

## СОВРЕМЕННЫЕ УГЛОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ АО "ШВАБЕ - ОБОРОНА И ЗАЩИТА" И ПУТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Комбаров М.С.<sup>1</sup>, Титаренко М.Е.<sup>1</sup>, Кузнецов М.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО "Швабе - Оборона и Защита", 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 179/2, [npz36@ngs.ru](mailto:npz36@ngs.ru);

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный университет геосистем и технологий", 630108, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, [a9214439@yandex.ru](mailto:a9214439@yandex.ru)

---

В статье рассмотрены основные тенденции развития производства российских средств измерения угловых величин. Приводится динамика развития углоизмерительных систем на предприятиях бывшего СССР, перспективные пути модернизации и разработки новых измерительных систем в наши дни. Делается вывод о возможных направлениях развития средств измерения угловых величин в ближайшее десятилетие. Так, дальнейшее развитие делительных головок будет зависеть от успеха ОДГ-Ц. Концептуально, дальнейшее развитие головок представляется как создание более высокоточной головки с погрешностью до 2" и создание на их базе сканирующих углоизмерительных систем, дальнейшим развитием квадрантов, по логике, должна стать замена КО-60, дальнейшим развитием автоколлиматоров станет их интеграция с дальномерной системой для обеспечения автоматизированного решения таких задач, как контроль прямолинейности и плоскостности с расчетом величин отклонения в линейной мере. В целях увеличения дальности измерения возможно внедрение лазерных источников с длиной волны 1,54 мкм.

Ключевые слова: приборостроение, автоколлиматор, делительная головка, квадрант.

## MODERN MEASURING ROTARY INSTRUMENTS JSC "SCHWABE - DEFENSE AND PROTECTION" AND THE WAYS OF THEIR DEVELOPMENT

Kombarov M.S. <sup>1</sup>, Titarenko, M.E. <sup>1</sup>, Kuznetsov M.M. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>JSC "Shvabe - Defense and Protection", 630049, Novosibirsk, D. Kovalchuk st.,179/2, [npz36@ngs.ru](mailto:npz36@ngs.ru);

<sup>2</sup> Siberian state University geosystems and technology ,630108, Novosibirsk, street Plakhotnogo, 10, [a9214439@yandex.ru](mailto:a9214439@yandex.ru)

---

The article describes the main trends of development of Russian production of measuring the angular values. Shows the dynamics of the development of measuring rotary systems at the enterprises of the former USSR, promising the path of modernization and development of new measuring systems these days. The case is the conclusion about the possible directions of development of means of measuring angular values at the nearest tenth anniversary. So: further development of the dividing heads will depend on the success of EDC-C. Conceptual but further development of the head is represented as the creation of more high-precision head with accuracy up to 2" and creation on their basis of measuring rotary scanning systems; Further development of the quadrants, logically, should be the replacement of CO-60; Further development of autocollimators will be their integration with the ranging system to provide automated solutions such tasks as monitoring of straightness and flatness with the calculation of the deviations in linear extent. In order to increase the range of measurements possible introduction of laser sources with a wavelength of 1.54 μm.

Keywords: instrumentation, autocollimator, dividing head, quadrant.

Номенклатура средств измерений угловых величин серийно выпускаемых АО «Швабе – Оборона и Защита» в настоящее время включает в себя делительные головки, визуальные автоколлиматоры и автоколлимационные трубки, оптические квадранты, измерительные микроскопы и ряд других [5].

Оптические делительные головки [2] предназначены для проведения угловых измерений в диапазоне углов 360°. Фактически делительные головки, в т.ч. и оптические, являются техническими средствами для поворота контролируемых объектов или других средств измерения (автоколлиматоров, измерительных головок) на заданный угол с высокой точностью. Точность выпускаемых в настоящее время головок составляет 5 или 20 секунд, для головок

ОДГЭ-5 и ОДГЭ-20 соответственно. Производство российских, а, точнее, тогда еще советских, оптических головок, началось в пятидесятых годах прошлого века, активное развитие ОПК поставило настоятельную задачу организации их производства, т.к. на поставку иностранных головок в требуемых объемах рассчитывать не приходилось. За основу были взяты головки фирмы Zeiss, тогдашний уровень технологии не позволил сразу освоить производство всей номенклатуры головок и в производство пошли сначала ОДГ-60, а затем головка ОДГ-30. Эти головки отличались достаточным на тот момент уровнем точности – 60 и 30 секунд соответственно, и имели возможность наклона оси шпинделя в диапазоне  $\pm 90$  градусов от вертикали, для чего на боковой поверхности корпуса имелась шкала, а у разрезного основания имелся нониус и механизм зажима корпуса. На ОДГ-30 имелся еще и червячный механизм наклона, ОДГ-60 наклонялась вручную.

Первую модернизацию головки прошли в конце 60-х годов. В начале семидесятых годов стало ясно, что головки типа ОДГ уже не удовлетворяют современным требованиям по точности, а ее увеличение требует существенной доработки оптической схемы и выноса осветителя из корпуса головок – нагрев корпуса от лампы при длительных измерениях не позволял создавать системы с точностью выше 10-15 секунд, а переход на погрешности меньше 10 секунд требовал еще и двухстороннего снятия отсчета, для снижения влияния эксцентриситета лимба. Тем не менее, к концу 1978 г. общая концепция и конструкция головки прорисовалась – кубический корпус из чугуна с двумя установочными плоскостями позволявшими устанавливать головку в вертикальном или горизонтальном положении шпинделя, унифицированный шпиндельный узел с дисковым электромагнитным тормозом, оптическая отсчетная система с одно- или двухсторонним снятием отсчета по лимбу и оптическим компенсатором для точного отсчета, вынесенный осветитель с галогенной лампой. Унификация основных узлов позволила значительно сократить затраты на освоение и серийное производство головок, а в условия серийного производства позволяла изготавливать относительно небольшую номенклатуру взаимозаменяемых деталей определяющих точностные параметры – шпиндель, лимб, и фактически вести селективную сборку – все детали изготавливались по требованиям для ОДГЭ-5, а затем проводился отбор – то, что не проходило по требованиям для ОДГЭ-5, шло на ОДГЭ-20, а из собранных ОДГЭ-5 отбирались головки с погрешностью менее 2" – которые и маркировались как ОДГЭ-2. Именно поэтому иногда головки ОДГЭ-20 имели погрешность менее 10", хотя и имели лишь одну ветвь для снятия отсчета по лимбу, а головки ОДГЭ-5 имели погрешность менее 3" (иногда 2,3 - 2,5 секунды). Даже сейчас, когда объем выпуска головок значительно снизился, а головка ОДГЭ-2 фактически снята с производства, иногда головки типа ОДГЭ-5 «попадают» с погрешностью 1,8-1,9 секунды. Рассказывая об истории производства головок, нельзя не вспомнить о таком из-

делии, как ОДГ-А. Мало кто знает, что в середине 80-х годов по заказу Министерства автомобильной промышленности СССР в интересах «АвтоВАЗа» разрабатывалась система автоматизированного контроля коленчатых и распределительных валов автомобильных двигателей. Объемы производства росли и, видимо, того оборудования, что поставили в свое время итальянцы, уже не хватало. Тогда перед ЦКБ «Точприбор» – основным разработчиком измерительной техники для ПО «НПЗ», была поставлена задача создания измерительной системы с цифровым отсчетом по трем координатам – одной угловой и двум линейным [7].

Справедливости ради надо сказать, что продольная координата фактически не являлась измерительной, т.к. была предназначена для перемещения поперечного длинномера вдоль оси контролируемого вала и не имела отсчетных устройств, только шаговый привод для автоматизированного перемещения в заданную позицию с точностью 0,05 мм, по поперечной оси длинномер перемещался с помощью весьма оригинального механизма – он имел противовес и автоматизированный механизм отвода с транспортное положение. Точность измерения была около 0,005мм, не бог весть какое достижение, тем более что и диапазон был всего 50 мм. А вот угловая координата? Система имела шаговый привод угла поворота, управление велось от отдельного блока, была заложена возможность непрерывного сканирования в заданной плоскости и выборочного сканирования на отдельных углах. Управление велось от электронного блока с возможностью подключения к ПК по последовательному порту RS232. К идее модернизации выпускаемых ОДГЭ, в первую очередь ОДГЭ-5, на АО «Швабе – Оборона и Защита» подступались не один раз. Как только уровень доступной электроники позволил создать компактную надежную углоизмерительную отсчетную систему с дискретностью 1-0,5" было принято решение о разработке оптической делительной головки с цифровым отсчетом.

Созданию такой головки, как и цифрового квадранта КО-10, предшествовало создание датчиков угловых перемещений ДУП. ОКР «ДУП» проводился самостоятельно ЦКБ «Точприбор» в середине 2000-х годов и предусматривал создание серии из четырех унифицированных датчиков с погрешностью измерения 10, 5, 2 и 1". Предусматривалось создание двух типоразмеров датчиков с разным диаметром корпуса. В 2013г. было дано начало проекту ОДГ-Ц. Реализацию проекта взяло на себя ОАО «Швабе – Приборы». По проекту в начале 2015г. заказчику – АО «Швабе – Оборона и Защита» - будет передана конструкторская документация на головку, обеспечивающую погрешность измерения не более 5" с дискретностью не более 1". Головка будет обеспечивать возможность её установки в двух положениях – с вертикальной и горизонтальной осью шпинделя, автоматизированный поворот на заданный угол, управление будет осуществляться, как и принято у современных измерительных систем, от компьютера, через порт USB.

Дальнейшее развитие делительных головок будет зависеть от успеха ОДГ-Ц. Концептуально, дальнейшее развитие головок представляется как создание более высокоточной головки с погрешностью до 2" и создание на их базе сканирующих углоизмерительных систем. Предполагается, что на базе ОДГ-Ц будет создан малогабаритный поворотный стол с погрешностью 10-20" для комплектования микроскопа ИМЦЛ-АС и его дальнейших модификаций. Подробнее об ИМЦЛ-АС уже рассказывалось авторами в [4, 6, 9, 10].

Наверное, нет более старого прибора в истории углоизмерительных приборов, чем квадрант [3], – ну, разве что, уровень. Даже теодолит был создан значительно позже. Но не будем углубляться в историю. Оптические квадранты выпускаются в России примерно с послевоенных годов. Первоначально их производство было развернуто на киевском заводе «Арсенал», сейчас уже сложно сказать, по каким причинам их производство в 70-х годах было передано в Новосибирск, но с 70-х годов и по настоящее время АО «Швабе – Оборона и Защита» выпускало три модели квадрантов – КО-60, КО-60М, КО-10. Выпускало, потому что с этого года к ним добавилась новая модель – КО-10Ц, но о ней чуть позже. Собственно, моделей не три, а две. КО-60 и КО-60М это два идентичных изделия с погрешностью 60" и диапазоном измерения  $\pm 120^\circ$  от горизонтального положения ампулы уровня, отличаются они лишь наличием у КО-60М магнитного основания, обеспечивающего его установку и фиксацию на проверяемых объектах из ферромагнитных материалов. КО-10 это значительно более сложный прибор, диапазон измерения  $360^\circ$ , погрешность измерения не более 10". В 2011г. было принято решение о запуске проекта «КЭ-10», в 2012г. была разработана конструкторская документация на изделие. В конструкции был использован технический задел, созданный ОАО «Швабе – Приборы» при реализации проекта ДУП, а также ряд наработок по созданию прецизионных опор качения, конструкция которых была отработана на других приборах.

В 2013г. были изготовлены первые три опытных образца. Не все шло гладко – растровый лимб относительно большого диаметра потребовал привлечь к его изготовлению ряд институтов СО РАН, пришлось кардинально обновить технологию изготовления круговых шкал на самом АО «Швабе – Оборона и Защита», в процессе сборки опытных пришлось перестраивать электрическую схему и ряд электронных блоков, а также программное обеспечение [8]. В январе 2014г. первые два образца прошли испытания, а затем, в июле 2014г., успешно прошли испытания для целей утверждения типа средства измерений. КО-10Ц был внесен в государственный реестр СИ. С 2015г. КО-10Ц постепенно вытеснит из производственной программы старый КО-10. Думается, что этому прибору уготована долгая жизнь на рынке, как и его предшественнику.

Дальнейшим развитием квадрантов, по логике, должна стать замена КО-60. Технически тут проблем нет, погрешность больше, можно сделать полнокруговой квадрант с диапазоном 360°, но вот здесь кроется серьезная проблема для конструкторов – КО-60 и КО-60М предназначены для работы при минусовых температурах, к сожалению, электронные блоки КО-10Ц не работают при температуре, ниже плюс 5°C, точнее, работают, но прибор теряет погрешность.

За все время производства в Новосибирске выпускались автоколлиматоры трех поколений – первое поколение выпускалось до середины 70-х годов, второе поколение – до середины 80-х годов, третье поколение выпускается с 80-х годов и по настоящее время. В настоящее время все автоколлиматоры разделены на две группы – автоколлиматоры и автоколлимационные трубки. До середины 80-х годов автоколлимационные трубки как самостоятельные изделия не выпускались, а входили в состав оптической скамьи ОСК в качестве комплектующего изделия. Отличие автоколлимационных трубок от автоколлиматоров состоит в отсутствии в их конструкции линзового компенсатора для точного отсчета, поэтому и цена деления, и, как следствие, погрешность измерения составляет не более 15" и ограничена фокусным расстоянием объектива прибора. Первое поколение новосибирских автоколлиматоров состояло из двух моделей с ценой деления 1,0, 0,5 и 0,25", приборы имели мощное основание, конструкция обеспечивала возможность извлечения трубки из основания и автономного использования, при наличии источника питания для осветителя. В начале 70-х годов была проведена модернизация приборов, и на рынок были выведены две модели АК-0,5У и АК-0,25У. Приборы имели меньшие массо-габаритные характеристики, магнитное основание, более удобный механизм угловых перемещений, имели наклонную ось окуляра, улучшившую эргономику, сохранили точностные параметры и имели новый дизайн. Блок питания автоколлиматора вынесли в отдельный корпус, что уменьшило влияние его нагрева на точность измерения. Надо сказать, что у второго поколения был и один недостаток, на который не обратили внимание при его проектировании – у приборов отсутствовала возможность извлечения трубки прибора из его автономного использования, это очень часто необходимо при проведении сложных измерений расположения отверстий или использования автоколлиматоров в составе сложных измерительных систем. Именно это и определило относительно недолгую производственную жизнь второго поколения автоколлиматоров. Уже в восьмидесятых годах на рынок вышло третье поколение автоколлиматоров. В него вошли – АКУ-1, АКУ-0,5, АКУ-0,2. Приборы имели цену деления 1, 0,5, 0,2" соответственно. На старшей модели – АКУ-0,2 цена деления была уменьшена до 0,2", правда погрешность измерения осталась на том же уровне, что и у АК-0,25У - 1,5". Отдельного упоминания заслуживает АКУ-1. В конце 70-х годов с производства сняли автоколлиматор МГА, представлявший малогаба-

ритную автоколлимационную трубку с возможностью автономного использования и имевшую цену деления 20". На тот момент казалось, что данная трубка больше не нужна – действительно были более точные автоколлиматоры, спрос на эту трубку практически сошел на нет. Но в начале 80-х образовалась незаполненная ниша в автоколлиматорах, те, кому нужна была точность выше 10", а вот диапазон измерений АК-0,5У их не устраивал. Кроме того, необходимо было обеспечить возможность двухкоординатных угловых измерений. Все это и стало причиной появления АКУ-1, малогабаритного автоколлиматора с унифицированным двухкоординатным автоколлимационным окуляром, возможностью автономного использования, оригинальной подставкой. В АКУ-0,5 и АКУ-0,2 были использованы унифицированные двухкоординатные окуляры, трубки были сделаны съемными для обеспечения возможности автономного использования. Так же в гамму вошли две «автоколлимационные трубки» АКТ-60 и АКТ-15. Системы обеспечивают двухкоординатные угловые измерения, построены на унифицированных автоколлимационных окулярах без линзовых компенсаторов.

Рассказывая о новосибирских автоколлиматорах [1] нельзя не упомянуть о такой уникальной разработке, как АФ-1Ц, это был первый в СССР автоколлиматор с цифровым отсчетом. Причем не единичный образец, а выпускавшийся малой серией. До 1991г. было выпущено около 50 автоколлиматоров. К сожалению, эти приборы отличались крайне невысокой надежностью, обусловленной конструкцией прибора – в качестве приемника использовался четырехсегментный фотоприемник, в измерение углов проводилось за счет смещения двухкоординатного линзового компенсатора, смещение которого проводилось с помощью шаговых двигателей. Надо отметить, что именно появление АК-Ц стало катализатором работ по созданию цифрового автоколлиматора АО «Швабе – Оборона и Защита». Справедливости ради, следует сказать, что работы по созданию цифрового автоколлиматора были включены в план развития гражданской продукции еще в 2008г., но работы велись не шатко не валко. В 2014г. завершена разработка конструкторской документации и начато изготовление опытных образцов. Планируется, что новый автоколлиматор АФ-0,05Ц будет поставлен на серийное производство в 2016г. Эта модель станет старшей моделью в серии из трех моделей, система будет базироваться на хорошо отработанном основании от автоколлиматоров АКУ. Конструкция базируется на фотоприемной матрице и осветителе с видимым рабочим диапазоном. Поскольку прибор цифровой, его управление полностью ведется с компьютера, подключаемого по шине USB, в состав программного обеспечения включено решение типовых углоизмерительных задач.

Дальнейшим развитием автоколлиматоров станет их интеграция с дальномерной системой для обеспечения автоматизированного решения таких задач, как контроль прямолинейности и плоскостности с расчетом величин отклонения в линейной мере [11, 12, 13, 15]. В

целях увеличения дальности измерения возможно внедрение лазерных источников с длиной волны 1,54 мкм, т.к. считается, что данная длина волны более безопасна для органов зрения человека, а это важно для автоколлиматоров, работающих в непрерывном режиме в непосредственной близости от людей.

### Список литературы

1. Автоколлиматор АКУ. Руководство по эксплуатации.
2. Головка делительная оптическая ОДГЭ. Руководство по эксплуатации.
3. Квадрант оптический КО-10Ц. Руководство по эксплуатации.
4. Комбаров М.С., Кузнецов М.М. Перспективы развития производства российских измерительных микроскопов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: [www.science-education.ru/119-15200](http://www.science-education.ru/119-15200) (дата обращения: 03.01.2015).
5. Кузнецов, М.М. О технологии на ФГУП ПО НПЗ.[Текст] / М.М. Кузнецов, М.С. Комбаров //Сб. матер. междунар. науч. конгресс «ГЕО-Сибирь 2010»,г. Новосибирск, т.5.ч.1- Новосибирск: СГГА, 2010. -С.193-196.
6. Кузнецов, М.М. Применение программного обеспечения для измерительных микроскопов в производстве. [Текст] / М.М. Кузнецов, М.С. Комбаров //Сб. научных трудов аспирантов и молодых ученых СГГА, 2009г., г. Новосибирск, вып.6- Новосибирск: СГГА, 2009. -С. 25-28.
7. Кузнецов, М.М. Программа utco209с для УЦО серии 209. [Текст] / М.М. Кузнецов, А.А. Марач, М.С. Комбаров //Сб. матер. междунар. науч. конгресс «ГЕО-Сибирь 2008», 24-28 апреля 2008г., г. Новосибирск, т.4- Новосибирск: СГГА, 2008. -С. 60-63.
8. Кузнецов, М.М. Система технического зрения. [Текст] / М.М. Кузнецов, М.С. Комбаров //Сб. матер. междунар. науч. конгресс «ГЕО-Сибирь 2010», 19-29 апреля 2010г., г. Новосибирск, т.5.ч.1- Новосибирск: СГГА, 2010. -С. 166-167.
9. Кузнецов, М.М. Оптика современных микроскопов [Текст] / М.М. Кузнецов, Н.К. Соснова, А.А. Марач // Сб. матер. междунар. науч. конгресс «ГЕО-Сибирь 2011», 19–29 апреля 2011г., г. Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т.5, ч.1. – С. 112-115.
10. Кузнецов, М.М. Система автоматизированной обработки результатов измерений для инструментального микроскопа. [Текст] / М.М. Кузнецов, А.Н. Соснов, Н.К. Соснова, А.А. // Сб. матер. междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь 2011», 19–29 апреля 2011 г., г. Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т.5, ч.1. – С. 132-135.
11. Кузнецов М.М., Соснов А.Н., Марач А.А. Общие положения и основные задачи отработки изделий современного приборостроения на технологичность // Интерэкспо ГЕО-

Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. С. 107–112.

12. Кузнецов М.М., Соснова Н.К., Марач А.А. Технологичность изделий современного приборостроения. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. С. 98-102.

13. Кузнецов М.М. Совершенствование оптических методов псевдоцветового кодирования изображений для фотометрических измерений. Автореф. кандидат. диссер. СГГА: 2011 . - 16с.

14. Оптические приборы. Том II. Под ред. Анисимова Л.Г., Меркулова Н.В. 1966г.

15. Системы оптической локации технологического контроля интегральных схем [Текст]: монография / М.Я. Воронин, И.Н. Карманов, М.М. Кузнецов, И.В. Лесных, А.В. Синельников; под общ. ред. М.Я. Воронина. – Новосибирск: СГГА, 2013. -239с.

#### **Рецензенты:**

Айрапетян В.С., д.т.н., доцент, профессор, заведующий кафедрой специальных устройств и технологий ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск;

Воронин М.Я., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», г. Новосибирск.