний, технологического обслуживания и ремонта;

- удобство транспортирования и монтажа УРЛОШ;

- снижение трудоемкости изготовления изделий УРЛОШ.

Отрабатывая конструкцию устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования на технологичность, нужно учитывать масштаб выпуска, тип производства и специфику намечаемого завода-изготовителя с тем, чтобы конструкции отдельных деталей и узлов позволили рационально организовать производство с учетом указанных факторов.

На ранних стадиях технологической подготовки производства оценка уровня технологичности по основным показателям стандарта затруднительна и невозможна ввиду неполноты информации (норм времени и учет всех затрат), а по дополнительным ограничена, т. к. отражает только конструктивные элементы. Для обеспечения производственной технологичности конструкции качественную оценку можно провести по свойствам ТКИ, а количественную – с помощью частных показателей [2, 3].

Окончательная оценка производственной технологичности в условиях опытного производства устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования была выполнена по частным показателям путем сравнения вариантов предлагаемого изделия с аналогом, существующим на предприятии. При отсутствии аналога определяют комплексный показатель, который должен быть больше 0,45. Величина комплексного показателя определяется из условия крайне неблагоприятного сочетания показателей на основе экспертных оценок.

В данной работе рассматривается методика по расчету технологичности и оценке качества объекта позволяющая формализовать процесс оценки изделий на технологичность, и позволяющая изменять характеристики и параметры частных показателей (алгоритм приведен на рис. 1).

Оценка качества объекта и вывод результатов информации реализуется на ПЭВМ типа IBM PC в среде программирования Delphi. Рабочая программа имеет интуитивно понятный интерфейс. Программа работает в двух режимах: «АДМИНИСТРАТОР» и «ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ». Программа обеспечивает выполнение следующих функций: ввод пользовательских данных для оценки объекта; вывод результата о качестве объекта на основе пользовательских данных; просмотр введенных пользовательских данных. Для реализации данных функций создано три программы.

Программа «Оценка качества объекта» зарегистрирована в базе программ ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010615652 (Россия), заявл.02.07.2010 г., зарегист. 01.09.2010 г.).

Состав частных показателей технологичности УРЛОШ и коэффициенты весомости приведены в табл. 1, часть которых переработаны к условиям опытного производства.

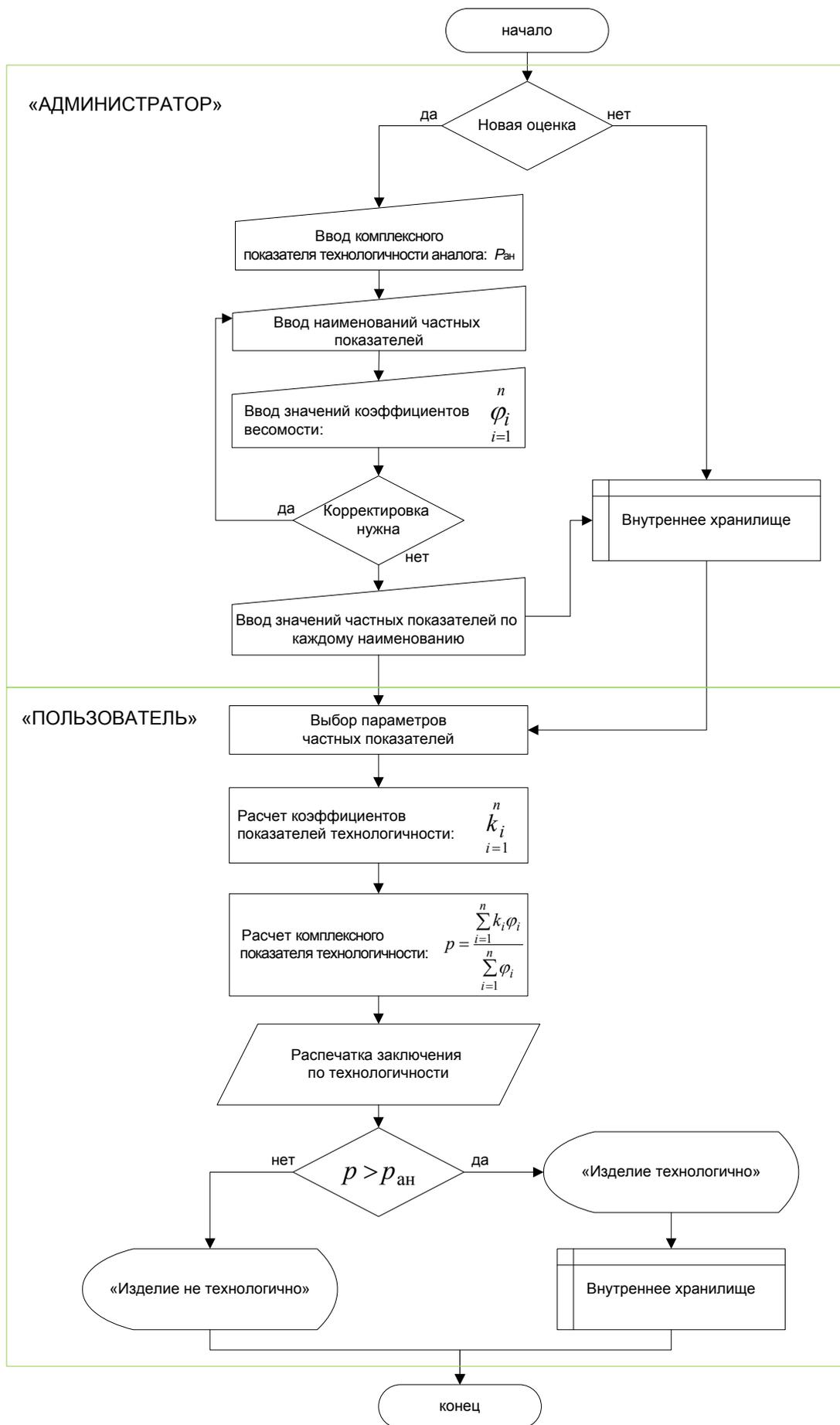


Рис. 1. Алгоритм программы по расчету технологичности конструкции

Таблица 1 – Сводная ведомость расчета показателей технологичности УРЛОШ

Наименование показателя технологичности	Значение показателя	Коэффициент весомости, φ_i	$k_i \varphi_i$
1) Объем выпуска в год	$k_1 = 0,1$	0,08	0,008
2) Методы достижения точности замыкающего звена	$k_2 = 0,85$	0,13	0,1105
3) Технологичность детали, входящей в сборочную единицу	$k_3 = 0,6$	0,13	0,078
4) Технологичность вида соединения	$k_4 = 0,8$	0,12	0,096
5) Количество деталей, входящих в сборочную единицу	$k_5 = 0,4$	0,12	0,048
6) Точность относительно положения деталей	$k_6 = 0,7$	0,09	0,063
7) Количество направлений сборки	$k_7 = 0,7$	0,09	0,063
8) Коэффициент сборности конструкции	$k_8 = 0,93$	0,08	0,0744
9) Коэффициент материалоемкости изделия	$k_9 = 0,58$	0,09	0,0522
10) Коэффициент унификации материалов	$k_{10} = 0,88$	0,07	<u>0,0616</u>
			$\Sigma 0,6547$

Коэффициенты весомости показателей технологичности определены экспертным путем. Для оценки других изделий могут быть использованы или все или часть показателей, а коэффициенты весомости должны быть выявлены на основе новых экспертных оценок. Сумма выбранных коэффициентов весомости равняется единице.

Количественная оценка технологичности устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования на этапе проектирования и сравнения вариантов технологии осуществлена с помощью комплексного показателя [2, 3]:

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

где k_i – значение i -го частного показателя технологической сборочной единицы; φ_i – коэффициент весомости i -го частного показателя технологической сборочной единицы; n – количество принятых показателей, определяемых экспертом, должно быть не менее 5-и.

Показатель объема выпуска изделий в год (k_1) характеризуется в табл. 2 и оценивает возможность механизации и автоматизации.

Чем больше объем выпуска, тем эффективнее применение средств механизации и автоматизации, а соответственно снижение трудоемкости и себестоимости изделия.

Таблица 2 – Объем выпуска изделий в год

Объем выпуска изделий в год, шт	k_1
10000 и выше	1
8000 – 10000	0,8
5000 – 8000	0,6
1000 – 5000	0,5
500 – 1000	0,4
200 – 500	0,3
100 – 200	0,2
1 – 100	0,1

Методы достижения точности замыкающего звена и их коэффициенты приведены в табл. 3. Они отражают свойство взаимозаменяемости составных частей изделия.

Методы достижения точности замыкающих звеньев в одном изделии могут быть разными, в связи с этим вводится обобщенный показатель k_2 :

$$k_2 = \sum_{i=1}^n K_{mi} / n, \quad (2)$$

где K_{mi} – значение показателя, характеризующего метод достижения точности; n – количество размерных цепей, выявляемых при обработке на технологичность.

Таблица 3 – Методы достижения точности

Наименование метода	K_{mi}
Полная взаимозаменяемость	1
Неполная взаимозаменяемость	0,9
Регулирование	0,7
Пригонка	0,5
Метод компенсирующих материалов	0,4
Групповая взаимозаменяемость	0,3
Метод деформации звеньев	0,2
Взаимная компенсация	0,2
Индивидуальная селективная сборка	0,1

Применительно к устройству ротационного ленточного охватывающего шлифования выявлены основные размерные цепи, в которых точность замыкающего звена осуществляется тремя методами: полной, неполной взаимозаменяемостью и регулированием. Подставляя значения K_{mi} из табл. 3. получим:

$$k_2 = \frac{1 + 0.7 + 0.9 + 0.9 + 0.9 + 0.7}{6} = 0,85$$

Обобщенный показатель технологичности деталей, входящих в сборочную единицу, определяется по формуле:

$$k_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_{Di}}{n}, \quad (3)$$

где k_{Di} – комплексный показатель технологичности i -ой детали; n – количество деталей в сборочной единице.

Комплексный показатель технологичности деталей:

$$k_{Di} = \frac{\sum_{j=1}^n k_{Dj} \lambda_j}{\sum_{j=1}^5 \lambda_j}, \quad (4)$$

где k_{Dj} – значение j -го показателя технологичности; λ_j – коэффициент весомости частных показателей технологичности деталей (табл. 4)

Показатели технологичности (табл. 4) проявляются в области сборочного производства. В случае, если масса деталей более 25 кг, коэффициенты весомости могут колебаться от 0,2 до 0,05. Показатели технологичности по сцепляемости деталей учитывают подачу деталей из тары. В случае подачи детали из магазина, поддона или кассеты, где детали ориентированы в пространстве, значения каждого из этих показателей оцениваются единицей.

Таблица 4 – Состав и значение коэффициентов весомости

Наименование обобщенного показателя технологичности	Коэффициент весомости, λ_j	Значение показателя, k_{Dj}
<u>Стабильность конфигурации при сборке:</u> деталь жесткая и сохраняет форму при сборке; деталь незначительно деформируется при воздействии ориентирующих и исполнительных элементов приспособлений или рабочего; деталь имеет малую жесткость и изменяет форму под действием массы других деталей или под действием собственной массы; деталь не сохраняет форму, заданную чертежом	0,25	1,0 0,7 0,2 0,01
<u>Стабильность положения при сборке:</u> детали сохраняют ориентацию при установке на базовую деталь или приспособление; детали могут изменять положение, но не препятствуют сборке; изменение положения детали может вызвать отказ при выполнении сборочной операции, что требует для повышения надежности усложнения конструкции оборудования; сохранение требуемой ориентации невозможно	0,22	1,0 0,9 0,5 0,01
<u>Масса детали, кг:</u> 0,1...1 1...2 2...5 5...10 10...25 > 25	0,20	1,0 0,8 0,6 0,4 0,3 0,2
<u>Условия базирования:</u> в качестве технологических баз используются основные; технологические базы детали не совпадают с основными; технологические базы детали требуют сложных базирующих устройств; при базировании детали требуется ее точное угловое положение; по условиям сборки требуется перебазирование; у детали отсутствуют поверхности, удобные для базирования при сборке	0,18	1,0 0,9 0,7 0,5 0,3 0,01
<u>Сцепляемость деталей при ориентировании и выемка их из тары:</u> детали не сцепляются; детали сцепляются	0,15	1,0 0,5

Показатели технологичности в зависимости от вида соединения деталей.

Показатели вида соединения (табл. 5) учитывают свойства ТКИ: технологическую простоту, легкоъемность и монтажепригодность.

Таблица 5 – Показатели технологичности вида соединения деталей

Виды соединения	k_4
Запрессовка, пластическая деформация, сварка	1,0
Шпоночное и шлицевое соединение	0,8
Пайкой, склеиванием, с полимерной прослойкой	0,7
Соединение плоское или цилиндрическое с консистентной смазкой	0,6
Резьбовое с применением плоских шайб	0,8
Резьбовое с применением пружинных шайб	0,8
Клепачное, шпильное, с пружинящим элементом	0,7
	0,3

При нескольких видах соединений в одной сборочной единице определяют средневзвешенное значение показателя по формуле:

$$k_{4cp} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{4i} p_i}{p}, \quad (5)$$

где p – общее количество соединений в сборочной единице; k_{4i} – значение параметра технологичности по i -му параметру; p_i – количество соединений i -го вида.

Показатель, характеризующий количество деталей, входящих в сборочную единицу, выбирается из табл. 6. Этот показатель косвенно отражает свойства ТКИ: технологическую простоту, контроле- и монтажепригодность.

Таблица 6 – Количество деталей в сборочной единице

Количество наименований деталей	Количество деталей	k_5
2...4	2...8	1,0
	Более 8	0,95
4...6	4...16	0,90
	Более 16	0,85
6...10	8...32	0,80
	Более 32	0,75
10...20	32...64	0,70
	Более 64	0,60
20...40	64...128	0,50
	Более 128	0,40

При количестве наименований деталей более 128 оценка показателя принимается в зависимости от сложности сборочной операции в пределах 0,40...0,1.

Показатель технологичности в зависимости от точности радиального или углового положения устанавливаемой детали выбирается по табл. 7. Этот показатель отражает свойство контролепригодности.

Показатель технологичности, характеризующий количество и характеристики направлений сборки, приведен в табл. 8.

Таблица 7 – Показатели технологичности по точности соединений

Допуск относительного положения, мм	k_6
До 0,005 включительно	0,2
0,005...0,010	0,3
0,010...0,020	0,4
0,020...0,050	0,5
0,050...0,100	0,6
0,100...0,200	0,7
0,200...0,500	0,9
Более 0,500	1,0

Примечание: допуски применяются для оценки теплового зазора между торцами подшипника и крышки, а также для оценки бокового зазора и межсосевого расстояния в зубчатом зацеплении.

Таблица 8 – Характеристики направлений сборки

Характеристики направлений сборки	k_7
<i>Механизированная или автоматизированная сборка</i>	
Вертикальное направление сверху вниз или горизонтальное, перпендикулярное направлению перемещения базовой детали между сборочными позициями	1
Сборка в перпендикулярных направлениях или с противоположных сторон	0,9
То же, но угол между направлениями сборки не равен 90° или 180°	0,8
<i>Ручная сборка</i>	
Составная часть устанавливается на горизонтальную плоскость сверху, поддержка не требуется	1
Установка производится сбоку, требуется небольшая поддерживающая сила	0,9
Установка производится снизу, требуется поддерживающая сила, равная весу составной части	0,7

При ручной сборке обратная величина коэффициентов учитывает влияние расположения базовых поверхностей на продолжительность выполнения элементов операции [2].

При использовании поворотных транспортных систем за направление движения принимается касательная к круговой траектории в точке, определяющей положение вертикальной оси базовой детали, находящейся на сборочной позиции.

Показатель сборности конструкции определяется из схемы сборки и представляется формулой:

$$K_c = \frac{D}{D + TCE}, \quad (6)$$

где TCE – количество технологических сборочных единиц, выявленных из схемы сборки. В TCE могут входить и конструктивные сборочные единицы (KCE); D – число деталей конструктивной сборочной единицы.

На основании этой формулы рассчитаны показатели и составлена табл. 9, в которой отражены значения весоности показателей.

Коэффициент сборности K_c влияет на выбор формы организации сборочных работ. Чем ниже коэффициент сборности, т. е. чем больше в изделии TCE и меньше деталей, тем выше уровень планирования и организации труда и в то же время выше степень дифференциации, что приводит к увеличению производственных площадей. Поэтому значение показателя k_8 берем оптимальное.

Таблица 9 – Показатель сборности конструкции

Показатель сборности конструкции $K_c = \frac{D}{D + TCE}$	Значение показателя k_8
0,85 ... 0,4	0,8
0,4 ... 0,25	0,9
0,25 ... 0,10	0,8
0,10 ... 0,05	0,7
0,05 ... 0,02	0,6
0,02 ... 0,01	0,5

Показатель материалоемкости изделия – расход материала, необходимого для производства и технической эксплуатации изделия с учетом его конструктивных особенностей определяется по формуле:

$$M = \frac{M_c}{M_{on} + M_э + M_c}, \quad (7)$$

где M_c – масса сухого изделия, т.е. без наполнителей (масла, расходуемого в процессе эксплуатации); M_{on} – масса технологических отходов и потерь – количество материала, которое не осуществлено в редукторе, но затрачено на его производство (например, с учетом среднего коэффициента использования материала $\eta = 0,5 \dots 0,7$ можно принять $M_{on} = (M_c/\eta) - M_c$); $M_э$ – расход материала на эксплуатацию изделия (на запасные части).

Наиболее технологичным из сравниваемых вариантов конструкции является вариант, для которого M ближе к единице.

Коэффициент унификации по маркам материалов определяется:

$$k_{10} = 1 - \frac{m}{D}, \quad (8)$$

где m – количество марок материалов в изделии; D – количество деталей.

С увеличением технологичности коэффициент k_{10} стремится к единице.

Коэффициент, учитывающий влияние факторов на доступность детали к месту расположения в изделии (табл. 10). Обратная величина значения коэффициента используется для расчета продолжительности выполнения элементов операции [2].

Таблица 10 – Показатель доступности детали к месту расположения в изделии

Показатели доступности	Коэффициент весомости, λ_i	Значение показателя, R_i
<u>Рабочая зона:</u>		
1. Имеет достаточные размеры для свободной манипуляции;	0,4	1,0
2. Размеры не препятствуют выполнению операций, но ограничивают свободу манипуляций;		0,83
3. Сильно стеснена, требуется много движений и специальных инструментов		0,5
<u>Поза исполнителя:</u>		
4. Удобная, не затрачиваются усилия на сохранение рабочей позы во время работы;	0,3	1,0
5. Малоудобная, исполнитель вынужден работать с вытянутыми руками, наклонившись, стоя на коленях или сидя на корточках;		0,5
6. Неудобная, работа лежа или сильно нагнувшись		0,3
<u>Возможность визуального контроля:</u>		
7. Рабочая зона отчетливо видна без изменения положения тела;	0,3	1,0
8. Для визуального контроля необходимо изменить позу или прервать выполнение работы;		0,9
9. Работа выполняется на ощупь, так как рабочая зона закрыта руками исполнителя или элементами конструкции		0,7

Показатель доступности к месту расположения детали в изделии определяется:

$$k_{11} = \sum_{i=1}^3 \lambda_i R_i, \quad (9)$$

Применительно к устройству ротационного ленточного охватывающего шлифования из табл. 10 выбраны значения: $R_2 = 0,83$, $R_4 = 1$, $R_8 = 0,9$. Тогда общий показатель равен: $k_{11} = 0,4 \cdot 0,83 + 0,3 \cdot 1 + 0,3 \cdot 0,9 = 0,962$

Используя приведенную методику, находим показатели k_i применительно к устройству ротационного ленточного охватывающего шлифования, и с учетом коэффициентов весомости определяем $k_i \varphi_i$. Коэффициент сборности рассчитан с учетом технологических сборочных единиц (ТСЕ), выявленных из схемы сборки.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 11.

Таблица 11 – Исходные данные для расчета технологичности конструкции устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования

Исходные данные	чертежи, спецификация и технические условия
Объем выпуска в год	0-100 шт
Коэффициент использования материала	0,62
Масса изделия	более 100 кг
Количество наименований деталей и сборочных единиц (позиций)	> 128
Суммарный осевой зазор в подшипниках	0,04 ... 0,07 мм
Способ регулирования	кольца разной толщины

Определяем комплексный показатель по формуле (1). Значение показателя, характеризующего доступность к месту сборки и коэффициент весомости $\varphi_{11} = 0,04$ не учитываются, т. к. эти критерии обеспечивают ТКИ, что позволяет увеличить коэффициент технологичности: $p = \frac{0,6547}{0,96} = 0,681$.

В результате проведенных исследований мы получаем следующие значения технологичности устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования, представленные в табл. 12.

Таблица 12 – Сравнительный анализ значений технологичности

Метод определения	Комплексный показатель технологичности
Для нового изделия при отсутствии аналога	0,45
Расчетный	0,68
По программе, на основе разработанной методики	0,76

Сравнивая комплексный показатель с расчетным и допустимым, можно сделать вывод о том, что разрабатываемая конструкция устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования технологична и может быть принята для использования в производственных условиях. Предлагаемая методика и разработанное программное обеспечение проверено при конструировании устройства ротационного ленточного охватывающего шлифования отражает реальность процесса конструирования

Таким образом, предлагаемая методика отработки конструкции изделия на технологичность может успешно применять на практике для расчета производственной технологичности и оценки качества новых разрабатываемых изделий, для которых на ранних стадиях технологической подготовки производства оценка уровня технологичности по основным показателям стандарта затруднительна и невозможна ввиду неполноты информации (норм времени и учет всех затрат), а по дополнительным ограничена, т.к. отражает только конструктивные элементы.

Список литературы

1. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров [и др.] М: Машиностроение, 1990. 768 с.
2. Технологический анализ машиностроительного производства / Осетров В.Г. [и др.] Ижевск: ГСХА, 2004. 222 с.
3. Шиляев С.А., Коротаев А.Н., Иванов А.Г. Анализ технологичности конструкции устройства ротационного охватывающего ленточного шлифования // Проведение научных исследований в области машиностроения: Сб. докл. Всерос. науч.-техн. конф. Тольятти, 2009 г. Ч.1., С. 297-299.
4. Шиляев С.А. Автоматическая линия для ротационного охватывающего ленточного шлифования длинномерных заготовок малого диаметра // Вестник машиностроения. М.: ООО «Издательство Машиностроение», 2009 №4. С. 71-74.