

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-102-111

¹Искачёв С.А., ¹Совков А.Н., ¹Яркин А.Л., ^{2,*}Подоляк О.О.,²Овчинникова В.А., ²Лавринов Д.С.¹Производственное объединение Уральский оптико-механический завод имени Э.С. Яламова²Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

*E-mail: o.o.podoliak@urfu.ru

ВЫБОР МЕТОДА КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Важным аспектом в производстве геодезического оборудования является контрольно-измерительная проверка деталей всего агрегата. Поднимается проблема выбора метода контроля геометрических размеров деталей при производстве геодезической продукции. Простой анализ и дальнейший выбор метода контроля не дает однозначного ответа, какой из методов будет максимально соответствовать требованиям конкретного производственного подразделения и технологического процесса. Исследователи разработали алгоритм выбора метода контроля геометрических размеров деталей, состоящий из 6 этапов. Для апробации предложенной методики анализа рассматривались контрольно-измерительные операции, согласно технологическим картам при производстве электронных тахеометров. Преимущество представленного алгоритма заключается в учете максимального количества параметров при анализе, учитывающем как технические, так и организационные факторы. Данный метод может быть использован для любого объекта при изменении параметров анализа. В исследовании проведена апробация алгоритма по анализу наиболее востребованных методов контроля. Для выполнения первых трех этапов алгоритма необходимо сформировать экспертную комиссию, что может привносить субъективность в процесс оценки параметров анализа. Заключительные этапы алгоритма выбора метода контроля являются расчетными. Результатом предложенной методики является расчет взвешенного параметрического индекса.

Ключевые слова: метод контроля, геодезическая продукция, контрольно-измерительные операции, точность измерения.

Актуальность. В настоящее время производство геодезического оборудования в России остается актуальным и востребованным, особенно учитывая ограничения присутствия иностранных производителей на рынке выполнения исполнительных съёмок застроенных и строящихся территорий. Геодезическая отрасль имеет ключевое значение для различных секторов экономики, включая строительство, горнодобывающую промышленность, сельское хозяйство, а также для государственных и общественных проектов, например, для выполнения исполнительных съёмок застроенных и строящихся территорий, в том числе плано-высотного обоснования. Стоит отметить растущий интерес к применению геодезического оборудования в сельском хозяйстве. Точные измерения позволяют улучшить агротехнику, оптимизировать распределение ресурсов и повысить эффективность земельных работ. Осуществление масштабных инфраструктурных проектов требует высокой надежности и допустимой погрешности геодезических данных, что стимулирует развитие этой отрасли.

Российские производители геодезического оборудования стремятся удовлетворить потреб-

ности, как на внутреннем рынке, так и за рубежом. Экспорт геодезических технологий и оборудования позволяет укреплять позиции российской индустрии на мировом рынке и привлекать иностранные инвестиции.

Таким образом, мы можем говорить о растущем спросе на геодезическое оборудование, что предъявляет соответствующие требования к производителям подобного оборудования. Одним из процессов производства высокотехнологичной продукции является контрольно-измерительный, требующий высокоточных измерений деталей собираемого агрегата. В статье обосновывается выбор измерительного оборудования, используемого при производстве линейки высокоточного геодезического оборудования, отвечающего всем требованиям, предъявляемым к промышленной продукции российского происхождения, на примере электронных тахеометров серии бТа2, бТа3, бТа2 МО.

Исходные данные и методология. Для измерения геометрического профиля детали существует несколько методов [1–4]:

- контактный метод;
- коноскопический метод;
- интерференционный метод;

- метод контроля профиля на основе технологии «лидар»;
- методы с применением лазерных триангуляционных сканеров.

Выбор метода измерения зависит от типа и сложности детали, допустимой погрешности, доступности оборудования и других факторов. Комбинация различных методов может быть использована для более полного и точного определения геометрического профиля детали.

Каждый из представленных методов имеет свои особенности применения, ограничения по поверхности объекта, материала, допустимой погрешности и ряда других параметров, что приводит к необходимости создания методики обоснованного выбора метода и инструмента выполнения контрольно-измерительных операций на производстве, с учетом не только технических, но и организационно-экономических параметров. Одновременное рассмотрение большого числа факторов приводит к тому, что объективность и обоснованность выбора снижается. Для решения подобных задач в ценообразовании и финансовой оценке широко применяются методы, основанные на многофакторном анализе, позволяющие не только учесть разнообразие влияющих факторов, но и построить математическую модель, обосновывающую принятие решения. К подобным методам многофакторного анализа можно отнести балльно-параметрический метод [5, 6] или метод БОФа [6, 7], позволяющие найти оптимальное решение в условиях ограниченности ресурсов. В ходе данной работы на основе методов многофакторного анализа, а также с учетом специфики контрольно-измерительных операций был разработан алгоритм выбора метода контроля геометрических размеров деталей при производстве геодезической продукции. Предложенный алгоритм предполагает последовательное выполнение шести описанных ниже этапов.

Этап 1. Выявление методов, наиболее часто применяющихся для решения поставленной задачи.

В рамках данного этапа проводятся поисковые научно-исследовательские работы, результатом которых является перечень используемых в настоящее время инструментов, методов решения поставленной задачи.

Этап 2. Определение параметров для оценки.

Учитывая неоднородность задач, объектов исследования, организационно-экономических и технико-технологических условий функционирования предприятия выбираются параметры, наиболее важные при принятии решений. Учиты-

вая опыт проведенных исследований, необходимо отметить, что в число параметров должны входить как технические, так и организационно-экономические, так как такой симбиоз дает возможность комплексной оценки предлагаемых методов.

Этап 3. Балльная оценка выбранных методов согласно параметрам, определенным на этапе 2.

Необходимо отметить, что балльная оценка позволяет включать в список анализируемых параметров как измеримые (скорость, погрешность и т.д.), так и неизмеримые (эргономичность, доступность технологии или оборудования и т.д.), что, в свою очередь, повышает надежность результатов. Балльная шкала выбирается единая для всего спектра анализируемых параметров, но, в силу высокой трудоемкости описания, рекомендуется применять шкалу размерности от 5-ти до 10-ти баллов. Балльную оценку осуществляет экспертный совет, состав которого формируется и согласуется в зависимости от объекта оценки. Сама оценка может быть проведена по одному из методов группового принятия решений: «мозговой штурм», метод «Делфи» и т.д. [8].

Этап 4. Формирование профиля идеального метода.

Стоит отметить, что идеальный метод в данном случае воспринимается как гипотетический (несуществующий), его формирование наиболее схоже с формулировкой идеального конечного результата (ИКР) согласно теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) [9]. Цель создания такого профиля – наличие базы для сравнения существующих методов с методами, максимально отвечающими потребностям заказчика.

Этап 5. Определение важности каждого из параметров.

Важность параметра может быть определена разными способами, однако, большинство из них имеют крайне низкую объективность в силу того, что объем одновременно анализируемой информации становится несоразмерно большим при увеличении числа сравниваемых параметров. Одним из инструментов в данном случае может выступать метод попарных сравнений [10]. Особенностью данного метода является сравнение не всех параметров, а только пары и выставление оценок в системе «более важный», «менее важный» или «равнозначный», что позволяет одновременно оценить объективность принятого решения, но и с применением инструментов математической статистики определить значимость всех параметров, входящих в анализируемую выборку.

Этап 6. Расчет взвешенного параметрического индекса.

Взвешенный параметрический индекс показывает, насколько анализируемый метод отвечает требованиям. Таким образом, параметрический индекс является основанием для выбора.

Формула расчета индекса:

$$J_A = \sum_{i=1}^m \left(\frac{b_i^A}{b_i^И} \cdot V_i \right), \quad (1)$$

где J_A – параметрический индекс метода А;

i – номер анализируемого параметра;

m – число анализируемых параметров;

b_i^A – балл по « i » параметру у метода А (по результатам этапа 3);

$b_i^И$ – балл по « i » параметру у идеального метода (по результатам этапа 4);

V_i – весомость « i » параметра (по результатам расчета этапа 5).

Таким образом, будет получен взвешенный параметрический индекс по каждому из анализируемых методов, что будет являться основанием для выбора наиболее подходящего метода измерений в сложившихся технико-технологических и организационно-экономических условиях.

Апробация предложенной методики анализа. Для апробации были выбраны контрольно-измерительные операции, необходимые согласно технологическим картам при производстве электронных тахеометров серии 6Та2, 6Та3, 6Та2 МО.

1 этап. Как уже было отмечено выше, существует ряд наиболее часто используемых методов для контроля геометрии деталей. В ходе исследования был проведен анализ каждого из приведённых методов и выявлен ряд достоинств и недостатков, приведенных в таблице 1 [11 - 15].

Таким образом, можно сделать вывод, что простой анализ предлагаемых методов не дает однозначного ответа, какой из них будет максимально соответствовать требованиям конкретного производственного подразделения и технологического процесса. Однако, для анализа по предложенному алгоритму будем рассматривать все 5 описанных методов.

2 этап. Для определения параметров оценки была собрана экспертная группа, в которую входили представители отдела главного технолога, метрологи, экономисты, представители производственного подразделения (в котором будут проводиться контрольно-измерительные операции), исследователи (занимающиеся разработками в области метрологии).

Формирование списка параметров проводилось в два этапа:

1. Участникам были предложены опросные листы с открытыми вопросами, касающимися особенностей производственного процесса и применяемых (планируемых) технологий и методов труда.

2. Проведение мозгового штурма, в рамках которого обсуждались все предложенные варианты, и выработан общий список.

Ниже представлена часть предложенного списка параметров, подлежащих сравнению:

– скорость измерений;

– погрешность измерений;

– возможность измерения сложной геометрии изделия;

– необходимость использования дополнительных материалов (спреев, смазок, экранов и т.д.);

– стоимость оборудования;

– необходимость модернизации производственного помещения;

– возможность получения цифровой модели объекта в ходе измерений;

– и т.д.

3 этап. Для выбранных параметров была сформирована таблица с исходными значениями (таблица 2), на основе которой были проставлены баллы (таблица 3). В таблицах 2 и 3 приведена часть данных.

Для балльной оценки применена 10-ти балльная система оценивания. Процесс оценки проходил по «методу Дельфи»: респондентам из группы были предложены оценочные листы для индивидуального заполнения; баллы вносились в итоговый формуляр при условии их совпадения; при несовпадении баллов более чем на 2 единицы вопрос выносился на обсуждение.

4 этап. По итогам работы экспертной группы был сформирован профиль идеального метода, полностью отвечающего всем требованиям как технико-технологического, так и организационно-экономического обоснования. По всем параметрам данный метод получил оценку в 10 баллов. Стоит отметить, что балльный метод является гипотетическим и необходим в предлагаемой методике для относительной оценки других методов, участвующих в исследовании.

5 этап. Для определения веса каждого из параметров была сформирована матрица попарных сравнений (табл. 4). Для формирования данной матрицы проводится попарная оценка параметров, выявляется более важный в сравниваемой паре, при равнозначности параметров ставится знак «=».

Таблица 1

Достоинства и недостатки методов для контроля геометрии деталей

№	Метод	Достоинства	Недостатки
1	Контактный метод	1. Возможность применения совместно с координатно-измерительной машиной. 2. Цифровая обработка контактных измерений. 3. Погрешность измерений $\pm 0,0003$ мм. 4. Относительно небольшая стоимость измерений.	1. Снижение точности при близко расположенных микронеровностях. 2. Зависимость результатов от геометрии щупа и характера поверхности. 3. Небольшая скорость измерений. 4. Высокая погрешность измерения сложнопрофильных конструкций. 5. Невозможность применения при высоких температурах. 6. Небольшая скорость выполнения операций.
2	Коноскопический метод	1. Возможность работы с объектами сложной геометрической конфигурации. 2. Погрешность измерений $\pm 0,00015$ мм.	1. Сложность измерения поверхности с резкими перепадами высот. 2. Относительно невысокая скорость измерений. 3. Погрешность измерений $\pm 0,020$ мм. 4. Сложность и дороговизна внедрения. 5. Необходимость нанесения специального спрея для достижения необходимой погрешности измерений
3	Интерференционный метод	1. Высокая чувствительность к топографии поверхности. 2. Минимальный риск деформации исследуемой поверхности. 3. Возможность исследования больших поверхностей. 4. Получение трехмерной модели исследуемого объекта. 5. Погрешность измерений $\pm 0,0001$ мм.	1. Сложность конструкции аппарата для измерений. 2. Достаточно высокая стоимость как оборудования, так и измерений. 3. Необходимость использования специального спрея для достижения необходимой погрешности измерений.
4	Метод контроля профиля на основе технологии лидар	1. Высокая скорость измерений. 2. Достаточно высокая точность измерений. 3. Погрешность измерений $\pm 0,005$ мм.	1. Достаточно высокая стоимость как оборудования, так и измерений. 2. Эффективен для достаточно крупных метрических объектов. 3. Невозможно использовать для оценки внутренних поверхностей объекта.
5	Методы с применением лазерных триангуляционных сканеров	1. Возможность измерения объектов со сложной геометрией. 2. Погрешность измерений до $0,0039$ мм.	1. Чувствительность оборудования к внешним помехам. 2. Необходимость использования дополнительных элементов, противостоящих засветке. 3. Чувствительность к температурному режиму работы. 4. Невозможность работы при интерференции света от соседних элементов объекта.

Таблица 2

Исходные значения параметров

№	Параметры	Методы				
		Контактный	Коноскопический	Интерференционный	На основе технологии лидар	На основе лазерных триангуляционных сканеров
1	Скорость измерений	средняя	низкая	высокая	средняя	средняя
2	Погрешность измерений, мм	$\pm 0,0003$	$\pm 0,00015$	$\pm 0,0001$	$\pm 0,005$	$\pm 0,0039$
3	Возможность измерения сложной геометрии изделия	Высокая погрешность	да	Высокая погрешность	Высокая погрешность	да
4	Необходимость использования дополнительных материалов	нет	да	да	нет	да
....
n	Необходимость модернизации производственного помещения	нет	нет	да	да	да

Таблица 3

Результаты оценки методов

№	Параметры	Методы				
		Контактный	Коноскопический	Интерференционный	На основе технологии лидар	На основе лазерных триангуляционных сканеров
1	Скорость измерений	8	6	10	7	8
2	Погрешность измерений	8	6	8	10	8
3	Возможность измерения сложной геометрии изделия	8	10	6	5	10
4	Необходимость использования дополнительных материалов	10	4	4	10	2
...
n	Необходимость модернизации производственного помещения	10	8	4	6	2

Таблица 4

Матрица попарных сравнений (часть)

Параметры	Скорость измерений	Погрешность измерений	Возможность измерения сложной геометрии изделия	Необходимость использования дополнительных материалов	Необходимость модернизации производственного помещения
Скорость измерений	=	<	<	<	<
Погрешность измерений	>	=	>	=	=
Возможность измерения сложной геометрии изделия	>	<	=	=	>
Необходимость использования дополнительных материалов	>	=	<	=	=
.....
Необходимость модернизации производственного помещения	>	=	<	=	=

Далее строится квадратная матрица:

$$A = |a_{ij}|, \tag{2}$$

где i – номер строки;
 j – номер столбца.

$$a_{ij} = 1 + y, \text{ если } x_i > x_j, \tag{3}$$

$$a_{ij} = 1 - y, \text{ если } x_i < x_j, \tag{4}$$

$$a_{ij} = 1, \text{ если } x_i = x_j. \tag{5}$$

Примем $y=1$.

С учетом описанных допущений матрица парных сравнений получит вид как в таблице 5.

Далее в расчет вводится понятие «итерированная сила» порядка K параметров в виде матрицы-столбца $P(K)$, которая определяется в общем случае, как

$$P(K) = AP(K - 1), \tag{6}$$

где $K = 1, 2, \dots, m$.

Итерированная сила объекта x_i определяется, как произведение строки матрицы A на столбец матрицы $P(K)$ по формуле:

$$P_{i(k)} = \sum_{j=1}^m a_{ij} P_{j(k-1)}. \tag{7}$$

В начале расчета принимается итерированная сила $P(K) = 1$, то есть для определения $P1(K)$ берется $P1(0) = 1$:

$$P(0) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}. \tag{8}$$

Таблица 5

Числовое значение матрицы попарных сравнений

Параметры	Скорость измерений	Погрешность измерений	Возможность измерения сложной геометрии изделия	Необходимость использования дополнительных материалов	Необходимость модернизации производственного помещения
Скорость измерений	1	0	0	0	0
Погрешность измерений	2	1	2	1	1
Возможность измерения сложной геометрии изделия	2	0	1	1	2
Необходимость использования дополнительных материалов	2	1	0	1	1
...
Необходимость модернизации производственного помещения	2	1	1	0	1

Исходную матрицу A умножаем на $P(0)$, далее процесс повторяется с учетом полученной итерированной силы на предыдущем этапе. Практическую ценность в данном методе представляет так называемая нормированная итерированная сила k -го порядка i -го параметра $P_i^{отн}$

(k), именно она трактуется как значение коэффициента весомости i -го параметра. В данном исследовании оценка важности параметров определяется по описанной выше математической модели, результаты оценки приведены в таблице 6.

Таблица 6

Результаты оценки важности параметров

№	Параметры	Важность
1	Скорость измерений	0,037
2	Погрешность измерений	0,201
3	Возможность измерения сложной геометрии изделия	0,152
4	Необходимость использования дополнительных материалов	0,135
...
n	Необходимость модернизации производственного помещения	0,115

6 этап. На данном этапе был рассчитан взвешенный параметрический индекс по каждому

анализируемому методу согласно формуле, приведенной в описании шестого этапа методики. Результаты оценки приведены в таблице 7.

Таблица 7

Расчет взвешенного параметрического индекса

№	Параметры	Важность	Параметрический индекс по каждому методу				
			Контактный	Коноскопический	Интерференционный	На основе технологий лидар	На основе лазерных триангуляционных
1	Скорость измерений	0,037	0,8	0,6	0,7	1	0,8
2	Погрешность измерений	0,201	0,8	0,6	0,8	1	0,8
3	Возможность измерения сложной геометрии изделия	0,152	0,8	1	0,6	0,5	1
4	Необходимость использования дополнительных материалов	0,135	1	0,4	0,4	1	0,2
...
n	Необходимость модернизации производственного помещения	0,115	1	0,8	0,4	0,6	0,2
	Взвешенный параметрический индекс		0,64	0,48	0,44	0,53	0,41

На основе полученных расчетов можно сделать вывод, что наиболее подходящим в сложившихся технико-технологических и организационно-экономических условиях будет контактный метод измерений. Необходимо отметить, что полученный результат сравнительной оценки методов проведения контрольно-измерительных операций получен в ходе поэтапной работы с данными и экспертным сообществом, что не только повышает уровень обоснованности решения, но и снижает влияние субъективных факторов при анализе и принятии решения.

Дискуссия и выводы. Приведенный алгоритм выбора наиболее подходящего метода проведения контрольно-измерительных операций учитывает максимально количество параметров при анализе, а также позволяет включать как технические, так и организационные факторы, что, несомненно, повышает эффективность и релевантность результата. Также стоит отметить, что данный метод универсален и может быть использован для любого объекта при изменении параметров анализа. Математический механизм, заложенный в процесс определения значимости параметров, позволяет оптимизировать процесс оценки, как на балльном уровне, так и при определении значимости параметров по сравнению друг с другом. Однако, одним из немаловажных моментов является необходимость привлечения экспертного сообщества для выполнения первых трех этапов, что повышает риск субъективности оценки. Особое внимание стоит уделять формированию экспертной комиссии, а также привлекать модераторов для минимизации влияния наиболее опытных членов сообщества на мнение большинства.

Источник финансирования. Настоящее исследование выполнено научно-конструкторским бюро гражданского приборостроения акционерного общества «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова» по соглашению №16 о реализации комплексного проекта «Модернизация и внедрение в промышленное производство методики и технологических процессов для контроля геометрические размеров с целью увеличения объёмов и номенклатуры выпускаемых геодезических изделий» от 22.05.2023г. между АО «ПО «УОМЗ» и фондом технологического развития промышленности Свердловской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сеница М.О., Осипов Т.А., Комшин А.С. Разработка технических средств контроля геометрии изделий общего и тяжелого машиностроения // Приборы. 2022. № 11 (269). С. 14–21.
2. Лексутов И.С., Клюка В.П. К возможности применения линейного сканера для создания средств технического контроля геометрических параметров продольного сечения поверхности катания колеса вагона // Известия Транссиба. 2022. № 3 (51). С. 51–63.
3. Голубева О.А., Мирный В.И., Фоменко О.Н. Анализ применения координатно-измерительных машин при производстве сельскохозяйственной техники // Прогрессивные технологии и процессы : сборник научных статей 6-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 50–53.
4. Чепчуров М.С., Сумской А.М., Жигулина Ю.А., Подпрятков Д.В. Идентификация искажения формы цилиндрических деталей технологических агрегатов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. № 4 (18). С. 29–36. DOI: 10.30987/2658-6436-2022-4-29-36
5. Кузнецова Е.Ю., Подоляк О.О., Минина Е.В. Ценообразование промышленной продукции при выведении на рынок // На страже экономики. 2022. № 4 (23). С. 79–92. DOI: 10.36511/2588-0071-2022-4-79-92.
6. Загодарчук И.В., Загодарчук И.Б. Виды экономико-математических моделей и методов, используемых в ценообразовании научно-технической продукции // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2019. № 2 (2). С. 340–346.
7. Быстров О.Ф. Метод принятия решения в задачах выбора на множестве альтернатив по множеству показателей – метод БОФЭм // Экономические и социально-гуманитарные исследования. 2018. № 3 (19). С. 12–18. DOI: 10.24151/2409-1073-2018-3-12-18
8. Кудряшов В.С., Андрианова Д.Д. Групповые решения и групповое мышление в системе методов принятия управленческих решений // Экономика и управление народным хозяйством (Санкт-Петербург). 2021. № 16 (18). С. 141–147.
9. Умаржанов А.А., Абдуллозода Б.Х. Использование современной теории решения изобретательских задач для разработки эффективных инженерных конструкций // Современные наукоемкие технологии. 2019. № 6. С. 217–222.
10. Prilytskaya M.A., Murukina A.D., Podoliak O.O. Operation of high-technology product development based on functions and value // International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment 2019, ICMTME 2019. Sevastopol: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 033049. DOI: 10.1088/1757-899X/709/3/033049

11. Lavrinov D.S., Khorkin A.I., Privalova E.A. Comparative analysis of automatic methods for measuring surface of threads of oil and gas pipes // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2020. Vol. 641 LNEE. Pp. 83–96. DOI: 10.1007/978-3-030-39225-3_11

12. Li X., Li W., Xin H., Zhou J., Chen H., Chen X., Yin X., Yuan X., Ma X. Single-lens multi-mirror laser stereo vision-based system for measuring internal thread geometrical parameters // Opt. Express. 2022. №30. Pp. 47625–47646 DOI: 10.1364/OE.476796.

13. Wu Z.G., Lin Ch.Y., Chang H.W., Lin P.T. Inline inspection with an industrial robot (IIR) for mass-customization production line // Int J Mech Prod Eng Res Dev Karnataka. 2020. №20 (11). 3008. DOI: 10.3390/s20113008.

14. Бельский А.Б., Ресинец А.И., Ресинец А.А., Степанов Н.И. Сравнительный анализ основных методов и средств измерения геометрии изделий и деталей авиационной техники // Качество и жизнь. 2023. № 2 (38). С. 60–67. DOI: 10.34214/2312-5209-2023-38-2-60-67.

15. Bebikhov Y.V., Podkamenniy Y.A., Golikov V.V., Spiridonov V.M. On the issue of complex automation of mining operations in the diamond mining industry // International multi-conference on industrial engineering and modern technologies, FAREASTCON 2020. Vladivostok: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. 9271623. DOI: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271623.

Информация об авторах

Искачёв Сергей Анатольевич, руководитель программ. E-mail: mail@uomz.com. Уральский оптико-механический завод. Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Восточная, 33 Б.

Совков Александр Николаевич, главный метролог. E-mail: mail@uomz.com. Уральский оптико-механический завод. Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Восточная, 33 Б.

Яркин Андрей Леонидович, заместитель главного технолога. E-mail: mail@uomz.com. Уральский оптико-механический завод. Россия, 620100, г. Екатеринбург, ул. Восточная, 33 Б.

Подольяк Ольга Олеговна, кандидат экономических наук, доцент кафедры организации машиностроительного производства. E-mail: o.o.podoliak@urfu.ru. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Овчинникова Валентина Андреевна, директор Уральской передовой инженерной школы. E-mail: ova@urfu.ru. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Лавринов Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель департамента радиоэлектроники и связи. E-mail: d.s.lavrinov@urfu.ru. Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19.

Поступила 04.09.2023 г.

© Искачёв С.А., Совков А.Н., Яркин А.Л., Подольяк О.О., Овчинникова В.А., Лавринов Д.С., 2023

¹Iskachev S.A., ¹Sovkov A.N., ¹Yarkin A.L., ^{2,*}Podolyak O.O., ²Ovchinnikova V.A.,
²Lavrinov D.S.

¹Ural Optical and Mechanical Plant

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

*E-mail: o.o.podoliak@urfu.ru.

SELECTION OF A METHOD FOR CONTROLLING THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF PARTS IN GEODETIC PRODUCTION

Annotation. An important aspect in the production of geodetic equipment is the control and measurement of parts of the entire unit. The problem of choosing the method for controlling the geometric dimensions of parts in the production of geodesic products is raised. Simple analysis and further choice of control method do not give a clear answer which method will best suit the requirements of a particular production unit and technological process. The researchers developed an algorithm for selecting a method for controlling the geometric dimensions of parts, consisting of 6 steps. For approbation of the proposed method of analysis control and measuring operations necessary according to technological maps in the production of electronic total

stations were considered. The advantages of the algorithm presented are the consideration of the maximum number of parameters in the analysis, taking into account both technical and organizational factors. This method can be used for any object when changing the analysis parameters. The study tested the algorithm for the analysis of the most popular control methods. The first three steps of the algorithm require the formation of an expert commission, which can add subjectivity to the evaluation of the parameters of the analysis. The final steps of the control method selection algorithm are calculated. The result of the proposed method is the calculation of a weighted parametric index.

Keywords: control method, geodetic products, control and measurement operations, measurement accuracy.

REFERENCES

1. Sinica M.O., Osipov T.A., Komshin A.S. Development of technical means of geometry control of products of general and heavy engineering [Razrabotka tekhnicheskikh sredstv kontrolya geometrii izdelij obshchego i tyazhelogo mashinostroeniya]. *Pribory*. 2022. No. 11 (269). Pp. 14–21. (rus)
2. Leksutov I.S., Klyuka V.P. To the possibility of using a linear scanner to create means of technical control of geometric parameters of the longitudinal section of the rolling surface of the railcar wheel [K vozmozhnosti primeneniya linejnogo skanera dlya sozdaniya sredstv tekhnicheskogo kontrolya geometricheskikh parametrov prodol'nogo secheniya poverhnosti kataniya kolesa vagona]. *Journal of Transsib railway studies*. 2022. No. 3 (51). Pp. 51–63. (rus)
3. Golubeva O.A., Mirny V.I., Fomenko O.N. Analysis of the application of coordinate measuring machines in the manufacture of agricultural machinery [Analiz primeneniya koordinatno-izmeritel'nyh mashin pri proizvodstve sel'skohozyajstvennoj tekhniki]. *Progressivnye tekhnologii i processy : sbornik nauchnyh statej 6-j Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*. Kursk: YUgo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. 2019. Pp. 50–53. (rus)
4. Chepchurov M.S., Sumskoi A.M., Jigulina Yu.A., Podpriatov D.V. Distortion identification of the cylindrical part form of technological units [Identifikaciya iskazheniya formy cilindricheskikh detalej tekhnologicheskikh agregatov]. *Automation and modeling in design and management*. 2022. No. 4 (18). Pp. 29–36. (rus) DOI: 10.30987/2658-6436-2022-4-29-36
5. Kuznetsova E.Yu., Podoliak O.O., Minina E.V. Pricing of industrial products when entering the market [Cenoobrazovanie promyshlennoj produkcii pri vyvedenii na rynek]. *The economy under guard*. 2022. No. 4 (23). Pp. 79–92. (rus) DOI: 10.36511/2588-0071-2022-4-79-92
6. Zagodarchuk I.V., Zagodarchuk I.B. Types of economic and mathematical models and methods used in the pricing of scientific and technical products [Vidy ekonomiko-matematicheskikh modelej i metodov, ispol'zuemyh v cenoobrazovanii nauchno-tekhnicheskoy produkcii]. *Actual problems of military scientific research*. 2019. No. 2 (2). Pp. 340–346. (rus)
7. Bystrov O.F. Decision-making technique in selection tasks on the set of alternatives on the set of indicators - the BOFem method [Metod prinyatiya resheniya v zadachah vybora na mnozhestve al'ternativ po mnozhestvu pokazatelej - metod BOFem]. *Economical and social-humanitarian research*. 2018. No 3 (19). Pp. 12–18. (rus) DOI: 10.24151/2409-1073-2018-3-12-18
8. Kudryashov V.S., Andrianova D.D. Group decisions and group thinking in the system of methods for making management decisions [Grupповые resheniya i gruppovoe myshlenie v sisteme metodov prinyatiya upravlencheskih reshenij]. *The national economy and management (Saint-Petersburg)*. No. 16 (18). Pp. 141–147. (rus)
9. Umarzhanov A.A., Abdullozoda B.Kh. The use of the modern theory of inventive problem solving to develop effective engineering designs [Ispol'zovanie sovremennoj teorii resheniya izobretatel'skikh zadach dlya razrabotki effektivnyh inzhenernykh konstrukcij]. *Modern science-intensive technologies*. 2019. No. 6. Pp. 217–222. (rus)
10. Prilytskaya M.A., Murukina A.D., Podoliak O.O. Operation of high-technology product development based on functions and value. *International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment 2019, ICMTME 2019*. Sevastopol: Institute of Physics Publishing, 2020. 033049. DOI: 10.1088/1757-899X/709/3/033049.
11. Lavrinov D.S., Khorkin A.I., Privalova E.A. Comparative analysis of automatic methods for measuring surface of Lavrinov D.S., Khorkin A.I., Privalova E.A. Comparative analysis of automatic methods for measuring surface of threads of oil and gas pipes // *Lecture notes in electrical engineering*. 2020. Vol. 641. LNEE. Pp. 83–96. DOI: 10.1007/978-3-030-39225-3_11.
12. Li X., Li W., Xin H., Zhou J., Chen H., Chen X., Yin X., Yuan X., Ma X. Single-lens multi-mirror laser stereo vision-based system for measuring internal thread geometrical parameters // *Opt. Express*. 2022. No. 30. Pp. 47625–47646 DOI: 10.1364/OE.476796.
13. Wu Z.G., Lin Ch.Y., Chang H.W., Lin P.T. Inline inspection with an industrial robot (IIIR) for

mass-customization production line // Int J Mech Prod Eng Res Dev Karnataka. 2020. No. 20 (11). 3008. DOI: 10.3390/s20113008.

14. Belsky A.B., Resenets A.I., Resenets A.A., Stepanov A.A. Comparative analysis of basic methods and means of measuring the geometry of products and parts of aircraft technology [Sравnitel'nyj analiz osnovnykh metodov i sredstv izmereniya geometrii izdelij i detalej aviacionnoj tekhniki]. Quality and life. 2023. No. 2 (38). Pp. 60–67. DOI: 10.34214/2312-5209-2023-38-2-60-67. (rus)

Information about the authors

Iskachev, Sergey A. E-mail: mail@uomz.com. Ural Optical and Mechanical Plant. Russia, 620100, Ekaterinburg, st. Vostochnaya, 33 B.

Sovkov, Alexander N. E-mail: mail@uomz.com. Ural Optical and Mechanical Plant. Russia, 620100, Ekaterinburg, st. Vostochnaya, 33 B.

Yarkin, Andrey L. E-mail: mail@uomz.com. Ural Optical and Mechanical Plant. Russia, 620100, Ekaterinburg, st. Vostochnaya, 33 B.

Podolyak, Olga O. PhD. E-mail: o.o.podoliak@urfu.ru. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. Russia, 620002, Ekaterinburg, st. Mira, 19.

Ovchinnikova, Valentina A. E-mail: ova@urfu.ru. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. Russia, 620002, Ekaterinburg, st. Mira, 19.

Lavrinov, Dmitry S. E-mail: d.s.lavrinov@urfu.ru. Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin. Russia, 620002, Ekaterinburg, st. Mira, 19.

Received 04.09.2023

Для цитирования:

Искачѐв С.А., Совков А.Н., Яркин А.Л., Подоляк О.О., Овчинникова В.А., Лавринов Д.С. Выбор метода контроля геометрических размеров деталей при производстве геодезической продукции // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 10. С. 102–111. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-102-111

For citation:

Iskachev S.A., Sovkov A.N., Yarkin A.L., Podolyak O.O., Ovchinnikova V.A., Lavrinov D.S. Selection of a method for controlling the geometric dimensions of parts in geodetic production. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 10. Pp. 102–111. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-102-111