

ПРИНЦИП РАБОТЫ УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОРУДИЙНОГО СТВОЛА

Людмила Сергеевна Таранова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (913)383-09-29, e-mail: taranova97@mail.ru

Игорь Олегович Михайлов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)344-29-29, e-mail: mio@sibmail.ru

В статье представлен принцип работы измерительного устройства, в основу которого заложен нутромер, перемещающийся вдоль канала ствола при помощи системы перемещения, закрепленной на торцевой поверхности. В статье представлен принцип работы оптико-электронного модуля, который рассчитан на контактное измерение отклонений линейных размеров от эталонных. Это измерительное устройство является многофункциональным, его принцип работы направлен не только на определение диаметра ствола во множестве сечений, но и для построения его профиля с учетом искривления канала.

Ключевые слова: орудийный ствол, гладкий ствол, нарезной ствол, измерение, геометрические характеристики, оптико-электронный модуль

OPERATING PRINCIPLE OF THE DEVICE FOR MEASURING THE GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE GUN BARREL

Ludmila S. Taranova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone. (913)383-09-29, e-mail: taranova97@mail.ru

Igor O. Mikhailov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)344-29-29, e-mail: mio@sibmail.ru

The article presents the principle of operation of the measuring device, which is based on an internal gauge that moves along the barrel bore using a movement system fixed on the end surface. The article presents the principle of operation of the optoelectronic module, which is designed for contact measurement of deviations of linear dimensions from the reference ones. This measuring device is multifunctional, and is designed not only to determine the diameter of the barrel in many sections, but also to construct its profile, taking into account the curvature of the channel.

Keywords: gun barrel, smooth barrel, rifled barrel, measurement, geometric characteristics, optical-electronic module

Введение, актуальность

Начиная со второй половины прошлого века в военной технике используется два вида стволов: гладкие и нарезные [1]. Каждый вид ствола имеет свои характеристики, которые необходимо контролировать для обеспечения достаточной точности стрельбы, так как при наличии скола в стволе снаряд может отклониться от назначенной точки прицеливания [6].

Основной задачей разрабатываемого прибора является измерение диаметра ствола, глубины нарезков, а также прямолинейности оси ствола и допустимой разной толщины стенок поперечного сечения трубы по всей длине ствола [5].

В Европе измерением внутренних характеристик ствола занимается фирма FOGALE [9]. Данная фирма является производителем и разработчиком бесконтактной системы на основе конденсаторных датчиков для анализа и измерения внутренней поверхности оружейных стволов (анализ качества резьбы, измерение внешнего диаметра, калибра, получение трехмерных графиков).

Недостатком европейского прибора является неспособность измерять глубину нарезки ствола [10], а также необходимость смены головок для измерения характеристик разных типов стволов, что увеличивает затраты времени на проверку.

Актуальность данного исследования подтверждается отсутствием отечественных аналогов многофункциональных приборов, предназначенных для контроля геометрических характеристик оружейных стволов разных типов.

Целью работы, является анализ принципа работы измерительного устройства, в том числе его измерительного оптико-электронного модуля. В ходе написания статьи были использованы следующие методы для достижения цели: общенаучные методы исследования, такие как метод синтеза и анализа, а также специальные методы оплотехники.

Принцип работы измерительного устройства

Принцип работы устройства для измерения диаметра канала оружейного ствола и построения его профиля в нескольких сечениях поясняется схемой, приведенной на рис. 1.

Измерительный модуль представляет собой нутромер [4], перемещающийся вдоль канала ствола при помощи системы перемещения, закрепленной на торцевой поверхности. Система перемещения состоит из шагового двигателя [10], тросика и электронной системы, фиксирующей положение модуля по направлению l . С измерительных стержней, соприкасающихся с поверхностью ствола и являющихся элементами оптико-электронного датчика, периодически снимается информация и передается в блок обработки, где фиксируется координата положения измерительного модуля вдоль ствола и диаметр в соответствующих сечениях. Таким образом формируется массив данных диаметра, который сравнивается с полем допуска на готовое изделие. Информация может визуализироваться на мониторе компьютера.

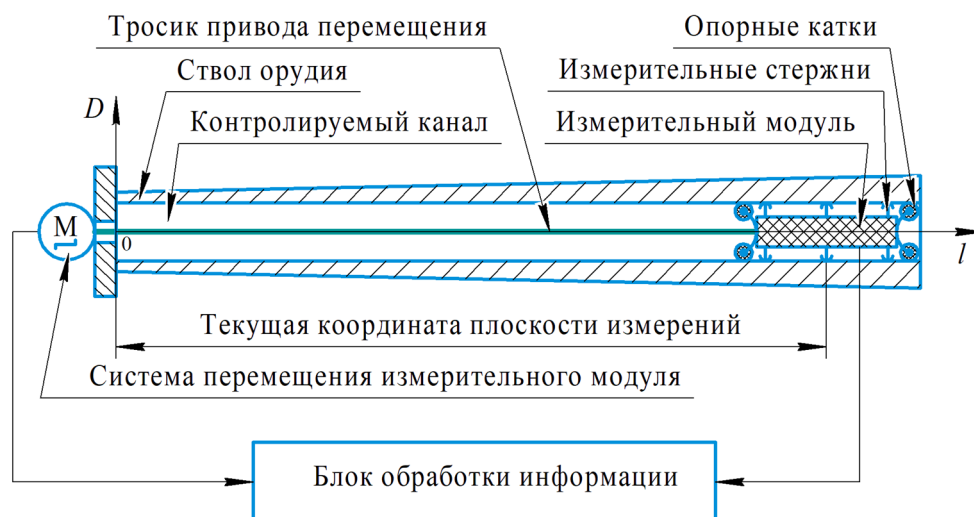


Рис. 1. Схема измерительного устройства

Перемещаясь вдоль ствола, измерительный модуль совершает вращательное движение, соответствующее углу нарезки канала ствола [3]. В случае гладкоствольного орудия вращательное движение обеспечивается углом поворота опорных катков. Угол поворота учитывается в блоке обработки информации.

Принцип работы измерительного оптико-электронного модуля

Измерительный модуль в соответствии с рис. 2 представляет оптико-электронную систему, рассчитанную на контактное измерение отклонений линейных размеров $\Delta D_{\text{эт}}$ от эталонных $D_{\text{эт}}$. Диаметр в сечении вычисляется по формуле

$$D = D_{\text{эт}} \pm \Delta D_{\text{эт}} . \quad (1)$$

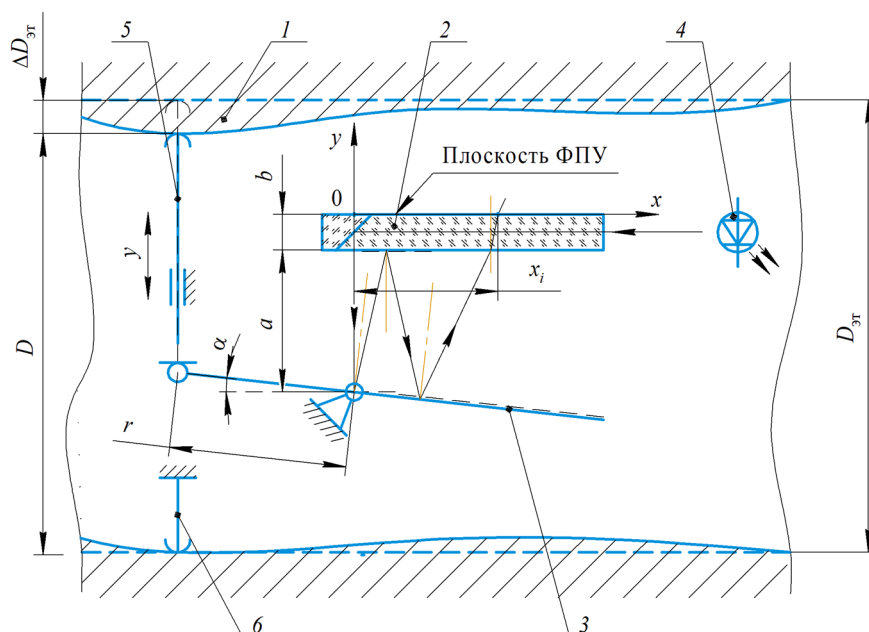


Рис. 2. Принципиальная схема оптического блока измерительного модуля

Узкий пучок лучей от лазерного источника излучения падает на поворотное зеркало, соприкасающееся с подвижным измерительным стержнем и формирующим синусный механизм. После многократного отражения от зеркал пучок попадает на фотоприемное устройство (ФПУ) с которого снимается сигнал, соответствующий углу поворота зеркала и связанный функционально с величиной перемещения измерительного стержня [2].

Рабочая формула измерительного модуля может быть представлена в виде:

$$\Delta D_{\text{ст}} = r \cdot k \sin \left(\frac{\left(\left(\arctg \left(\frac{x_i}{a \left(1 - \frac{b}{na} \right)} \right) \right) \right)}{2} \right), \quad (2)$$

где r – длина синусного рычага, мм;

k – количество отражений от подвижного зеркала;

x_i – смещения светового пучка на выходной грани призмы, мм;

a – расстояние от зеркала до входной грани призмы, мм;

b – толщина призмного блока измерительного модуля, мм;

n – показатель преломления стекла призмы.

Принцип построения профиля поверхности оружейного ствола

Измерительное устройство рассчитывается не только на определение диаметра ствола во множестве сечений, но и для построения его профиля с учетом искривления канала.

В соответствии с рис. 3 устройство содержит три измерительных оптико-электронных модуля, позволяющих измерять стрелку прогиба h на базовом расстоянии b и по ее значению вычислять радиус кривизны поверхности r_i в сечении по формуле:

$$r_i = \frac{\left(\frac{b}{2} \right)^2 + h^2}{2h} \mp r_{\text{ш}}, \quad (3)$$

где $r_{\text{ш}}$ – радиус шарика измерительного стержня.

При ожидаемых больших радиусах кривизны эту переменную в формуле можно не учитывать.

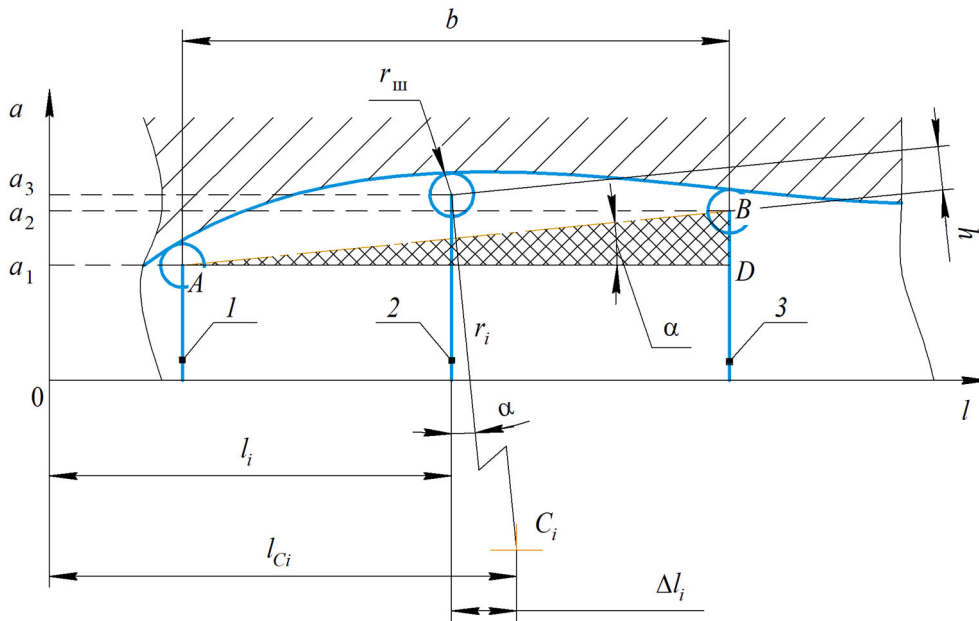


Рис. 3. К определению координат центра кривизны локального участка ствола орудия

В соответствии с рис. 3 при малых углах α стрелку прогиба можно вычислить по формуле:

$$h \approx a_3 - a_1, \quad (4)$$

где a_3, a_1 – отсчеты, снимаемые с датчиков 1 и 2.

Например, для конструктивного параметра b , равного 200 мм, и величины h , равной 0,01 мм, вычисления по формуле (3) дает значение радиуса кривизны r_i , равное 500 м.

Для построения профиля сечения необходимо знать не только радиус кривизны в текущем сечении, но и положение его центра кривизны C_i в системе координат $a0l$ вдоль направления l . Координата l_{Ci} вычисляется из выражения:

$$l_{Ci} = l_i \pm \Delta l_i, \quad (5)$$

где l_i – текущая координата положения измерительного модуля;

Δl_i – смещение центра кривизны поверхности в направлении l при текущем положении измерительного модуля, вычисляемое по формуле:

$$\Delta l_i = r_i \sin \alpha. \quad (6)$$

В соответствии с рис. 3:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{a_2 - a_1}{b}\right). \quad (7)$$

После подстановки (7) в (6) получается

$$\Delta l_i = r_i \left(-\frac{a_1 - a_2}{b \sqrt{\frac{a_1^2 - 2a_1a_2 + a_2^2 + b^2}{b^2}}} \right). \quad (8)$$

Для исходных данных, использованных в вышеприведенном примере, смещение центра кривизны Δl_i составит 0,049 мм.

Комплекс полученных данных, представляющий собой облако точек, позволяет восстановить внутреннюю поверхность ствола, выполнить его визуализацию и сравнить с эталонными данными, заложенными в программу обработки информации.

Заключение

Теоретическое обоснование и уточнение принципов работы многофункционального прибора для контроля геометрических характеристик ствола [7] подтверждают перспективность выбранного направления исследований.

Предложенный принцип работы измерительного прибора позволяет проводить автоматизированные измерения основных геометрических характеристик как нарезных, так и гладких стволов. Результаты измерения позволяют формировать массив данных и проводить его сравнения с эталонным стволом, выявлять дефекты и отклонения исследуемых изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бронетехника [Электронный ресурс]. – URL: <https://topwar.ru/151390-o-preimuschestvah-gladkostvolnyh-tankovyh-pushek.html/>, (дата обращения: 17.03.2021).
2. Городецкий, Ю.Г. Конструкции, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов. – М.: Машиностроение, 1971. – 376 с.
3. Михайлов И.О. Оптико-электронное устройство для контроля поперечного размера стержней повышенной точности. – Новосибирск.: Вестник СГУГиТ, 2002. № 7. С. 165-169.
4. Нутромер индикаторный [Электронный ресурс]. – URL: <https://ironpark.deal.by/g5435877-nutromer-indikatornyj/>, (дата обращения: 28.02.2021).
5. Орудийные стволы [Электронный ресурс]. – URL: https://ozlib.com/835523/tehnika/orudiynye_stvoly/, (дата обращения: 17.02.2021).
6. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник. – СПб.: Политехника, 2001. – 576 с.
7. Таранова Л. С., Михайлов И. О. Перспективы развития систем контроля геометрических параметров каналов орудийных стволов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Вып. №2. С. 105-111.
8. BLM Synergio [Электронный ресурс]. – URL: <https://blms.ru/beskontaktnaya-sistema-izmerenij-kanala-stvola/>, (дата обращения 19.03.2021).
9. Purelogic [Электронный ресурс]. – URL: https://purelogic.ru/article/shagovye_dvigateli_printsip_raboty_i_upravlenie/, (дата обращения 15.02.2021).
10. Speclife.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://speclife.ru/teoriya-nareznogo-stvola/>, (дата обращения 20.01.2021).

© Л. С. Таранова, И. О. Михайлов, 2021