

УДК 389.6+658.5

Е.В. Зимина, В.Н. Кайнова

РОЛЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ПОВЫШЕНИИ ПРОЕКТНОГО КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Указана значимость метрологической экспертизы (МЭ) технической документации в повышении проектного качества изделий. Выполнен анализ типовых ошибок КД, обнаруженных при МЭ машиностроительных чертежей. Отмечена необходимость решать вопросы МЭ в САД-системах.

Ключевые слова: проектное качество, техническая документация, единство измерений, контролепригодность, геометрические параметры, нормы точности, взаимоувязка назначаемых параметров, погрешности измерения, выбор средств измерения, затраты и потери на качество.

Метрологическая экспертиза (МЭ) – анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе [1].

Метрологическую экспертизу технической документации проводят путем анализа и оценивания технических решений в части метрологического обеспечения (технических решений, касающихся измеряемых параметров, установления требований к точности измерений, выбора методов и средств измерений, их метрологического обслуживания) [2].

Принято различать проектное качество, производственное и эксплуатационное. Потребитель оценивает эксплуатационное качество, которое закладывается на этапе проектирования, а создается на этапе производства. Очень важно на этапе проектирования устранить все недостатки и повысить проектное качество, обеспечив контролепригодность, безопасность и надежность эксплуатации изделия. В проектные документы включают практически все основные параметры функционального назначения изделия, а также требования к метрологическому обеспечению изделия как на этапах производства, так и на этапах сертификационных и инспекционных испытаниях [3].

Знаменитый авиаконструктор А.А. Туполев указывал на важность повышения проектного качества, отмечая: «Чем дальше от доски конструктора обнаруживается ненадежность, тем дороже она обходится» [4].

Изменения в техническую документацию необходимо вносить на первых этапах (при метрологической экспертизе, технологической проработке, нормоконтроле) жизненного цикла изделия, а не в условиях крупносерийного, массового производства. Установлено, что ухудшение качества в n раз приводит к увеличению затрат на исправление дефектов в $\langle 10^n \rangle$ раз, т.е. действует правило 10-кратного увеличения затрат на исправление несоответствий (ошибок, дефектов) от проекта к готовому изделию (рис. 1).

В отраслях машиностроения (приборостроения) большой объём составляют измерения геометрических параметров. Точность геометрических параметров деталей характеризуется точностью размеров, шероховатостью, формой и расположением поверхностей, обеспечение которых технологически взаимозависимо. Увеличение нагрузок, скоростей, рабочих температур, характерных для современных машин и приборов, усиливает воздействие этих параметров на работоспособность и долговечность машин.

Анализ опыта проведения МЭ машиностроительных чертежей показал наличие следующих типовых ошибок в КД:

1) допуски формы на ответственных поверхностях назначаются конструктором без увязки с допуском размера, без учета жесткости конструкции детали, определяемой соотношением $L/2d$, или часто отсутствуют совсем;

2) допуски расположения задаются необоснованно, без учета условий работы или они неконтролепригодны ввиду неправильного выбора базовой поверхности (грубо обработанной и малой длины по сравнению с контролируемой);

3) при нормировании шероховатости поверхности не обеспечиваются минимально необходимые требования по параметру R_a , что может привести к дополнительной погрешности измерения;

4) не соблюдаются соотношения между допуском размера и геометрическими допусками, (формы и расположения поверхностей), а также требованиями к шероховатости поверхности;

5) задается большая номенклатура контролируемых параметров (общие допуски мало применяются);

6) выбор средств измерений (СИ) производится необоснованно, применяются не соответствующие СИ, что может привести к недостоверным результатам измерений и значительным потерям.

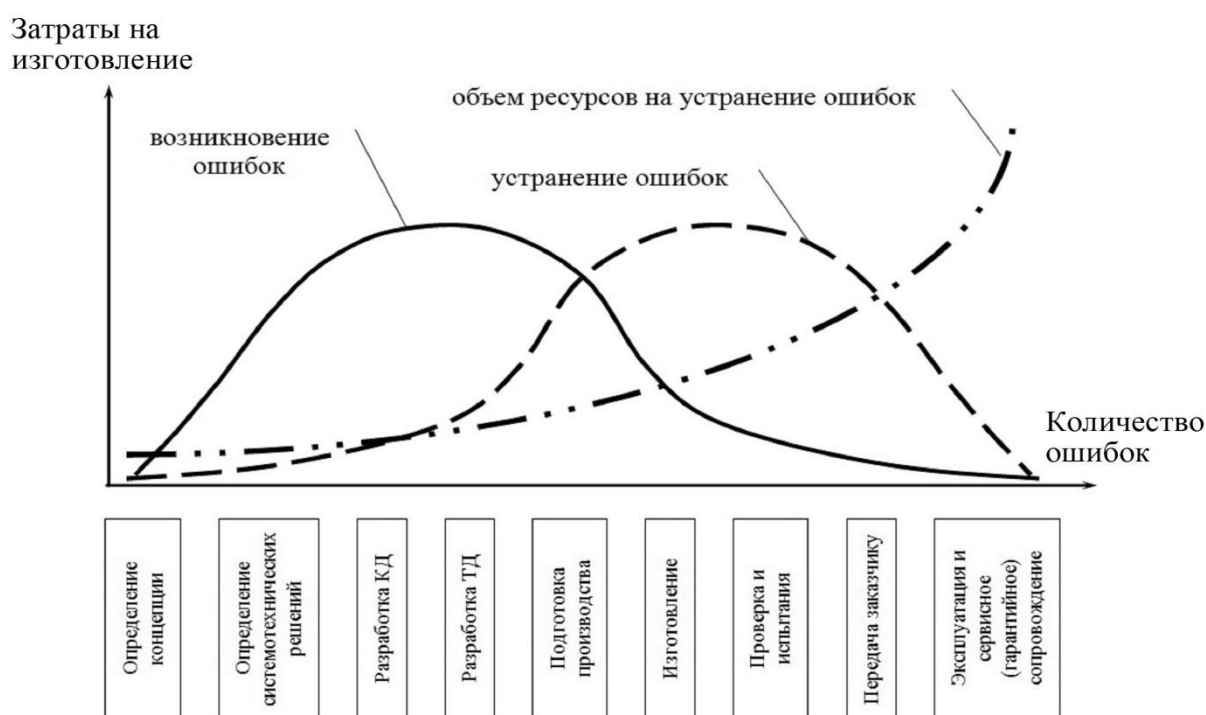


Рис. 1. Роль нормоконтроля и метрологической экспертизы в повышении качества изделия и сокращении затрат на устранение несоответствий

При выполнении МЭ важной задачей является контролепригодность конструкции детали (изделия), которая оценивается по исключению факторов, влияющих на увеличение погрешности измерения (погрешности базирования, погрешности метода и средства измерения, погрешности от шероховатости контролируемой поверхности и др.).

С целью уменьшения погрешности базирования должен соблюдаться принцип единства баз, т.е. измерительная база должна быть конструкторской, технологической и эксплуатационной. При нарушении принципа единства баз необходимо выполнять расчет размерной цепи, связывающей эти базы. У одной детали необходимо иметь минимальное количество баз, т.к. иначе сложнее и дороже контроль, а также больше погрешности измерения. Если на чертеже несколько баз, то они должны быть связаны допусками расположения [5].

Измерительная база должна быть материально оформлена, иметь достаточную протяженность, высокую точность обработки по размерам, форме и шероховатости поверхности. Погрешность базирования является одной из систематических составляющих суммарной по-

грешности измерения. Ее величина зависит от точности изготовления базовой поверхности, т.е. от допуска на размер, допуска формы поверхности при базировании вала на призмы, смещения центров при использовании в качестве базы оси центров, величины зазора при базировании на оправку.

Фактическая (реальная) погрешность базирования должна быть меньше или равна допускаемой погрешности базирования по условию (1), которая определяется расчетным методом по конкретным заданным параметрам по формуле (2) или по ГОСТ 28187-89 [6].

Фактическая погрешность базирования зависит от схемы базирования (в центрах, на призме, на оправке, по плоскости или др.), от точности выполнения базовой поверхности, от соблюдения принципа единства баз, жесткости конструкции детали и приспособления и от других факторов.

$$\delta_{\text{баз}} \leq [\delta_{\text{баз}}], \tag{1}$$

где $\delta_{\text{баз}}$ – погрешность базирования по реальной поверхности базы; $[\delta_{\text{баз}}]$ – допускаемая погрешность базирования.

$$[\delta_{\text{баз}}] = (0,2 \div 0,3) T_p L_{\text{баз}} / L_{\text{контр}}, \tag{2}$$

где $L_{\text{баз}}$ – длина базовой поверхности; T_p – контролируемый допуск расположения; $L_{\text{контр}}$ – длина контролируемой поверхности.

Если неравенство нарушено, то указанный допуск расположения T_p является неконтролепригодным. Необходимо повысить точность базы (уменьшить допуск размера базовой поверхности детали $T_{\text{баз}}$ и задать допуск формы поверхности) или увеличить допуск расположения T_p , заданный чертежом.

Рассмотрим на примере детали «Вал» (рис. 2).

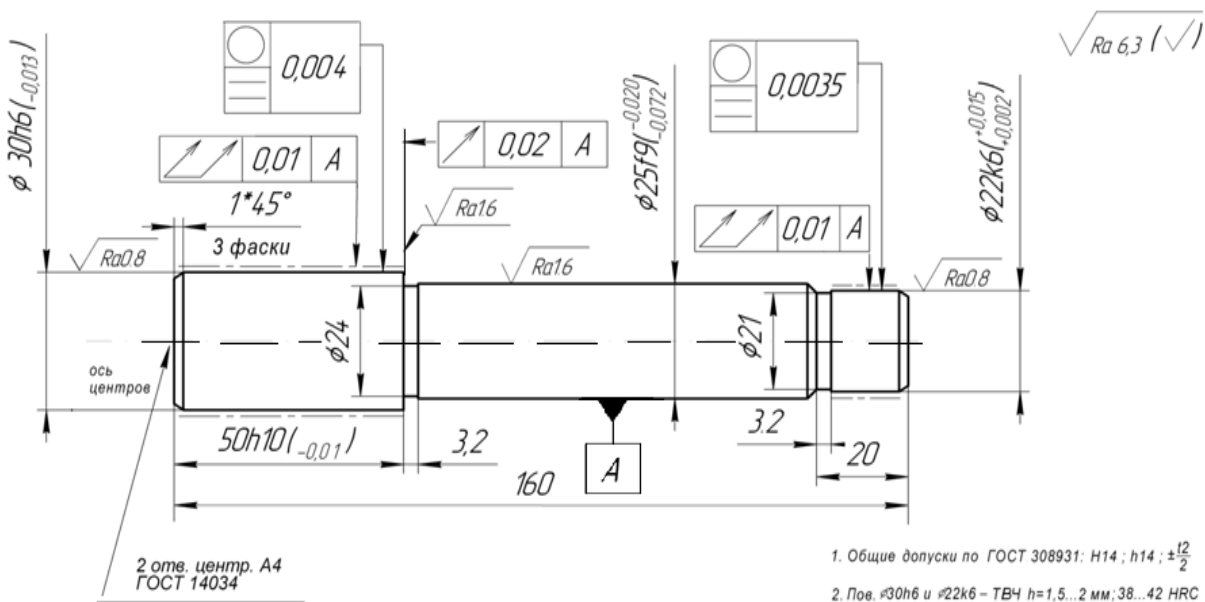


Рис. 2. Вал

Для допусков радиального и торцового биений вала на рис. 1 задана измерительная база А – $\varnothing 25f9 \begin{smallmatrix} -0.020 \\ -0.072 \end{smallmatrix}$ с допуском $T_{\text{баз}} = 0,052$ мм. При измерении биения поверхностей вала с установкой на призмы (ножи) следует принять:

$$\delta_{\text{баз}} = T_{\text{ф}},$$

где $T_{\text{ф}}$ – допуск формы базовой поверхности не ограничен, его можно принять, как общий допуск, равный половине допуска на размер, т.е. $T_{\text{ф}} = 0,5T_{\text{баз}} = 0,026$ мм или 26 мкм.

При установке вала на призму принимают: $L_{\text{баз}}$ равна длине ступени вала, расположенной на призме; $L_{\text{кнтр}}$ равна длине контролируемой ступени вала для радиального биения, а для торцового биения - радиусу контролируемого торца $L_{\text{кнтр}} = d/2$.

Выполнен расчет допустимой погрешности базирования вала по формуле (2) при измерении заданного допуска радиального биения $T_p = 10$ мкм поверхности $\varnothing 30h6$ на длине $L_{\text{кнтр}} = 50$ мм, при длине $L_{\text{баз}} = 160 - 50 - 20 = 90$ мм.

$$[\delta_{\text{баз}}] = 0,2 \cdot 10 \cdot 90 / 50 = 3,6 \text{ мкм.}$$

Расчетная (требуемая) погрешность базовой поверхности 3,6 мкм в несколько раз меньше заданного допуска $T_{\text{баз}} = 52$ мкм и допуска формы базовой поверхности $T_{\text{ф}} = 26$ мкм. Условие (1) не выполняется, $26 > 3,6$. Поверхность, выполненная по 9 квалитету не может быть принята за базу при контроле поверхностей более точного 6 квалитета. Следовательно, необходимо ужесточить требования к базовой поверхности, либо выбрать другую базу. Если деталь имеет технологическую базу – ось центров, то рационально ее принять за измерительную базу, т.е. соблюдать принцип единства баз.

Если базой служит ось центров, то расчет по формуле (2) выполнять нельзя, так как ось не материальная база. В приспособлениях с центрами должны быть заданы и периодически контролироваться погрешности на взаимное расположение центровых бабок (параллельность направляющих, перекос осей). При базировании детали в центрах величина смещения линии измерения зависит от перекоса центров ($\Delta_{\text{ц}}$), диаметра детали (d) и расстояния между центрами (длиной детали – L):

$$\delta_{\text{баз}} = \Delta_{\text{ц}} d/L \quad (3)$$

Выполнен расчет при базировании вала в центрах. Допускаемая погрешность измерения по ГОСТ 28187-89 при измерении заданного радиального биения $T_p = 10$ мкм составляет $[\delta_{\text{баз}}] = 3,5$ мкм, перекос центров задан $\Delta_{\text{ц}} = 0,01$ мм.

Погрешность базирования вала в центрах по формуле (3):

$$\delta_{\text{баз}} = 0,01 \cdot 30 / 160 = 0,002 \text{ мм} = 2 \text{ мкм.}$$

Следовательно, заданный допуск по условию (1) контролепригоден ($2 < 3,5$). Для обеспечения соблюдения принципа единства баз на чертеже рекомендовано принять в качестве измерительной базы ось центров вала.

Основные задачи метрологического обеспечения любого объекта: **что измерять и чем измерять?**

Выбор средств измерений зависит от большого количества факторов, которые необходимо учитывать [5]. Условно их можно разделить на три группы.

1. Организационно-технические факторы зависят от специфики производства (типа производства, стабильности техпроцесса, обеспечения полной или групповой взаимозаменяемости и т.п.). Формы контроля могут быть в виде сплошного 100%-го контроля всех деталей (для единичного, мелкосерийного производства, нестабильного техпроцесса, групповой взаимозаменяемости) и в виде выборочного, статистического контроля (для крупносерийного, массового производства, полной взаимозаменяемости, стабильного техпроцесса). Универсальные средства измерений находят широкое применение во всех типах производства, так как имеют низкую себестоимость. Производительность операций контроля при этом также низкая. Применение специальных средств измерения должно быть экономически обосновано.

2. Конструктивные параметры изделия (габариты, масса, жесткость конструкции, конструктивные особенности, доступность к точкам контроля и контролируемый размер) также существенно влияют на выбор методов и средств измерения. Могут быть использованы контактные и бесконтактные, абсолютные и относительные, прямые и косвенные методы измерений, а также стационарные и переносные средства измерений (для крупногабаритных деталей).

Для деталей нежесткой конструкции необходимо применять бесконтактные методы

измерений. Косвенные методы используются в том случае, если непосредственное измерение размера невозможно. Применяются различные средства измерений для деталей типа вал, втулка (отверстие), зубчатое колесо, резьбовая деталь и так далее.

3. Метрологические характеристики средств измерений (цена деления, пределы или диапазон измерения, погрешность и класс точности), которые необходимо согласовывать с контролируемыми параметрами изделия. Для всех видов измерений установлено, что погрешность измерения не должна превышать 20 или 35 процентов от контролируемого допуска или цена деления шкалы СИ должна быть равна $(1/6 \dots 1/10)T$.

До начала процесса измерения должны быть приняты меры по исключению возможных систематических погрешностей (соблюдать температурный режим, проверить наличие свидетельства о поверки или калибровки СИ и другие меры). Если систематическая погрешность (инструментальная) является доминирующей, то измерение достаточно выполнить один раз. Однократные измерения наиболее часто встречаются при техническом контроле изделий машиностроения. При выполнении однократных измерений прямым методом погрешность результата определяется инструментальной погрешностью с вероятностью $P=0,95$, при которой выполняется поверка средств измерений.

Выбор средств измерений для однократных измерений заключается в сравнении инструментальной систематической погрешности – Δ (РД 50-98-86) [9] с допускаемой погрешностью измерения – $[\delta_{\text{баз}}]$ (ГОСТ8.051-81) [10], в установлении приемочных границ и приемочного процента риска.

Необходимо соблюдать условие $\Delta \leq [\delta_{\text{баз}}]$.

Если случайная погрешность больше (доминирует) систематической, то необходимо выполнять многократные измерения, а погрешность среднего арифметического должна быть меньше инструментальной погрешности СИ. Выбор необходимого числа измерений производится таким образом, чтобы инструментальная погрешность определяла точность результата. При выполнении многократных измерений прямым методом погрешность результата уменьшается в \sqrt{n} раз, где n – число выполненных измерений. После обработки результатов измерений ответ должен содержать среднее арифметическое значение, доверительный интервал и доверительную вероятность P .

Погрешности измерений являются источником неблагоприятных событий, таких как экономические потери из-за брака, возможность травматизма, загрязнение окружающей среды и т.д. Повышение точности измерений снижает размеры этих последствий, однако требует вложения дополнительных затрат. Применяемые средства измерения должны обеспечить оптимальное значение погрешности измерения, т.е. необходимо оценивать затраты на измерения и потери от ложного брака (рис. 3).

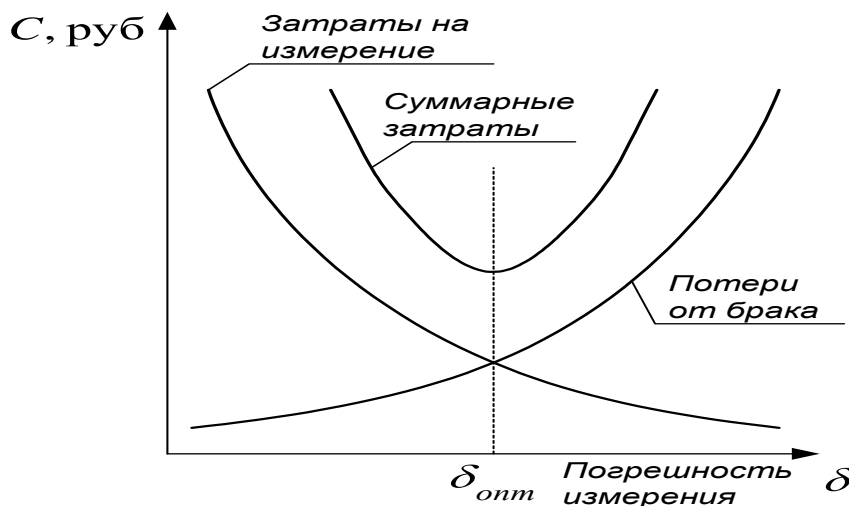


Рис. 3. Влияние погрешности измерения на стоимость изделий

Ориентировочный расчет потерь за счет погрешности измерения:

$$П = \delta_{\text{изм}}^2.$$

Ориентировочный расчет затрат на измерения:

$$З = 1 / \delta_{\text{изм}}.$$

Потери производства пропорциональны квадрату погрешности измерения, а затраты обратно пропорциональны ей [2]. Увеличение погрешности в два раза приводит к увеличению потерь в 4 раза, а затраты на измерения уменьшаются лишь на 50%.

Метрологическая служба предприятия контролирует правильность выбора и эксплуатации средств измерений, осуществляет поверку (калибровку) и аттестацию средств измерений.

Метрологи-эксперты должны разбираться как в вопросах метрологии, так и в проектных и производственных требованиях и задачах. Рассмотрение вопросов и задач, решаемых при метрологической экспертизе технической документации, показывает, что метролог-эксперт должен ориентироваться в большом объеме разных критериев и методов оценки, нормативных документах по вопросам метрологии, ЕСКД и ЕСТД.

Анализ возможностей современных САД-систем показал, что существующие САД системы не обеспечивают конструкторскую, технологическую и метрологическую поддержку разработчика при проектировании деталей [7, 8]. В САД-системах есть встроенные библиотеки для выбора допусков размеров, формы, расположения, параметров шероховатости. Конструктор выбирает допуски из предлагаемого списка, отклонения при этом проставляются автоматически. Но в системах отсутствует проверка взаимосвязки назначаемых параметров системой, автоматический выбор или расчет поля допуска по виду поверхности и ее размеру, условиям работы для обеспечения зазора, натяга в соединении поверхностей и т.д.

Все это приводит к ошибкам в рабочих чертежах, неправильному составлению технологии изготовления, к доработкам документации, потере времени при подготовке производства и снижению качества выпускаемых изделий.

Автоматизация проработки чертежей значительно облегчит труд проектировщика, метролога-эксперта, сократит затраты времени и повысит качество конструкторской документации.

Выводы

1. Метрологическая экспертиза технической документации, так же, как и нормоконтроль, позволяет повысить проектное качество создаваемых изделий, что в свою очередь сокращает затраты на производство и в дальнейшем на эксплуатацию сложных технических систем.

2. Основные вопросы метрологического обеспечения любого объекта: **что измерять и чем измерять?**

3. При выполнении МЭ важной задачей является оценка контролепригодности конструкции детали (изделия).

4. Потери производства пропорциональны квадрату погрешности измерения, а затраты обратно пропорциональны ей.

5. Выполнение МЭ в системе САД является перспективным направлением развития работ по автоматизация интеллектуального труда.

Библиографический список

1. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений: федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ: принят ГД ФС РФ 11.06.2008: ред. от 27.07.2014 // Консультант – Плюс. – Электрон. дан.
2. РМГ 63-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации.
3. Метрологическая экспертиза технической документации / Ю.Р. Яковлев [и др.]. – М.: Изд-во стандартов, 1992.

4. Сертификация сложных технических систем / Л.Н. Александровская [и др.]; под ред. В.И. Круглова: учеб. пособие.– М.: Логос, 2001. – 312 с.
5. **Кайнова, В.Н.** Метрологическое обеспечение машиностроительного производства: учеб. пособие / В.Н. Кайнова [и др.]; НГТУ. – Н. Новгород, 2003.
6. ГОСТ 28187-89 «Основные нормы взаимозаменяемости. Отклонения формы и расположения поверхностей. Общие требования к методам измерений».
7. **Андреев, В.В.** Автоматическое формирование массива конструктивно-технологических признаков деталей интеллектуальной информационной системой / В.В. Андреев, Е.В. Тесленко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. – №3. – С. 170–174.
8. **Андреев, В.В.** Интеллектуальная информационная система технологического проектирования в САД-системах / В.В. Андреев, Е.В. Тесленко // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – №6. – С. 90–92.
9. РД 50-98-86 Руководящий нормативный документ. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. (По применению ГОСТ 8.051-81).
10. ГОСТ 8.051-81 ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.

*Дата поступления
в редакцию 25.10.2015*

E.V. Zimina, V.N. Kaynova

THE ROLE OF METROLOGICAL EXPERT EXAMINATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION TO IMPROVE PROJECT QUALITY

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose analysis of the significance of metrological examination of design documentation in improving design quality engineering products. Consideration is metrological expertise of working drawings in which the designer performs the valuation accuracy of the parameters of the functional purpose of products. Metrologist-expert checks the validity of job parameters and ensure their testability.

Methodology/ approach the analysis of the typical errors of design documentation identified in metrological expert examination of engineering drawings.

Research limitations/implications identified in metrological expertise inconsistencies reduce the cost of their removal in subsequent stages of production.

Originality/value the machine-building enterprises are recommended to ensure the quality of products with the release of design documentation to enhance the role of Metrology expert and enter his signature in the sheet format. The implementation of metrological expertise in the CAD system is a promising direction of development of works on automation of intellectual labor.

Key words: project quality, design documentation, the unity of measurements, the testability, geometrical parameters, standards of accuracy, the integration of assignable parameters, measuring error, the choice of means of measurement, the costs and losses in quality.