

УДК 681.7.028.2

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ЦЕНТРИРОВКИ ЛИНЗ ПРИ ВКЛЕЙКЕ В ОПРАВЫ

Буй Динь Бао<sup>a</sup>, С.М. Латыев<sup>a</sup>, Р. Тезка<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

<sup>b</sup> Технический университет Ильменау, Ильменау, 100565, Германия

Адрес для переписки: buidinhbao@mail.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 10.06.15, принята к печати 15.10.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-6-1030-1035

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Буй Динь Бао, Латыев С.М., Тезка Р. Автоматизация центрировки линз при вклейке в оправы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6. С. 1030–1035.

### Аннотация

Рассматриваются причины возникновения децентрировок линз при их вклейке в оправы. Приведены зависимости величины смещения центров кривизны рабочих поверхностей линзы с базовой оси оправы от первичных технологических погрешностей сопрягаемых деталей. Показано, что некоторые погрешности формы и расположения поверхностей оправы влияют не на точность центрирования линзы в оправе, а на точность контроля центрировки, и приводят к возникновению смещения центров рабочих поверхностей линзы при последующей сборке линзового узла в корпус объектива. Представлена функциональная схема станции для автоматизированной вклейки и центрировки линз в оправы, рассматриваются погрешности ее работы. Приводятся способы повышения точности центрировки линз в оправках, осуществляемой на этой станции, благодаря центрированию не по одной, а двум рабочим поверхностям линзы. Разработаны конструкции составных оправ для осуществления точной центрировки линз при сборке для различных вариантов их базирования в оправках. Выполнена модернизация технологического процесса автоматизированной юстировки линзы для осуществления центрировки по обеим рабочим поверхностям.

### Ключевые слова

линзы, оправы, центрировка, децентрировка, юстировка.

## AUTOMATION OF LENSES CENTERING AT GLUING IN THE FRAME

Bui Dinh Bao<sup>a</sup>, S.M. Latyev<sup>a</sup>, R. Theska<sup>b</sup>

<sup>a</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

<sup>b</sup> Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, 100565, Germany

Corresponding author: buidinhbao@mail.ru

### Article info

Received 10.06.15, accepted 15.10.15

doi:10.17586/2226-1494-2015-15-6-1030-1035

Article in Russian

**For citation:** Bui Dinh Bao, Latyev S.M., Theska R. Automation of lenses centering at gluing in the frame. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 6, pp. 1030–1035.

### Abstract

This paper discusses the causes of lenses decentration at their gluing in the frame. We give the dependences of displacement value of the centers of curvature for the lens working surfaces from the base frame axis on the primary technological errors of interfaced details. It is shown that some errors of form and position of the frame surfaces produce an effect not on the accuracy of the lenses centering in the frame, but on the accuracy control centering. That causes displacement of the lens working surfaces centers when assembling the lens unit into the objective body. A functional diagram of the station for automated gluing and centering of lenses in the frames is shown; the accuracy of its work is considered. We present the ways of accuracy improvement of lenses centering in the frames carried out on this station, thanks to the centering along not one, but two working surfaces of the lens. The design of composite frames has been developed for performing exact centering of lenses at assembly for the various options of their deployment in the frames. Modernization of technological process for the lens automated alignment has been performed to implement centering along both working surfaces.

### Keywords

lenses, frames, centering, decentration, alignment.

### Введение

Крепление линз и линзовых блоков (склеек) в оправках способом приклеивания в настоящее время получает все более и более широкое распространение [1–6]. Обусловлено это тем, что данный способ технологичен, обеспечивает компактность узла, позволяет закреплять линзы малого диаметра, с крутыми

радиусами и тонкими краями. Используемые эластичные марки современных клеящих веществ (герметики, полиуретановые, эпоксидные, композиционные клеи) позволяют избежать деформаций и напряжений оптической детали при вклеивании и при внешних воздействиях на узел крепления (например, при изменении температуры). В процессе сборки, до момента затвердевания клеящего вещества, возможна юстировка линзы относительно оправы. Благодаря относительной простоте автоматизации процесса сборки и появлению клеящих веществ быстрого отверждения под действием ультрафиолетового (УФ) излучения ряд фирм стал производить автоматизированные станции для вклейки и центрировки линз и других оптических деталей в их оправы [7–11].

Линза и оправа линзы имеют погрешности изготовления, влияющие на центрировку, поэтому ее выполнение с необходимой точностью требует анализа погрешностей собираемых деталей и погрешностей, возникающих при вклейке и последующей сборке линзовых узлов. Автоматизированные станции для вклейки линз в оправы имеют собственные погрешности функционирования, которые также необходимо исследовать и оценить степень их влияния на точность осуществляемой центрировки. Известные технологические процессы центрировки линз на этих станциях позволяют осуществлять центрировку только одной рабочей поверхностью линзы. Для осуществления центрировки обеих поверхностей линзы в оправе необходимо было разработать специальные конструкции оправ и модернизировать технологический процесс ее вклейки.

### Погрешности, вызывающие децентрировки линз при вклейке в оправы

При закреплении линзы в оправе необходимо обеспечить расположение ее центров кривизны рабочих поверхностей на базовой оси оправы (если одна из рабочих поверхностей линзы плоская, то она должна располагаться перпендикулярно базовой оси оправы, если асферическая – то ось ее симметрии должна быть совмещена с базовой осью). Под базовой (ВГ) осью понимается ось цилиндрической базовой поверхности Г оправы, проходящая перпендикулярно ее плоской базовой поверхности В (рис. 1). Децентрировки (смещения центров кривизны с базовой оси оправы) возникают из-за технологических погрешностей изготовления линзы и оправы, которые имеют различные значения коэффициентов влияний (передаточные функции) на эти смещения. Например, децентрировка  $\Delta e_1$  самой линзы при ее изготовлении (согласно ГОСТ 2.412–81<sup>1</sup> она задается позиционным допуском, допуском формы (разнотолщинностью) или допуском перпендикулярности плоской поверхности) при установке ее базовой поверхностью А на опорный торец Е гнезда оправы (рис. 1) вызывает смещение (децентрировку) центра  $C_B$  кривизны поверхности Б на величину, равную позиционному допуску на эту погрешность:

$$\Delta C_{B\Delta e_1} = \Delta e_1 \cdot$$

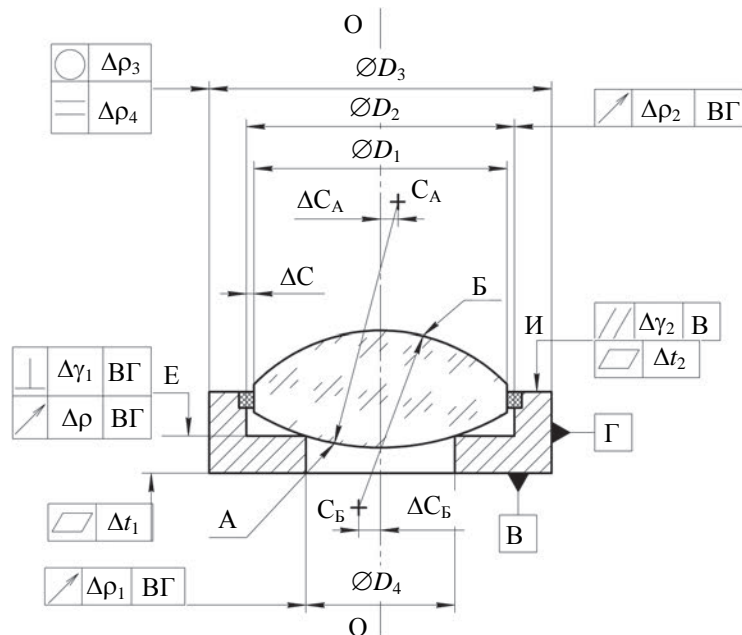


Рис. 1. Линза в оправе

Неперпендикулярность  $\Delta \gamma_1$  (биение  $\Delta \rho$ ) опорного торца Е гнезда оправы приводит к децентрировке центров кривизны обеих рабочих поверхностей линзы, пропорциональных их радиусам:

<sup>1</sup> ГОСТ 2.412-81. Правила выполнения чертежей и схем оптических изделий. Введен 01.01.1983. М.: Стандартинформ, 2011. 16 с.

$$\Delta C_{A\Delta\gamma_1} \approx R_A \Delta\gamma_1 = R_A \Delta\rho / D_4 ;$$

$$\Delta C_{B\Delta\gamma_1} \approx (R_B - d) \Delta\gamma_1 = (R_B - d) \Delta\rho / D_4 ,$$

где  $d$  – толщина линзы по оси.

Эксцентриситет (биение)  $\Delta\rho_1$  отверстия  $D_4$  в посадочном торце  $E$  оправы (в случае выполнения условия самоцентрировки линзы, когда в сопряжении отнимаются смещения линзы по осям  $Z, X, Y$ ) или посадочного отверстия  $D_2$  оправы (если условие самоцентрировки не выполняется, т.е. поверхность  $A$  приравнивается к плоской, и в сопряжении отнимается смещение вдоль оси  $Z$  и повороты вокруг осей  $X, Y$ ) вызывает смещения центров кривизны сферических рабочих поверхностей, равные величине эксцентриситета  $\Delta C_A = \Delta C_B = \Delta\rho_1$ .

Зазор  $\Delta C$  в посадке линзы по диаметрам  $D_1$  и  $D_2$  может привести к наклону  $\Delta\varepsilon$  линзы вокруг центра кривизны поверхности  $A$  (при выполнении условия самоцентрировки) при установке в оправу, приводящему к смещению центра кривизны поверхности  $B$  на величину

$$\Delta C_{B\Delta C} = (R_A + R_B - d) \Delta\varepsilon = (R_A + R_B - d) \Delta C / \left( R_A \sqrt{1 - D_1^2 / (4R_A^2)} \right) .$$

При невыполнении условия самоцентрировки, линза может сместиться в зазоре  $\Delta C$  посадки, что приведет к децентрировке поверхности  $B$  (а также и  $A$ , если поверхность сферическая) на величину, равную боковому зазору:  $\Delta C_A = \Delta C_B = \Delta C$ .

Заметим, что если допуск на перпендикулярность опорного торца задан не в виде торцевого биения  $\Delta\rho$  (учитывающего погрешность расположения и шероховатость поверхности), а допуском на отклонение от перпендикулярности (допустимым наклоном торцевой поверхности  $\Delta\gamma_1$ ), то при расчете децентрировок рабочих поверхностей линзы следует учитывать также влияние шероховатости торцевой поверхности ( $R_Z$ ) оправы, которая вызывает следующие смещения центров кривизны:

$$\Delta C_{A\Delta\gamma_1} \approx R_A R_Z / D_4 ;$$

$$\Delta C_{B\Delta\gamma_1} \approx (R_B - d) R_Z / D_4 ,$$

где  $d$  – толщина линзы по оси.

Ряд погрешностей оправы приводят к погрешностям контроля центрировки линзы в оправе либо к появлению децентрировки при последующей сборке линзового узла (узлов) в корпус объектива. Это такие погрешности формы и расположения ее поверхностей, как отклонение от круглости ( $\Delta\rho_3$ ) и нецилиндричность ( $\Delta\rho_4$ ) базовой цилиндрической поверхности  $\Gamma$ , неплоскостность ( $\Delta t_1$ ) базовой плоской поверхности  $B$  и неплоскостность ( $\Delta t_2$ ) поверхности  $I$ , отклонение от параллельности ( $\Delta\gamma_2$ ) поверхностей  $B$  и  $I$ .

Например, отклонение от круглости, в частности, овальность (или огранка), приводит к изменению расположения оси реального профиля оправы (в разных сечениях) относительно прилегающей (номинальной) окружности. Оно вызывает смещение центров кривизны обеих рабочих поверхностей при контроле центрировки из-за нестабильности положения базовой оси оправы. При овальности поверхности  $\Gamma$  оно будет определяться полуразностью максимального и минимального диаметров  $d_{\max}, d_{\min}$ :  $\Delta C_A = \Delta C_B = \Delta\rho_3 = (d_{\max} - d_{\min})/2$ . Эта погрешность приведет при сборке линзового узла в корпус объектива к возникновению децентрировки при сопряжении с цилиндрическим отверстием корпуса, имеющим отклонения круглости и профиля продольного сечения.

### Центрировка линз при вклейке в оправы

Для повышения точности центрировки линзы в процессе вклейки ее можно юстировать наклоном или сдвигом в увеличенном зазоре посадки линзы в оправу, контролируя процесс центрировки рабочих поверхностей по фокусирующей на их центры кривизны автоколлимационной трубе. Однако при этом, как правило, центрируется только одна рабочая поверхность, причем точность ее центрировки зависит от точности центрировочных средств.

Рассмотрим эти обстоятельства на примере использования автоматизированной станции OptiCentric фирмы TRIOPTICS [7, 11], которая центрирует линзу 3 при ее вклейке в оправу 2 быстроотвердевающим клеем под действием УФ излучения (рис. 2).

Центрировка линзы осуществляется ее наклоном (сдвигом) в зазоре посадки вокруг центра кривизны ( $C_A$ ) поверхности  $A$  с помощью пьезоманипулятора 4, работающего под управлением фотоэлектрического автоколлиматора 5 с ПЗС (CCD)-матрицей (ПЗС – прибор с зарядовой связью, CCD – Charge-Coupled Device), приводящего центр кривизны поверхности  $B$  линзы на ось вращения патрона (цанги) 1 шпинделя станции. После этого включается УФ освещение, и линза фиксируется в оправе.

Недостатком этой и подобных станций, несмотря на высокую чувствительность следящей системы 4 и 5, является то, что здесь производится центрировка только одной поверхности ( $B$ ) линзы. Исходя из этого, если, например, опорный торец ( $E$ ) не перпендикулярен базовой оси оправы, то децентрировка второй поверхности ( $A$ ) линзы остается. Центр кривизны  $C_A$  будет смещен с базовой оси оправы на величину

$$\Delta C_A \approx (R_A - h) \Delta \gamma_2 ,$$

где  $R_A$  – радиус кривизны поверхности А линзы;  $h$  – стрелка прогиба поверхности А линзы при опоре на торец Е, а если поверхность А плоская, то она будет не перпендикулярна базовой оси оправы на  $\Delta \gamma_2$ .

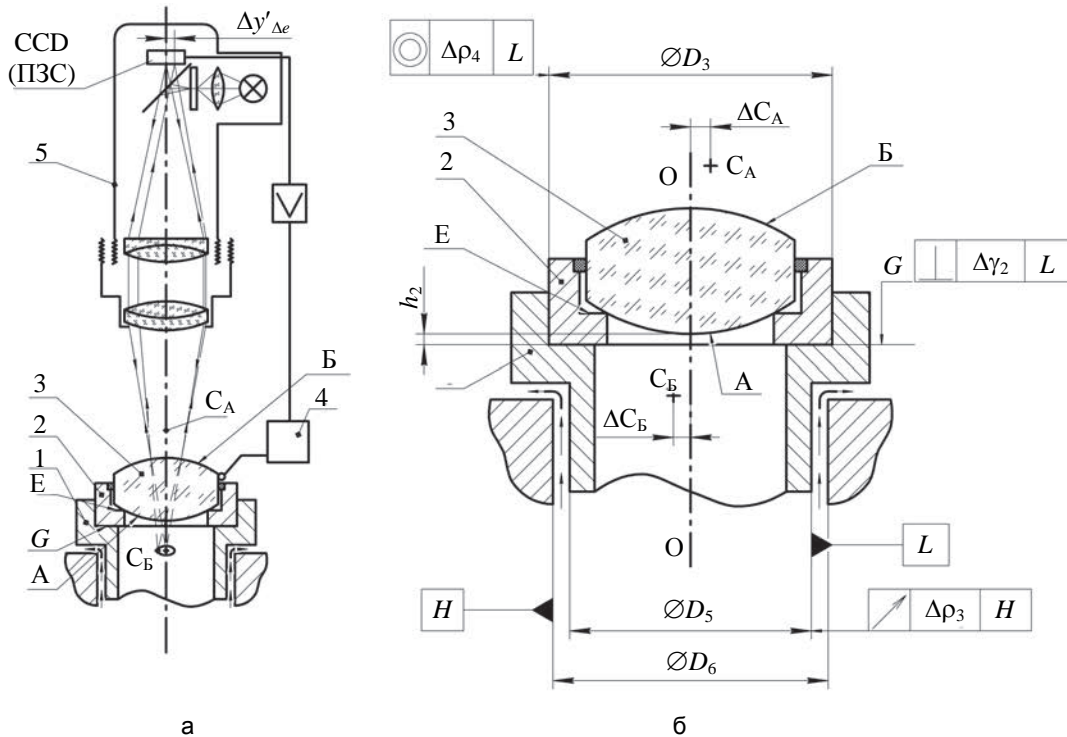


Рис. 2. Функциональная схема станции для вклейки и центрировки линзы в оправе (а); схема крепления оправы линзы на станции (б)

Причинами остаточной децентрировки линзы в оправе при вклейке на станции являются также биение оси вращения шпинделя станции ( $\Delta \rho_3$ ), децентрировка (несоосность) оси внутреннего отверстия цанги (патрона) относительно оси шпинделя ( $\Delta \rho_4$ ) и биение (наклон  $\Delta \gamma_2$ ) базового торца (G) цанги (рис. 2, б). В результате даже при выставленных центрах кривизны линзы на ось шпинделя станка децентрировка линзы остается, так как центры кривизны не будут лежать на базовой оси оправы:

$$\Delta C_{A\Delta \gamma_2} \approx (R_A + h_2) \Delta \gamma_2 ; \Delta C_{B\Delta \gamma_2} \approx (R_B - d - h_2) \Delta \gamma_2 ;$$

$$\Delta C_{A\Delta \rho_3} = \Delta C_{B\Delta \rho_3} = \Delta \rho_3 ; \Delta C_{A\Delta \rho_4} = \Delta C_{B\Delta \rho_4} = \Delta \rho_4 ,$$

где  $h_2$  – расстояние от базового торца (G) цанги до вершины линзы (рис. 2, б).

Благодаря тому, что шпиндель станции вращается в аэростатических подшипниках, его биение достаточно мало (0,1–0,2 мкм). Малыми, как правило, являются также биения внутренней оси и базового торца цанги, которые могут быть измерены и компенсированы. В связи с этим остаточная децентрировка линзы после ее центрирования на станции в основном будет определяться несовпадением центра кривизны поверхности А с осью вращения шпинделя станции ( $\Delta C_A$ ).

Центрировка поверхности А на станции возможна, если оправу линзы выполнить составной, содержащей основную 1 и промежуточную 2 части (рис. 3, а) [12–15]. Центрировка линзы 3 относительно базовой оси оправы 1 осуществляется в следующей последовательности. Вначале, воздействуя силой  $F_1$  на промежуточную оправу 2, наклоняют ее вокруг центра кривизны  $C_0$  опорной сферической поверхности оправы до совмещения центра кривизны поверхности А линзы с осью вращения шпинделя ( $O_1$ – $O_2$ ). Затем, зафиксировав положение оправы 2 и воздействуя силой  $F_2$  на линзу, совмещают центр кривизны поверхности Б с осью шпинделя и фиксируют положение линзы. Таким образом, линза центрируется обеими поверхностями относительно базовой оси (ВГ) основной части оправы.

В некоторых случаях мениски, двояковогнутые и другие линзы имеют так называемый «П»-образный буртик или плоскую базовую фаску, что не позволяет пьезоманипулятору наклонять линзу вокруг одного из центров кривизны ее рабочей поверхности. В таких случаях промежуточная оправа должна быть выполнена так, чтобы центр кривизны ( $C_0$ ) ее опорной сферической поверхности (или центр кривизны сферической поверхности основной части оправы) располагался в одной плоскости с одним из центров кривизны (например,  $C_A$ ) рабочей поверхности линзы (рис. 3, б). Центрировка обеих рабочих поверхностей осуществляется в обратной последовательности: вначале сдвигом линзы в промежуточной оправе приводят центр кривизны ( $C_A$ ) на ось вращения шпинделя, а затем наклоном промежуточной оп-

равы совмещают ее центр ( $C_B$ ) с осью вращения. На рис. 3, в, представлена конструкция составной оправы, в которой отрицательная линза опирается плоской фаской на сферический опорный буртик промежуточной оправы. Центр кривизны опорного буртика Д оправы лежит в одной плоскости с центром кривизны рабочей поверхности А линзы, что позволяет (аналогично рассмотренным выше вариантам) осуществить центровку линзы.

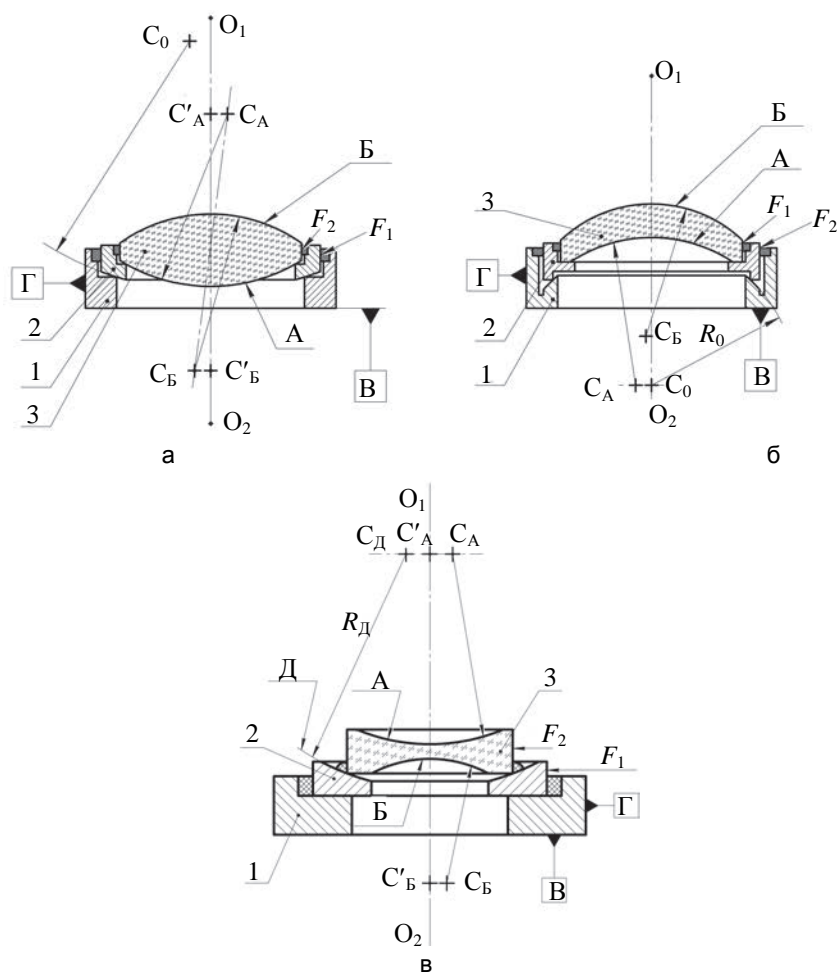


Рис. 3. Составная оправа для центровки линзы: линза базируется на торец промежуточной оправы сферической поверхностью (а); промежуточная оправа линзы базируется на сферический торец основной оправы (б); линза базируется плоской фаской на сферический торец промежуточной оправы (в)

### Заключение

Точность центрирования линз в оправках при их закреплении приклеиванием зависит от соответствующих погрешностей изготовления линз и оправ. Ряд погрешностей оправы, таких как отклонение ее наружных базовых поверхностей от круглости, цилиндричности (профиля продольного сечения), плоскостности и взаимной параллельности приводит к погрешности контроля центровки линзы в оправе и к появлению децентрировки при последующей сборке линзового узла (узлов) в корпус объектива. Центрировка может быть существенно повышена благодаря использованию автоматизированных центрировочных станций и специальных конструкций оправ, позволяющих центрировать не одну, а обе ее рабочие поверхности. Остаточная децентрировка линз относительно базовых осей оправ в этом случае мала и определяется биениями шпинделя станции и эксцентриситетом базирующего отверстия цанги (патрона, посадочного конуса).

### Литература

1. Yoder P.R.Jr. Mounting Optics in Optical Instruments. 2<sup>nd</sup> ed. Bellingham, Washington: SPIE PRESS, 2008. 753 p.
2. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб.: Лань, 2015. 560 с.
3. Langehanenberg P., Heinisch J., Stickler D. Smart and precise alignment of optical systems // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. 2013. V. 8884. Art. 88842E. doi: 10.1117/12.2034592

4. Sondermann M. Mechanische Verbindungen zum Aufbau optischer Hochleistungssysteme. Bericht IMGK, Band 19. Technische Universitaet Ilmenau, 2011. 162 p.
5. Сулим А.В. Производство оптических деталей. Изд. 3-е. М.: Высшая школа, 1975. 316 с.
6. Латыев С.М., Бао Буй Динь. Методы центрировки линз в оптических системах // Изв. вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 11. С. 66–72.
7. Test of Camera Modules, Autocollimator, MTF System – TRIOPTICS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.trioptics.com>, своб. Яз. англ. (дата обращения 24.10.2015).
8. Latyev S.M., Rumyantsev D.M., Kuritsyn P.A. Design and process methods of centering lens systems // Journal of Optical Technology. 2013. V. 80. N 3. P. 197–200. doi: 10.1364/JOT.80.000197
9. Langehanenberg P., Heinisch J., Buss C., Wilde C. High-precision mounted lens production // Optik and Photonik. 2014. V. 9. N 2. P. 41–45.
10. Weber G. Justageautomat fuer Dreehgeber-Impulsscheiben // Tagungsband 50 IWK. Ilmenau, 2005. P. 59–60.
11. Heinisch J. Zentrierfehler messen, optiken automatisch justieren und montieren // Photonik. 2008. V. 6. P. 46–48.
12. Латыев С.М., Буй Динь Бао, Трегуб В.П. Способ центрировки линзы в оправе и оправы для его осуществления. Патент РФ № 2542636. 2015.
13. Латыев С.М., Буй Динь Бао, Трегуб В.П., Белойван П.А. Способ центрировки линзы в оправе и оправы для его осуществления. Патент РФ № 2544288. 2015.
14. Bao Bui Dinh, Latyev S.M., Theska R. Speaking about methods of lens centering / In: Shaping the Future by Engineering. Ilmenau Scientific Colloquium. Ilmenau, 2014. 8 p.
15. Буй Д., Белойван П.А., Латыев С.М., Табачков А.Г. Центрировка объективов штабельной конструкции // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 108.

<i>Буй Динь Бао</i>	– аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <a href="mailto:buidinhbao@mail.ru">buidinhbao@mail.ru</a>
<i>Латыев Святослав Михайлович</i>	– доктор технических наук, профессор, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <a href="mailto:smlatyev@yandex.ru">smlatyev@yandex.ru</a>
<i>Тезка Рене</i>	– доктор-инженер, профессор, профессор, Технический университет Ильменау, Ильменау, 100565, Германия, <a href="mailto:rene.theska@tu-ilmenau.de">rene.theska@tu-ilmenau.de</a>
<i>Bui Dinh Bao</i>	– postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <a href="mailto:buidinhbao@mail.ru">buidinhbao@mail.ru</a>
<i>Svyatoslav M. Latyev</i>	– D.Sc., Professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <a href="mailto:smlatyev@yandex.ru">smlatyev@yandex.ru</a>
<i>Rene Theska</i>	– Dr.-Ing., Professor, Professor, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, 100565, Germany, <a href="mailto:rene.theska@tu-ilmenau.de">rene.theska@tu-ilmenau.de</a>