



АВТОКОЛЛИМАТОРЫ И ГОНИОМЕТРЫ. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

П.А.Иванов, к.т.н., Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет СПбГЭТУ "ЛЭТИ", каф. Лазерных измерительных и навигационных систем, Санкт-Петербург

Непрерывное развитие оптического приборостроения влечет за собой необходимость постоянно совершенствовать методы и средства контроля изделий на всем технологическом цикле производства. Не только применение современных материалов и комплектующих обеспечивает высокое качество продукции, но и использование при ее разработке прогрессивных методов и контрольно-измерительных приборов. В статье дан краткий обзор современных образцов автоколлиматоров и гoniометров и проведен их метрологический и эксплуатационный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Многие измерения оптических деталей и приборов сводятся к определению длин и углов [1]. Измерения в зависимости от способа получения значений измеряемой величины разделяют на прямые, косвенные и совокупные измерения. Кроме того, в зависимости от наличия или отсутствия прямого контакта между средствами измерений и самим объектом измерений различают контактные и бесконтактные способы. В задачах, связанных с угловыми измерениями, широкое распространение получили автоколлиматоры и гoniометры. Эти приборы обеспечивают непосредственное измерение угла бесконтактным способом. С метрологической точки зрения бесконтактный способ предпочтителен, так как исключает возможность повреждения поверхности контролируемого или измеряемого объекта, обладает повышенной точностью, позволяет контролировать не только отдельные локальные зоны, но и всю поверхность детали.

АВТОКОЛЛИМАТОРЫ

Автоколлиматоры (рис.1) применяются для измерения малых угловых отклонений светоотражающих поверхностей от измерительной оси прибора. На промышленных предприятиях автоколлима-

AUTOCOLLIMATORS AND GONIOMETERS. REVIEW OF MODERN MODELS

P.A. Ivanov, Candidate of technical sciences,
St. Petersburg State Electrotechnical University,
"LETI", department of Laser Measuring and Navigation
Systems, St. Petersburg

The development of optical instrument making entails the need to continuously improve and develop methods and means of controlling products at all technological stages of production. High quality products are ensured not only through the use of modern materials and components, but also through the development of progressive control and measurement methods implemented in the devices. A brief review of modern samples of autocollimators and goniometers is given in the article and their brief metrological analysis is carried out.

INTRODUCTION

Numerous measurements of optical parts and devices are reduced to determining the lengths and angles [1]. The measurements, depending on the method of obtaining the values of the measured value, are divided into direct, indirect and cumulative measurements. Furthermore, depending on the presence or absence of direct contact between the measuring instruments and the object of measurement itself, there are contact and non-contact methods. In problems related to angular measurements, autocollimators and goniometers are widely used. These devices provide direct angle measurement in a non-contact way. From the metrological point of view, the non-contact method is preferable, since it excludes the possibility of damage to the surface of the monitored or measured object, has increased accuracy, allows monitoring not only individual local zones but also the entire surface of the part.

AUTOCOLLIMATORS

Autocollimators (Fig. 1) are used to measure small angular deviations of normals to the reflective surfaces from the measuring axis of the instrument. At industrial enterprises, autocollimators are used in various methods for controlling the angular parameters of parts and machines. In the field of optical production, these devices are used to

торы применяют в различных схемах контроля угловых параметров деталей и станков. В отрасли оптического производства эти приборы используются для контроля формы поверхности деталей, соответствия размеров и других геометрических параметров изготавливаемых элементов. Кроме того, автоколлиматоры применяют в метрологических лабораториях и центрах сертификации и метрологии для калибровки и поверки образцовых угловых мер и различных систем, созданных на их основе. Угловые измерения в последнем случае характеризуются высокой точностью, достигающей сотых долей угловой секунды.

По способу обработки и представления измерительной информации все эти приборы можно разделить на визуальные и цифровые.

В визуальном автоколлиматоре оператор с помощью окуляра определяет смещение изображения светящейся марки, полученное от отражающей поверхности объекта измерений, относительно измерительной сетки. На отечественном рынке данная группа приборов представлена моделями АКУ-0.2, АКУ-0.5 и некоторыми другими, произведенными в Новосибирске компанией АО "Новосибирский приборостроительный завод" (рис.2) [2]. В силу своей относительно небольшой стоимости визуальные автоколлиматоры пока остаются весьма востребованными приборами. Хотя, надо отметить, они обладают рядом существенных недостатков, основными из которых являются невысокая точность измерений и низкая эффективность.

Визуальные автоколлиматоры выпускают крупные зарубежные производители, такие как Trioptics и Moller Wedel (рис. 3) [3, 4]. Однако предлагаемые этими компаниями модели рассчитаны скорее на



Рис.1. Автоколлиматор

Fig. 1. Autocollimator

control the shape of the surface of parts, the correspondence of dimensions and other geometric parameters of the elements being manufactured. Furthermore, autocollimators are used in metrological laboratories and certification and metrology centers for calibration and verification of angle standards and various associated systems. Angular measurements in the latter case are characterized by high accuracy, reaching hundredths of an angular second.

According to the manner of processing and presentation of measuring information, all these devices can be visual or digital.



Рис.3. Визуальные автоколлиматоры Moller Wedel (сверху) и Trioptics (снизу)

Fig. 3. Visual autocollimators Moller Wedel (top) and Trioptics (bottom)



Рис.2. Визуальный автоколлиматор АКУ-0.5

Fig. 2. Visual autocollimator AKU-0.5

специального потребителя со специфическими задачами. Приборы имеют высокую стоимость и не лишены всех тех недостатков, которые сопутствуют процедурам визуального считывания измерительной информации.

С развитием компьютерной и вычислительной техники наибольшую популярность стали приобретать цифровые приборы. В них изображение марки регистрируется с помощью ПЗС-матрицы или линейки. Измерительная информация оцифровывается и далее поступает на персональный компьютер.

Принцип действия цифрового автоколлиматора заключается в следующем (рис.4). Световой поток от источника 1 проходит через марку 2, отражается от светоделительного кубика 3 и попадает в объектив 4. Марка находится в фокальной плоскости объектива, с помощью которого ее изображение проецируется на бесконечность. Отразившись от поверхности светоотражающей поверхности 5, изображение марки попадает на светочувствительный элемент 6, который, также находится в фокальной плоскости объектива. В случае, когда светоотражающая поверхность 5 перпендикулярна оси автоколлиматора ($\alpha=0$), изображение формируется по центру светочувствительного элемента 6, и данное положение изображения считается нулевым. Когда светоотражающая поверхность отклонится на угол α , изображение марки в плоскости светочувствительного элемента получит некоторое линейное смещение x , которое определяется выражением:

$$x=f \cdot \operatorname{tg} 2\alpha,$$

где f – фокусное расстояние объектива автоколлиматора.

Цифровые автоколлиматоры обладают рядом неоспоримых преимуществ перед визуальными приборами: высокая точность измерений, простота эксплуатации и обслуживания, компактные габариты и вес, автоматизация измерений и т.д. С точки зрения производителя разработка конструкции таких приборов не накладывает жестких ограничений на оптические и механические узлы, что позволяет создавать недорогие приборы с относительно высокой точностью.

Анализ современных цифровых автоколлиматоров зарубежных производителей – Moller Wedel (модель Elcomat 3000), Taylor Hobson (модель Ultra) и Trioptics (модель TA 1000-140) (рис.5) [5] – показал, что наиболее востребованными приборами на сегодняшний день являются автоколлима-

In the visual autocollimator, the operator uses the eyepiece to determine the displacement of the image of the luminous mark, obtained from the reflecting surface of the measurement object, relative to the measuring grid. In the domestic market, this group of devices is represented by models AKU-0.2, AKU-0.5 and some other produced by Novosibirsk-based company JSC "Novosibirsk Instrument-Making Plant" (Fig. 2) [2]. Due to their relatively low cost, visual autocollimators are still very popular devices. Although, it should be noted, they have a number of significant drawbacks, the main of which is low measurement accuracy and low efficiency.

Visual autocollimators are still produced by large foreign producers, such as Trioptics and Moller Wedel (Fig. 3) [3, 4]. However, the models proposed by these companies are designed rather for a special consumer with specific tasks. Devices are of high cost and also have all those disadvantages that accompany the procedures of visual reading of the measuring information.

With the development of computer and computation technology, the digital instruments began to acquire greatest popularity. The image of the mark is registered using a CCD array or matrix there. Measuring information is digitized and then fed to a personal computer.

The operation principle of the digital autocollimator is as follows (Fig. 4). The light flux from the source 1 passes through the mark 2, gets reflected from the beam splitting cube 3 and falls on the lens 4. The mark is placed in the focal plane of the lens, with which its image is projected to infinity. Reflecting from the surface of the light-reflecting surface 5, the mark image falls on the photosensitive element 6, which is also in the focal plane of the lens. In the case where the light-reflecting surface 5 is perpendicular to the axis of the autocollimator

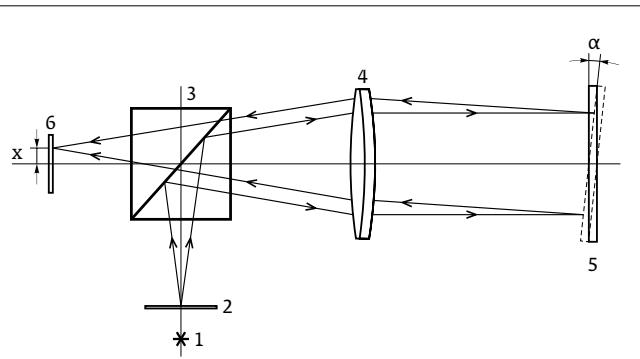


Рис.4. Оптическая схема цифрового автоколлиматора
Fig. 4. Optical scheme of digital autocollimator

торы с погрешностью измерений 0,2–0,25 угловой секунды. Среди отечественных производителей приборы такого уровня точности предлагает только компания "ИНЕРТЕХ". Погрешности измерений автоколлиматоров моделей АК-0,1 и АК-0,25, производимых компанией "ИНЕРТЕХ" (рис.6), не превышают соответственно 0,1 и 0,25 угловой секунды [6] (см. табл. 1).

Автоколлиматоры серии АК разработаны и выполнены на собственном современном производстве на базе Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета СПбГЭТУ "ЛЭТИ" с учетом современных тенденций развития мирового приборостроения. Применение в автоколлиматорах АК чувствительных ПЗС-матриц и высокоточных оптических элементов позволяет создавать надежные и удобные приборы высокой точности. Так, один из автоколлиматоров АК-0,25 внесен в реестр утвержденных эталонов единиц величин как рабочий эталон I разряда величины плоского угла.

Специально разработанное программное обеспечение GonioScan AC (рис.7) позволяет реализовывать как единичные, так и многократные измерения, создавать сценарии с различными профилями настроек, сохранять результаты измерений в различных форматах и т.п. Интуитивно понятный интерфейс ПО не требует от оператора специальной подготовки. Интерфейс создан таким образом, чтобы максимально повысить эффективность процедуры проведения измерений автоколлиматором.

Стоит отметить, что в России существует несколько других производителей подобных приборов более низкого класса точности. Ниже приве-



Рис.5. Зарубежные цифровые автоколлиматоры
Fig. 5. Foreign digital autocollimators

($\alpha=0$), the image is formed at the center of the photosensitive element 6, and this position of the image is considered to be zero. When the light-reflecting surface is inclined by an angle α , the mark image in the plane of the photosensitive element will receive a certain linear displacement x , which is determined by the expression:

Таблица 1. Характеристики цифровых автоколлиматоров различных производителей

Table 1. Characteristics of digital autocollimators of various manufacturers

| Параметр Parameter | АК-0,1 | АК-0,25 | АК-03Ц | Elcomat 3000 | Ultra | TA 1000-115 |
|---|---------------------|--------------|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Изготовитель Manufacturer | ИНЕРТЕХ INERTECH | | НПК Диагностика NPK Diagnostika | Moeller Wedel Moeller Wedel | Taylor Hobson Taylor Hobson | Trioptics Trioptics |
| Предельная погрешность измерения Measuring error limit | $\pm 0,1''$ | $\pm 0,25''$ | $\pm 0,3''$ | $\pm 0,25''$ | $\pm 0,2''$ | $\pm 0,2''$ |
| Диапазон измерений Measuring range | 40' | 40' | 40' | 33' | 30' | 11' |
| Разрешение Resolution | 0,001" | 0,01" | 0,1" | 0,01" | 0,001" | 0,01" |
| Габариты, мм Dimensions, mm | 340×90×120 | 340×90×120 | 330×80×120 | 420×95×135 | – | – |
| Вес, мм Weight, mm | 3,5 | 3,5 | 4 | 3,8 | – | – |



Рис.6. Цифровые автоколлиматоры AK-0.25, AK-0.1 ("ИНЕРТЕХ", г. Санкт-Петербург)
Fig. 6. Digital autocollimators AK-0.25, AK-0.1 (INERTECH, St. Petersburg)

дена сводная таблица технических и эксплуатационных характеристик цифровых автоколлиматоров всех основных производителей, представленных на отечественном рынке (табл.1).

ГОНИОМЕТРЫ

Гониометры применяются для измерений углов, образованных плоскими поверхностями различных объектов, способных отражать световые лучи. Гониометры – это современные прецизионные уголизмерительные приборы, которые используются в настоящее время в ряде крупных оптических и приборостроительных предприятий России, а также в метрологических институтах других стран.

Как и автоколлиматоры, все гониометры по способу обработки и представления измерительной информации принято делить на визуальные и цифровые.

В визуальном гониометре измерение углов осуществляется абсолютным методом, т.е. путем сравнения с точно градуированным лимбом (круговой шкалой), жестко связанным с предметным

$$x = f \operatorname{tg} 2\alpha,$$

where f is the focal length of the autocollimator lens.

Digital autocollimators have a number of undeniable advantages over visual instruments: high measurement accuracy, ease of operation and maintenance, compact dimensions and weight, automation of measurements, etc. From the manufacturer's point of view, the design of such devices does not impose strict restrictions on optical and mechanical components, which allows the creation of inexpensive devices with relatively high accuracy.

Analysis of modern digital autocollimators of foreign manufacturers, Moller Wedel (Elcomat 3000), Taylor Hobson (Ultra) and Trioptics (TA 1000-140) (Fig. 5) [5], showed that the most popular devices today are autocollimators with a measurement error of 0.2–0.25 angular seconds. Among domestic manufacturers, the devices of this level of accuracy are offered only by INERTECH. The errors in measurements of the autocollimators AK-0.1 and AK-0.25 produced by INERTECH (Fig.6) do not exceed 0.1 and 0.25 angular seconds, respectively [6] (see Table 1).

Autocollimators of AK series are designed and manufactured in our own modern enterprise at the St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI", taking into account modern trends in the development of the world instrument making industry. The use of sensitive CCD arrays and high-precision optical elements in the AK autocollimators allows the creation of reliable and convenient high precision instruments. Thus, one of autocollimators, AK-0.25, is included in the register of approved measurement standards as the I echelon working standard of the plane angle unit.

Specially developed software ConioScan AC (Fig. 7) allows to implement both single and multiple measurements, create scripts with different profiles of settings, save measurement results in various formats, etc. The intuitive interface of the software does not require special training from the operator. The interface is designed in such a way as to maximize the efficiency of the measurement procedure with an autocollimator.

It should be noted that there are several other manufacturers of similar devices of lower accuracy class in Russia. Table 2 is a summary table of technical and operational characteristics of digital autocollimators of all major manufacturers, represented in the domestic market.

столиком, на который устанавливается оптическая деталь. Погрешность приборов такого типа обусловлена в основном особенностями изготовления лимбов, а именно неравномерностью нанесения на них круговой шкалы. Дополнительный вклад в погрешность измерения угла визуальным прибором дает ошибка оператора, связанная с субъективным ощущением оператора (приемником информации об угловом отсчете от отражаемой поверхности детали служит глаз человека).

На отечественном рынке визуальные гoniометры представлены моделями ГС2 и Г5 (рис.8) производства завода "Арсенал" (г. Киев), прекратившего свое существование несколько лет назад; несмотря на ликвидацию завода большинство предприятий, лабораторий и центров сертификации и метрологии до сих пор массово используют приборы данных моделей. Зарубежные компании также серийно выпускали визуальные гoniометры (например приборы Gonio II-VIS компании Moller Wedel) (рис.9), однако на сегодняшний день практически все крупные производители выпускают только цифровые гoniометры.

Стоит отметить, что визуальные приборы, как правило, являются гoniометрами-спектрометрами и, помимо своей целевой функции, могут измерять показатель преломления прозрачных твердых материалов. Но имея более широкие функциональные возможности, эти морально устаревшие изделия являются весьма габаритными, сложными в эксплуатации установками, что не удовлетворяет современного потребителя. Поэтому на смену визуальным приборам и пришли их цифровые аналоги.

В цифровых гoniометрах в качестве зрительной трубы используется цифровой автоколлиматор, который обеспечивает оптическую привязку



Рис.8. Визуальный гoniометр Г5 ("Арсенал", г. Киев)
Fig. 8. Visual goniometer G5 (Arsenal, Kiev)

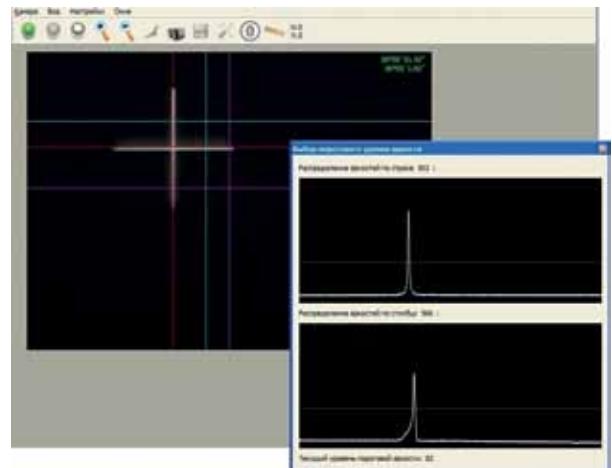


Рис.7. Интерфейс программного обеспечения GonioScan AC

Fig. 7. Software interface GonioScan AC

GONIOMETERS

Goniometers are used to measure the angles formed by the flat surfaces of various objects capable of reflecting light rays. Goniometers are modern precision angle measuring devices, which are currently used in a number of large optical and instrument-making enterprises in Russia, as well as in metrological institutes of other countries.

Like autocollimators, all goniometers are divided into visual and digital according to the manner of processing and presentation of measuring information.

In a visual goniometer, angles are measured by an absolute method, i. e. by comparison with a precisely graduated arc (circular scale), rigidly connected to the stage where the optical part is mounted. The error of the instruments of this type is due mainly to the features of manufacturing the arcs, namely, the uneven application of a circular scale. An additional contribution to the error in measuring the angle by a visual instrument is the error of the operator associated with the subjective sensing of the operator (the person's eye serves as the receiver of information on the angular readout).

In the domestic market, visual goniometers are represented by GS2 and G5 (Fig. 8) produced by plant "Arsenal" (Kiev), which ceased to exist several years ago; despite the liquidation of the plant, most enterprises, laboratories and certification and metrology centers still use mass devices of these models. Foreign companies also produced visual goniometers (e.g., Moller Wedel devices Gonio II-VIS) (Fig. 9), however,

к отражающим граням объекта посредством измерения угла между собственной оптической осью и нормалью к отражающей грани. В качестве лимба, установленного на ось вращения поворотного столика, используют фотоэлектрический датчик преобразователя угла, а сам столик снабжен, как правило, приводом, осуществляющим его вращение в соответствии с требуемым сценарием измерений.

Применение таких технических решений позволяет практически исключить погрешности,ственные визуальным приборам. Современный уровень развития электронно-вычислительной техники обеспечивает существенное увеличение точности измерений за счет применения различных алгоритмов компенсации ошибок, связанных с технологическими особенностями изготовления датчиков угла (энкодеров). Наконец, за счет полной автоматизации процесса измерений, современные цифровые гoniометры полностью удовлетворяют требованиям пользователей как устройства удобные и простоты в эксплуатации.

Учитывая все преимущества цифровых гoniометров перед визуальными, крупные компании производители оптической углоизмерительной техники на сегодняшний день отдают предпочтение разработке и созданию приборов именно первого типа. Среди зарубежных компаний стоит выделить Trioptics (приборы серии PrismMaster) и Moller Wedel (приборы серии Goniomat) (рис.10). Анализ точностных характеристик гoniометров зарубежного производства показал, что востребованными являются приборы, обладающие погрешностью измерения угла не более одной угловой секунды (табл. 2).

Среди отечественных производителей цифровые гoniометры с таким уровнем точности производит и поставляет только компания "ИНЕРТЕХ" (модель СГ-1) (рис.11). Гoniометр СГ-1 оснащен высокоточным цифровым автоколлиматором с широким диапазоном измерений, нечувствителен к возмущающим световым воздействиям и является полностью автоматизированным прибором с многофункциональным программным обеспечением GonioScan SG. Программное обеспечение GonioScan SG (рис.12) обладает следующими возможностями:

- вывод на экран в реальном времени изображения с камеры – углового положения опорного креста по двум координатам;
- регистрация абсолютного и относительного углового положения по нескольким измерениям;



Рис.9. Визуальный гoniометр Gonio II-VIS (Moller Wedel)
Fig. 9. Visual goniometer Gonio II-VIS (Moller Wedel)

to date almost all large manufacturers produce only digital goniometers.

It should be noted that visual instruments, as a rule, are goniometer-spectrometers and, in addition to their objective function, can measure the refractive index of transparent solid materials. But with more extensive functionality, these obsolete products are very large, difficult to operate, not satisfying the modern consumer. Therefore, the digital devices replaced the visual instruments.

In digital goniometers, a digital autocollimator is used as a telescope, which provides optical reference to the reflecting facets of the object by measuring the angle between its own optical axis and the normal to the reflecting face. As an arc mounted on the axis of rotation of the rotating stage, a photoelectric transducer of the angle converter is used, and the stage itself is usually provided with a drive that rotates it in accordance with the required measurement scenario.

The use of such technical solutions makes it possible to virtually eliminate errors inherent in visual instruments. The current level of development of electronic computers provides a significant increase in the accuracy of measurements due to the application of various error compensation algorithms associated with the technological features of the manufacture of angle sensors (encoders). Finally, due to the complete automation of the measurement process, modern digital goniometers fully satisfy the user requirements in terms of usability and ease of use.

Taking into account all the advantages of digital goniometers comparing to visual ones, large manufacturers of optical angle measuring equipment

- регистрация углового положения подвижного объекта в режиме непрерывной записи, при этом частота записи определяется оператором;
 - автоматическая или ручная настройка параметров камеры и создание различных профилей настроек для работы с различными типами объектов и отражающими поверхностями;
 - запись результатов измерений в файл;
 - управление сервоприводом столика гoniометра;
 - алгоритмическая обработка измерительных данных;
 - формирование файлов результатов измерений;
 - создание сценариев испытаний, т.е. автоматической последовательности разворотов столика.
- Гониометр СГ-1 – современный высокоточный прибор, отвечающий всем требованиям мирового уголизмерительного приборостроения. В табл. 2 приведены технические и эксплуатационные характеристики цифровых гониометров всех основных производителей, представленных на отечественном рынке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор современного состояния рынка уголизмерительных приборов показал, что отечественному потребителю сегодня доступны не только дорогостоящие импортные изделия, но и относительно недорогие, надежные и не уступающие по уровню точности своим зарубежным аналогам автоколлиматоры и гониометры российского производства. Компания "ИНЕРТЕХ" серийно выпускает цифро-



Рис.10. Гониометры PrismMaster 150HR (сверху) и Goniomat A5 Plus (снизу)

Fig. 10. Goniometers PrismMaster 150HR (top) and Goniomat A5 Plus (bottom)

today prefer to develop and create devices of the former type. Among foreign companies, it is worth highlighting Trioptics (PrismMaster series devices) and Moller Wedel (Goniomat series devices) (Fig. 10). The analysis of the accuracy characteristics of goniometers of foreign production showed that

Таблица 2. Характеристики цифровых гониометров различных производителей

Table 2. Characteristics of digital goniometers of various manufacturers

| Параметр Parameter | СГ-1 SG-1 | СГ-1Ц SG-1C | Goniomat A5 Plus | Goniomat A5 | PrismMaster 150 HR |
|--|---------------------|------------------------------------|---------------------|---------------|-----------------------|
| Изготовитель Manufacturer | ИНЕРТЕХ INERTECH | НПК Диагностика NPK Diagnostika | | Moeller Wedel | Trioptics |
| Предельная погрешность измерения Measuring error limit | ±0,8" | ±1,0" | ±0,6" | ±1,5" | ±1,0" |
| Диапазон измерений Measuring range | 40' | 40' | 40' | 40' | 67' |
| Световой диаметр объектива, мм Lens clear aperture, mm | 40 | 40 | 28 | 28 | 30 |
| Фокусное расстояние объектива, мм Lens focal distance, mm | 250 | 250 | 200 | 200 | – |
| Габариты, мм Dimensions, mm | 650×380×370 | 610×300×350 | 610×340 | 530×200 | 550×330×198 |
| Вес, кг Weight, kg | 47 | 35 | 35 | 19 | – |



Рис.11. Гониометр СГ-1 ("ИНЕРТЕХ", г. Санкт-Петербург)
Fig. 11. Goniometer SG-1 (INERTECH, St. Petersburg)

вые автоколлиматоры (серия АК) и статические гониометры (серия СГ), не имеющие отечественных аналогов. Приборы, выпущенные под маркой "ИНЕРТЕХ", отмечены дипломами и медалями различных специализированных выставок и пользуются большим спросом на рынке измерительных приборов как в России, так и за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев В.А. Оптические измерения: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Школа, 1981.
2. Официальный сайт АО "Новосибирский приборостроительный завод" <http://www.npzoptics.ru>.
3. Официальный сайт компании Trioptics <https://www.trioptics.com>.
4. Официальный сайт компании MÖLLER-WEDEL <https://www.haag-streit.com>.
5. Официальный сайт компании Taylor Hobson <http://www.taylor-hobson.com>.
6. Официальный сайт компании ИНЕРТЕХ <http://www.inertech-ltd.com>.

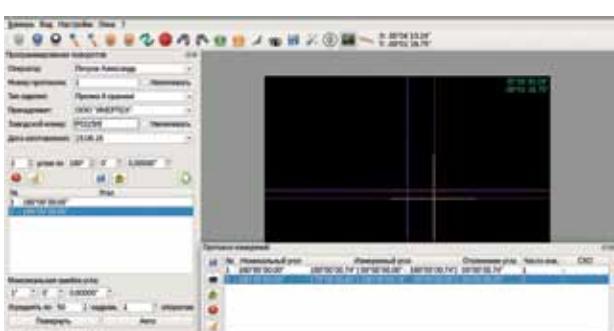


Рис. 12. Интерфейс программного обеспечения GonioScan SG
Fig. 12. Software interface GonioScan SG

instruments with an error of measuring the angle not more than one angular second are in demand (Table 2).

Among domestic manufacturers, digital goniometers with this level of accuracy are produced and supplied only by INERTECH (SG-1) (Fig. 11). Goniometer SG-1 is equipped with a high-precision digital autocollimator with a wide range of measurements, insensitive to disturbing light effects and is a fully automated instrument with the multifunctional software GonioScan SG. The software GonioScan SG (Fig. 12) has the following features:

- display in real time of the image from the camera - angular position of the reference cross in two coordinates;
- registration of absolute and relative angular position in several dimensions;
- registration of the angular position of the mobile object in the continuous recording mode, with the recording frequency determined by the operator;
- automatic or manual adjustment of camera parameters and creation of various settings profiles for working with different types of objects and reflective surfaces;
- recording measurement results in a file;
- control of the servo drive of the goniometer table;
- algorithmic processing of measurement data;
- formation of measurement results files;
- creation of test scenarios, i. e. automatic sequence of table turns.

Goniometer SG-1 is a modern high-precision device that meets all the requirements of the world's angle measuring instrumentation. Table 2 shows the technical and operational characteristics of digital goniometers of all major manufacturers represented on the domestic market.

CONCLUSION

A review of the current state of the market of angle measuring devices has shown that not only expensive imported products are available to domestic consumers today, but also relatively inexpensive, reliable and not inferior in terms of accuracy to their foreign counterpart autocollimators and Russian-made goniometers. INERTECH serially produces digital autocollimators (AK series) and static goniometers (SG series), which do not have domestic analogues. Devices produced with INERTECH trademark are awarded with diplomas and medals of various specialized exhibitions and are in great demand both in the Russian market of measuring instruments in Russia and abroad.