

*А. В. Глубоков, Т. С. Ястребова*

## ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫБОРА УНИВЕРСАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ

*A. V. Glubokov, T. S. Yastrebova*

## PROBLEMS OF AUTOMATION OF THE SELECTION OF UNIVERSAL MEASURING INSTRUMENTS OF LINEAR DIMENSIONS

**А н н о т а ц и я. Актуальность и цели.** Объектом исследования является процедура выбора средств измерений линейных размеров согласно утвержденной нормативной документации и существующим автоматизированным системам метрологического обеспечения производства. Выбор средств измерений является одной из основных задач этапа проектирования процесса измерений, поэтому повышение производительности данного процесса является актуальной задачей. Целью работы является определение требований к работе автоматизированной системы выбора средств измерения линейных размеров. **Результаты.** Предложены пути устранения недостатков утвержденной методики выбора средств измерений линейных размеров. В качестве решения проблемы предложено создание новой автоматизированной системы, которая позволит в значительной мере повысить производительность работ. Разработаны принципы построения автоматизированной системы. **Выводы.** Анализ литературных источников, нормативной документации и автоматизированных систем в отношении выбора универсальных средств измерений линейных размеров показал, что в существующей утвержденной методике выбора средств измерений имеется ряд существенных недостатков. Список средств измерения требует обновления в соответствии с современным уровнем развития измерительной техники. Необходимо определение оптимальности выбора средства измерения. Процедура выбора средств измерений не учитывает специфику измеряемой поверхности, в том числе особенности конструкции детали и средств измерений.

**A b s t r a c t. Background.** The object of the research is the procedure for selecting measuring instruments of linear dimensions in accordance with the approved regulatory documentation and existing automated systems for metrological support of production. The choice of measuring instruments is one of the main tasks of the design stage of the measurement process, therefore, increasing the productivity of this process is an important task. The aim of the work is to determine the requirements for the operation of an automated system for the selection of measuring linear dimensions. **Results.** The ways of elimination of the found disadvantages are offered. As a solution to the problem proposed to create a new automated system that will significantly improve the productivity of the works. The principles of constructing the automated system are developed. **Conclusions.** The analysis of literature sources, normative documentation and automated systems for the selection of the universal measuring instruments of linear dimensions has been carried out, which showed that the existing approved method for selecting measuring instruments has a number of significant drawbacks. The list of measuring instruments requires updating in accordance with the current level of development of measuring technology. It is necessary to determine the optimality of the selection of the measuring instrument. The selection procedure of measuring instruments does not consider the specifics of the measured surface, details of construction and the measuring instruments as well.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** выбор средств измерений, автоматизация, метрологическое обеспечение, измерение линейных размеров.

**Key words:** selection of measuring instruments, automation, metrology support, measuring of linear dimensions.

В современном мире, где качество является одним из определяющих показателей конкурентоспособной продукции, предъявляются жесткие требования к процессам контроля продукции на различных стадиях ее изготовления. Наряду с высоким качеством продукции требуется сокращение временных затрат на подготовку производства. Использование автоматизированных систем способно значительно ускорить процесс выполнения ряда производственных процессов, а также снизить вероятность возникновения ошибок [1–3].

Вопросы автоматизации метрологического обеспечения производства на данном этапе решены только частично [4]. Большинство существующих автоматизированных систем метрологического обеспечения производства (АСМО) решают лишь вопросы учета средств измерений предприятия, контроля графика проведения поверок и калибровок [5]. Этапы планирования требований к измерениям, проектирования и разработки процессов измерений остаются незатронутыми. Одной из основных задач этапа проектирования процесса измерений является выбор средств измерений (СИ).

В существующих автоматизированных системах метрологического обеспечения вопросы выбора СИ практически не затрагиваются. Можно отметить систему «ОТК-Метролог», разработанную МГТУ «СТАНКИН» совместно с АО «НИИ измерения», в которой реализованы функции выбора средств измерений на основе утвержденной методики [6]. Существует также ряд программных продуктов по выбору средств измерений [7–10], но при этом нельзя говорить о комплексном решении этой проблемы.

Рассмотрим процедуру выбора универсальных СИ линейных размеров, которая предусмотрена нормативной документацией.

Национальным стандартом, устанавливающим допускаемые погрешности измерений линейных размеров до 500 мм, а также правила определения приемочных границ с учетом этих погрешностей, является ГОСТ 8.051-81 [11]. Информация о допускаемых погрешностях измерений в данном стандарте формализована в виде таблицы. Значения допускаемой погрешности заданы в зависимости от номинального размера и допуска на изготовление. При этом установленные в стандарте значения допускаемых погрешностей измерений учитывают не только погрешности самих СИ, но и погрешности, возникающие от других источников, которые так или иначе оказывают влияние на результат измерений (базирование, температурные деформации и т.д.). Данный стандарт довольно подробно рассматривает вопросы влияния погрешности измерения на результаты разбраковки при приемочном контроле. Определены вероятности появления неправильно принятых деталей, неправильно забракованных деталей и вероятностная величина выхода размера за предельные значения у неправильно принятых деталей.

Позднее были выпущены методические указания РД 50-98-86 по применению ГОСТ 8.051-81, предусматривающие рекомендации по выбору средств измерений линейных размеров (диаметров, длин), величин радиального и торцевого биения в диапазоне размеров до 500 мм [12].

В методических указаниях собраны сведения о предельных погрешностях измерения различными универсальными СИ внутренних размеров, наружных размеров, величин биения при разных условиях их применения. При этом приводится детальная информация об условиях проведения измерений и используемой оснастке (температурный режим, шероховатость поверхности, необходимость использования штативов, стоек и т.д.). В методических указаниях рассмотрены основные составляющие погрешности измерений: погрешности, зависящие от самих СИ; погрешности от измерительного усилия; погрешности от температурных деформаций; различные специфические погрешности от измерения внутренних размеров; субъективные погрешности или погрешности от оператора. Это та информация, которой необходимо обладать при проведении измерений, с тем, чтобы погрешности, получаемые при измерениях, не превышали допускаемых значений. Выбор СИ осуществляется по таблицам исходя из номинального размера и допуска на изготовление детали.

В ходе рассмотрения РД 50-98-86 был выявлен ряд недостатков методических указаний. Одним из недостатков является то, что в нормативном документе приведен ограниченный список типовых СИ без учета специальных. Существует несовпадение диапазонов номинальных размеров при нормировании точности с типоразмерами СИ. Это в свою очередь приводит к наличию в таблицах методических указаний СИ, которые могут не полностью обеспечивать диапазон номинальных размеров. По итогу выбора предлагается весьма ограниченный список подходящих СИ. При условии, что чаще всего подходящих СИ оказывается несколько, встает вопрос оптимальности выбора СИ, который также не рассмотрен в рекомендациях. И наконец, самым важным недостатком является то, что данная процедура выбора СИ не учитывает специфику измеряемой поверхности, особенности конструкции детали и СИ.

Проведем анализ обнаруженных недостатков и сформулируем возможные пути их устранения.

Таблица, в которой перечислены СИ, содержит в себе ограниченный список типовых СИ. Такое резкое сокращение количества типов СИ, приведенных в РД 50-98-86, было вызвано тем, что все расчеты и обработка большого объема информации проводились вручную. Острая необходимость в минимизации объема информации была неизбежна. При разработке нормативного документа это было оправдано. Применялись в основном отечественные СИ, и их номенклатура была ограничена. На современном этапе используется большое количество СИ зарубежных фирм, которые могут значительно отличаться друг от друга по метрологическим характеристикам. Кроме того, с момента ввода РД 50-98-86 список типовых СИ значительно расширился за счет современных, обладающих более широкими техническими возможностями, имеющими более высокую точность. К примеру, наряду с нониусными штангенциркулями появились штангенциркули с цифровым отсчетом, погрешность измерения которых существенно ниже. В табл. 1 приведены метрологические характеристики нониусного штангенциркуля ШЦ-1 производства ООО Научно-производственного предприятия «Челябинский инструментальный завод» и цифрового штангенциркуля SHAN производства Guilin Measuring & Cutting Tool Co. Ltd, КНР.

Таблица 1

Метрологические характеристики штангенциркулей

Метрологические характеристики	Нониусный штангенциркуль	Цифровой штангенциркуль
Цена деления или дискретность отсчета, мм	0,05	0,01
Диапазон измерений, мм	0–150	0–150
Погрешность, мм	±0,05	±0,02

Увеличение номенклатуры СИ возможно учесть двумя путями.

При первом подходе необходимо обновить список типовых СИ, перечисленных в РД 50-98-86, при этом создать отдельный список для специализированных СИ. Для близких по точности СИ следует определять средние значения погрешности измерений.

При втором подходе следует отказаться от обезличенных типовых СИ, а использовать реально существующие СИ. В качестве информационной базы СИ можно использовать типы СИ, внесенные в Государственный реестр средств измерений. Поскольку данный подход приводит к резкому увеличению объема информации, то возникает необходимость проведения анализа погрешности измерений для всех типов СИ. Определение значений предельной погрешности измерений возможно с использованием информации со стороны производителей или из нормативной документации. Для отечественных СИ информация достаточна [13–15], но во многих случаях, особенно для иностранных СИ, эта информация не полна. Для типовых СИ, приведенных в РД 50-98-86, подобный анализ проведен, и его результаты можно использовать при определении значений погрешности различных СИ, так как значения во многих случаях отличаются незначительно.

Одним из недостатков таблиц выбора СИ является несовпадение диапазонов номинальных размеров при нормировании точности размеров с типоразмерами СИ. При ручном выборе СИ, пользуясь таблицами выбора СИ, есть вероятность, что результатом выбора станут СИ, не полностью обеспечивающие возможность измерения диапазона номинальных размеров. Такие

СИ были отмечены символом «\*». Причиной такого намеренного увеличения интервалов номинальных размеров авторами методических указаний также стала необходимость минимизации итоговой информации, приводимой в самом нормативном документе.

В качестве решения данной проблемы предлагается увеличить количество интервалов номинальных размеров, чтобы привести в соответствие интервалы номинальных размеров, приведенных в таблицах выбора СИ, с типоразмерами СИ. Это увеличит объем хранимой информации, но при разработке автоматизированной системы упростит структуру базы данных и снизит неопределенность выбора СИ.

Еще одним из недостатков является весьма ограниченный набор СИ, которые рекомендованы для измерений при заданных параметрах согласно таблицам выбора. При этом имеется комментарий о том, что возможно использование без ограничений более точных СИ. Реальное же количество СИ, которые подошли бы для тех или иных измерений, гораздо больше. И нужно отметить, что в ряде случаев выбор более точного СИ является нецелесообразным с экономической точки зрения, а в некоторых ситуациях, наоборот, более точное СИ может быть удобнее и проще в эксплуатации.

При разработке автоматизированной системы не существует проблемы вывода всех СИ, которые подходят для заданных требований. При этом возникает вопрос о том, как группировать подходящие СИ по итогам подбора, какие параметры выделять в качестве основы для группирования СИ.

Поскольку подходящих СИ чаще всего оказывается несколько, встает вопрос об оптимальности выбора. Понятие оптимальности выбора не рассмотрено в методических указаниях, поэтому возникает необходимость проведения исследования на эту тему с целью выделения параметров, определяющих оптимальность выбора СИ при конкретных условиях проведения измерений.

В методических рекомендациях выбор СИ осуществляется исходя из требований точности размера детали (кавалитета) и номинального размера. Важным недостатком при этом является то, что особенности конструкции детали и СИ не учитываются.

Рассмотрим процесс выбора СИ согласно методическим рекомендациям на примере измерения с помощью штангенциркуля.

В рекомендациях учитывается только погрешность измерения штангенциркулем исходя из цены деления. В то же время при некоторых измерениях данным СИ, к примеру, измерениях диаметра цилиндрической поверхности, необходимо учитывать вылет губок штангенциркуля. Если диаметр измеряемой детали будет больше, чем  $2 \cdot a$  (рис. 1), то проведение измерения невозможно. В качестве примера также можно привести измерения ступенчатых отверстий, при которых важным является размер «с» (рис. 1). Если измеряемый параметр будет находиться на глубине, превышающей размер «с», то проведение измерения также невозможно.

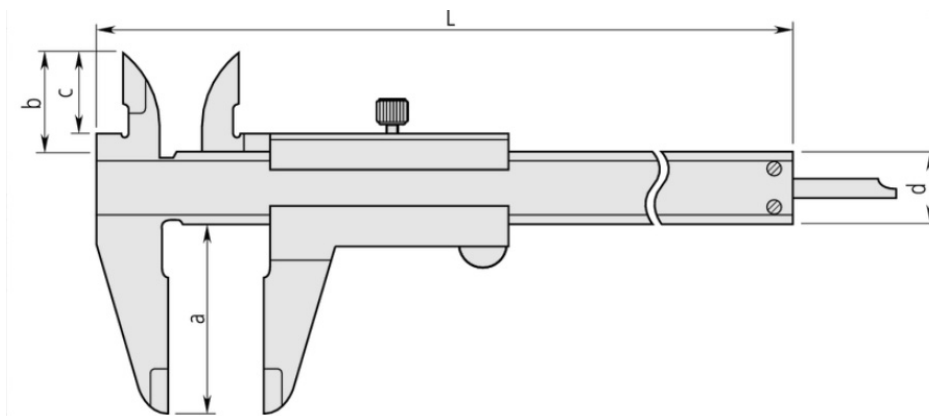


Рис. 1. Эскиз штангенциркуля

На данном этапе существует огромное количество специализированных СИ, значительно расширяющих функциональные возможности типовых СИ. Появилось огромное количество специальных СИ, которые имеют конструкцию, позволяющую проводить измерения в труднодоступных местах.

В связи с этим возникает необходимость учета специфики измеряемой поверхности и ограничений, накладываемых на особенности конструкции выбираемого средства измерения. Для этого необходимо решить задачи выделения и классификации параметров измеряемой поверхности и СИ, которые могут повлиять на дальнейший выбор СИ.

Для приведенного выше примера измерений штангенциркулем определяющими параметрами объекта измерений будут: вид измеряемого размера (наружный, внутренний, выступ, глубина); форма измеряемой поверхности (цилиндрическая, плоская, сферическая); номинальный размер; наличие и размеры ограничивающих поверхностей. В качестве параметров средства измерений, способных повлиять на выбор СИ, будут выступать: тип СИ, диапазон измерений, погрешность измерений, особенности конструкции СИ (в данном случае высота губок).

Анализ утвержденной в виде нормативного документа методики выбора универсальных СИ линейных размеров, а также ряда ее реализующих автоматизированных систем показал, что на данном этапе проблема автоматизации выбора средств измерений линейных размеров до конца не решена. Существует необходимость создания новой автоматизированной системы, которая будет основываться не на обезличенных средствах измерения, а на реально существующих, включать в себя блок специализированных СИ. Итогом работы системы должен быть полный список СИ, подходящих для измерения с рекомендациями по оптимальности выбора СИ из приведенного списка. Автоматизированная система должна содержать дополнительный модуль, позволяющий определять специфику измеряемой поверхности и ограничения, накладываемые на особенности конструкции выбираемого СИ. Выполнение указанных требований позволит значительно снизить неопределенность выбора СИ при увеличении производительности работ.

#### *Библиографический список*

1. *Капитанов, А. В.* Автоматизированные управленческие системы в промышленности / А. В. Капитанов, В. И. Мишатин, Е. Г. Семячкова // Вестник МГТУ Станкин. – 2012. – Т. 2, № 1. – С. 82–84.
2. *Гришина, Т. Г.* Факторы, влияющие на оперативность управления технологическими системами / Т. Г. Гришина // Вестник МГТУ Станкин. – 2011. – № 3. – С. 167–170.
3. *Гришина, Т. Г.* Обоснованность принятия решений при управлении автоматизированным производством / Т. Г. Гришина // Вестник МГТУ Станкин. – 2012. – № 3. – С. 145–148.
4. Проблемы метрологического обеспечения подготовки производства в машиностроении / С. Н. Григорьев, В. И. Телешевский, А. В. Глубоков, С. Е. Педь, С. В. Глубокова // Измерительная техника. – 2012. – № 5. – С. 27–29.
5. *Телешевский, В. И.* Измерительная информатика в машиностроении / В. И. Телешевский // Вестник МГТУ Станкин. – 2008. – № 1. – С. 33–38.
6. *Телешевский, В. И.* Построение компьютеризированной системы метрологического обеспечения производства на базе CALS-технологий / В. И. Телешевский, П. Н. Емельянов, Е. А. Пашкин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 5. – С. 42–47.
7. *Глубоков, А. В.* Автоматизированная система метрологического обеспечения производства / А. В. Глубоков, Е. В. Ромаш, П. В. Панфилов, С. В. Глубокова // Вестник МГТУ Станкин. – 2018. – № 3. – С. 70–75.
8. *Телешевский, В. И.* Автоматизированный выбор методов и средств измерения отклонений расположения / В. И. Телешевский, А. В. Глубоков, С. В. Глубокова // Измерительная техника. – 2012. – № 6. – С. 30–33.
9. *Глубокова, С. В.* Применение нейронных сетей в задачах выбора методов измерений отклонений ориентации геометрических элементов деталей / С. В. Глубокова // Вестник МГТУ Станкин. – 2014. – № 2 (29). – С. 63–67.
10. *Глубокова, С. В.* Построение нейросетевой автоматизированной системы выбора методов измерений отклонений ориентации поверхностей детали : дис. ... канд. техн. наук / Глубокова С. В. – М., 2015. – 157 с.
11. ГОСТ 8.051-81. Погрешности, допускаемые при измерении размеров от 1 до 500 мм. – М. : Издательство стандартов, 1982. – 10 с.
12. РД-50-98-86. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 83 с.

13. *Телешевский, В. И.* Повышение точности измерений линейно-угловых размеров изделий в интеллектуальной компьютерной микроскопии / В. И. Телешевский, А. В. Шулепов, Е. М. Роздина // Вестник МГТУ Станкин. – 2011. – № 4. – С. 35–38.
14. *Телешевский, В. И.* Методы повышения точности линейных измерений на измерительных микроскопах с помощью цифровой обработки оптических изображений / В. И. Телешевский, А. В. Шулепов, А. П. Есин // Вестник МГТУ Станкин. – 2009. – № 1. – С. 102–107.
15. *Емельянов, П. Н.* Разработка эталонной координатно-измерительной машины с ЧПУ / П. Н. Емельянов, С. Е. Педь, И. Е. Холин // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2012. – Т. 10, № 8. – С. 68–73.

**Глубоков Александр Владимирович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра информационных измерительных систем  
и технологий,  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
(Россия, г. Москва, Вадковский пер., 1)  
E-mail: al-glubokov@yandex.ru

**Glubokov Alexandr Vladimirovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of information measuring systems  
and technologies,  
Moscow State Technological University "STANKIN"  
(1 Vadkovsky lane, Moscow, Russia)

**Ястребова Татьяна Сергеевна**

аспирант,  
Московский государственный технологический  
университет «СТАНКИН»  
(Россия, г. Москва, Вадковский пер., 1)  
E-mail: tatiana.yastrebova.ar.2013@yandex.ru

**Yastrebova Tatiana Sergeevna**

postgraduate student,  
Moscow State Technological University "STANKIN"  
(1 Vadkovsky lane, Moscow, Russia)

УДК 681.518.3

**Глубоков, А. В.**

**Проблемы автоматизации выбора универсальных средств измерений линейных размеров /**  
А. В. Глубоков, Т. С. Ястребова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4 (26). –  
С. 37–42. – DOI 10.21685/2307-5538-2018-4-6.