ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71683— 2024

Оптика и фотоника

СТЕКЛО ОПТИЧЕСКОЕ

Метод определения волновой аберрации по двулучепреломлению

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова») и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 октября 2024 г. № 1433-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 2
5 Требования к испытуемым образцам 3
6 Требования к аппаратуре 3
7 Проведение измерений 3
8 Обработка результатов 3
9 Оформление результатов измерений 5
Приложение А (справочное) Метод определения волновой аберрации по двулучепреломлению, применяемый для установления категории оптической однородности стекла 6
Приложение Б (справочное) Фотоупругие постоянные оптических бесцветных стекол 12
Приложение В (справочное) Номограмма для определения волновой аберрации по двулучепреломлению 15
Приложение Г (рекомендуемое) Форма протокола определения волновой аберрации по двулучепреломлению 21

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

СТЕКЛО ОПТИЧЕСКОЕ

Метод определения волновой аберрации по двулучепреломлению

Optics and photonics. Optic glass. Method for determination wave aberration by birefringence

Дата введения — 2025—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на оптическое бесцветное стекло по ГОСТ 3514, оптическое стекло серии 100, оптическое кварцевое стекло по ГОСТ 15130 (далее — стекло) и устанавливает метод определения волновой аберрации, обусловленной термоупругими напряжениями в стекле, по двулучепреломлению на длине волны 550 нм.

Метод предназначен для контроля качества заготовок стекла и готовых деталей любых размеров и форм, кроме призм.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 3514 Стекло оптическое бесцветное. Технические условия

ГОСТ 3519 Материалы оптические. Методы определения двулучепреломления

ГОСТ 3521 Стекло оптическое. Метод определения бессвильности

ГОСТ 15130 Стекло кварцевое оптическое. Общие технические условия

ГОСТ 23136 Материалы оптические. Параметры

ГОСТ 23778 Измерения оптические поляризационные. Термины и определения

ГОСТ 32361 Стекло и изделия из него. Пороки. Термины и определения

ГОСТ 32539 Стекло и изделия из него. Термины и определения

ГОСТ Р 8.568 Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения

ГОСТ Р 8.654 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения

ГОСТ Р 8.674 Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к средствам измерений и техническим системам и устройствам с измерительными функциями

ГОСТ Р 8.678 Государственная система обеспечения единства измерений. Форма оценки соответствия технических систем и устройств с измерительными функциями установленным требованиям

ГОСТ Р 71250 Оптика и фотоника. Производство оптических материалов. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого

Издание официальное

стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 23778, ГОСТ 32539, ГОСТ 32361 и ГОСТ Р 71250, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **двулучепреломление (двойное лучепреломление):** Явление, заключающееся в возникновении двух взаимно перпендикулярных направлений в среде, параллельно которым ориентируются плоскости поляризации ортогональных линейно-поляризованных составляющих оптического излучения при его распространении в этой среде.

3.2 **фотоупругость:** Свойство оптического материала, заключающееся в изменении его показателя преломления при приложении к нему нагрузок сжатия или растяжения, в результате чего материал переходит из изотропного в анизотропное состояние и возникает двулучепреломление лучей света, которое исчезает при снятии приложенного напряжения.

Примечание — Фотоупругость оптического материала характеризуется фотоупругими постоянными C_1 и C_2, выражающими приращение показателей преломления в направлениях вдоль и перпендикулярно действию напряжения, равного 105 Па, а также оптическим коэффициентом напряжения $B = C_1 - C_2$.

3.3 **оптический коэффициент напряжения:** Постоянная, связывающая разность показателя преломления необыкновенного и обыкновенного лучей.

4 Общие положения

4.1 Метод определения волновой аберрации, обусловленной термоупругими напряжениями, состоит в измерении разности хода при двулучепреломлении в испытуемом образце стекла (заготовка, оптическая деталь) в рабочем направлении по краю и в направлении наибольшего размера в середине торца и последующим расчетом волновой аберрации.

4.2 При проведении испытаний должны быть обеспечены следующие условия, если иные не указаны в нормативной документации (НД) на испытуемый образец стекла и используемую аппаратуру:

- температура воздуха в помещении — (25 ± 10) °С;
- относительная влажность воздуха — от 45 % до 80 % (при температуре воздуха 20 °С);
- атмосферное давление — от 86,6 до 106,6 кПа.

4.3 Перед началом испытаний образцы стекла должны быть выдержаны в указанных условиях не менее 2 ч или в течение времени, достаточного для достижения ими температуры окружающего воздуха по всему объему, если условия хранения и транспортирования от них отличались.

4.4 Средства измерений, их составные части и программное обеспечение, стандартные образцы, средства контроля и испытательное оборудование, эталоны единиц величин должны обеспечивать проведение мониторинга и измерений параметров и характеристик процессов и продукции в заданных условиях и диапазонах измерений с необходимой точностью и соответствовать требованиям НД.

4.5 Средства измерений должны быть поверены или откалиброваны.

4.6 Эталоны единиц величин должны быть аттестованы.

4.7 Стандартные образцы должны иметь утвержденный тип и соответствовать установленному сроку службы.

4.8 Испытательное оборудование должно быть аттестовано в соответствии с ГОСТ Р 8.568; средства измерений, используемые в составе испытательного оборудования, должны быть поверены.

4.9 Средства контроля и индикаторы, являющиеся техническими средствами, должны быть проверены на соответствие эксплуатационной документации.

4.10 Программное обеспечение средств измерений должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.654.

4.11 Технические системы и устройства с измерительными функциями должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.674 и ГОСТ Р 8.678.

5 Требования к испытуемым образцам

5.1 Испытуемые образцы стекла (заготовки, готовые оптические детали) могут иметь форму дисков, прямоугольных и квадратных пластин, а также линз. Отношение диаметра (диагонали) к толщине должно быть не менее 1,5:1.

5.2 Поверхности заготовок в направлении просмотра могут быть шлифованными или полированными. Измерение двулучепреломления в заготовках с необработанными и шлифованными поверхностями проводят с применением иммерсионной жидкости.

5.3 Определение волновой аберрации по двулучепреломлению заготовок размером не более 100 мм проводят выборочно, при размере более 100 мм контролю подлежит каждая заготовка.

5.4 При использовании метода определения волновой аберрации по двулучепреломлению в качестве приемо-сдаточного испытания стекла контролю подлежат отбираемые от каждой партии образцы стекла, именуемые пробой.

5.5 Для выборочного контроля от каждой партии, составленной из заготовок одной варки и одного отжига, отбирают пробу в количестве 5 % заготовок партии, но не менее 10 шт.

5.6 При отборе пробы учитывают следующее:

а) отбираются наиболее крупные заготовки;

б) при совместном отжиге заготовок разных партий отбираемые заготовки должны, по возможности, соответствовать наивысшим заданным категориям по оптической однородности по ГОСТ 23136.

Примечание — Метод определения волновой аберрации по двулучепреломлению, применяемый для установления категории оптической однородности стекла, приведен в приложении А.

6 Требования к аппаратуре

6.1 Измерения двулучепреломления в образцах стекла по краю и в торцовом направлении проводят на поляризационном измерительном компенсаторе или полярископе-поляриметре.

6.2 Поляризационный измерительный компенсатор, полярископ-поляриметр и их составные части должны соответствовать требованиям ГОСТ 3519.

7 Проведение измерений

7.1 Подготовка к измерениям — по ГОСТ 3519.

7.2 Проведение измерений — по ГОСТ 3519. Измеряют число темных полос N между нейтральной полосой и серединой или краем образца и угол поворота Θ анализатора при компенсации разности хода лучей в рабочем направлении.

Примечания

1 Двулучепреломление в направлении наибольшего размера заготовки измеряют в середине торца заготовки.

2 Допускается проводить измерения у края торца заготовок с отношением диаметра (диагонали) к толщине менее 6 : 1, при этом измеренное значение следует уменьшить в два раза.

3 При измерении двулучепреломления по краю в несимметричных линзах в расчет принимают размер стекла в направлении просмотра в месте измерения.

8 Обработка результатов

8.1 Разность хода при двулучепреломлении по краю $\delta_к$, нм/см, вычисляют по формуле

$$\delta_к = \frac{3\left(180N_к + \Theta_к\right)}{d}, \quad (1)$$

где $N_к$ — число темных полос между нейтральной полосой и краем заготовки стекла;

$\Theta_к$ — угол поворота анализатора при компенсации разности хода лучей в рабочем направлении, град;

d — толщина образца, в направлении которой измеряют $N_к$ и $\Theta_к$, см.

Примечание — Перед значением разности хода при двулучепреломлении, соответствующей напряжениям сжатия, ставят знак минус, перед напряжениями растяжения — плюс.

8.2 Разность хода при двулучепреломлении по торцу $\delta_т$, нм/см, вычисляют по формуле

$$\delta_т = \frac{3\left(180N_т + \Theta_т\right)}{l}, \quad (2)$$

где $N_т$ — число темных полос между нейтральной полосой и серединой заготовки стекла;

$\Theta_т$ — угол поворота анализатора при компенсации разности хода лучей в направлении наибольшего размера стекла, град;

l — размер образца (длина или диаметр), в направлении которого измеряют $N_т$ и $\Theta_т$, см.

8.3 Волновую аберрацию $К_н$ вычисляют по формуле

$$K_н = \frac{d}{B_\lambda}\left[\left(\frac{3C_2 + C_1}{2}\right)\delta_к - 2C_2\delta_т\right], \quad (3)$$

где B_λ — оптический коэффициент напряжения, нм·см/кгс, установленный для стекол разных марок;

λ = 550 нм = 0,55·10^{-4} см — длина волны при измерении двулучепреломления на поляриметре с зеленым светофильтром;

C_1 — фотоупругая постоянная, характеризующая приращение показателя преломления при увеличении напряжений в стекле на 1 кгс/см^2 для излучения с колебаниями, параллельными направлению действия напряжений, см^2/кгс;

C_2 — фотоупругая постоянная, аналогичная C_1, но для излучения с колебаниями, перпендикулярными направлению действия напряжений, см^2/кгс.

Значения C_1 и C_2 для оптических бесцветных стекол различных марок приведены в приложении Б.

8.4 Определение волновой аберрации по номограмме

8.4.1 Волновую аберрацию по номограмме (см. приложение В) определяют в следующей последовательности:

а) для марки стекла испытуемого образца по таблице В.1 находят значения коэффициентов M и P;

б) через точки ординат, соответствующие измеренному значению минус $\delta_к$ и коэффициенту минус M, проводят прямую I до пересечения с ординатой $M \cdot \delta_к$;

в) через точки ординат, соответствующие измеренному значению $\delta_т$ и коэффициенту минус P, проводят прямую II до пересечения с ординатой $P \cdot \delta_т$;

г) через точки, полученные по перечислениям б) и в), проводят прямую III. По точке пересечения этой прямой с ординатой $K_н/d$ определяют значение $K_н/d$.

Примечание — Перед значением разности хода при двулучепреломлении, соответствующей напряжениям сжатия, ставят знак минус, перед напряжениями растяжения — плюс.

8.4.2 При наличии в заготовках зон с краевым двойным лучепреломлением, соответствующим напряжениям растяжения, для вычисления значения $K_н/d$ по номограмме из значения ординаты $P \cdot \delta_т$ вычитают значение ординаты $M \cdot \delta_к$, т. к. в этом случае знак у $\delta_к$ изменится на обратный.

8.5 Для испытуемого образца определяют максимальное $K_{н.макс}$ и минимальное $K_{н.мин}$ значения волновой аберрации.

8.6 Астигматизм волнового фронта вышедшей из стекла световой волны вычисляют по формуле

$$\Delta K = K_{н.макс} - K_{н.мин}. \quad (4)$$

Примечание — Значения $K_{н.макс}$ и $K_{н.мин}$ подставляют в формулу с учетом знака «+» или «–».

8.7 Погрешность метода определения значения волновой аберрации не должна превышать ±0,05λ, где λ = 550 нм.

9 Оформление результатов измерений

9.1 Результаты измерений оформляют в виде протокола по форме, принятой в организации, проводившей измерения.

9.2 В протоколе указывают следующие сведения:

- полное и сокращенное наименование организации, проводившей измерения;
- дату проведения измерений;
- основание и цель проведения измерений;
- тип и номер основных средств измерений и вспомогательных устройств;
- данные об условиях проведения измерений (параметры окружающей среды или другие параметры, указанные в НД);
- идентификационные данные образцов;
- результаты измерений.

В конце протокола должны быть указаны должности, фамилии, инициалы, а также подписи всех сотрудников, проводивших измерения и обработку их результатов.

Форма протокола определения волновой аберрации по двулучепреломлению приведена в приложении Г.

Приложение А
(справочное)

Метод определения волновой аберрации по двулучепреломлению, применяемый для установления категории оптической однородности стекла

А.1 Значения волновых аберраций $K_н$ и ΔK, определенные по двулучепреломлению, рекомендуется применять для оценки оптической однородности, категории которой установлены в ГОСТ 23136.

А.2 Полная волновая аберрация обстоит из трех составляющих:

- $K_Ф$ — волновая аберрация, обусловленная физической неоднородностью показателя преломления, возникшей в процессе отжига заготовки стекла;
- ΔK — астигматизм волнового фронта, обусловленного неоднородностью показателя преломления, возникшего вследствие неравномерного распределения напряжений по краю заготовки;
- $K_х$ — волновая аберрация, обусловленная химической неоднородностью показателя преломления, возникшей в процессе варки или разделки стекла.

А.3 Волновая аберрация $K_Ф$, обусловленная физической неоднородностью показателя преломления, возникшей в процессе отжига заготовки стекла, представляет собой сумму волновых аберраций, обусловленных структурной неоднородностью $K_с$ и неоднородностью, вызванной термоупругими напряжениями $K_н$:

$$K_Ф = K_с + K_н. \quad (А.1)$$

А.4 Для того чтобы волновая аберрация $K_х$ не выводила испытуемый образец за пределы заданной категории оптической однородности, бессвильность испытуемого образца, определяемая по ГОСТ 3521, должна соответствовать требованиям ГОСТ 23136 по оптической однородности.

А.5 Структурную составляющую волновой аберрации $K_с$ исключают для бесцветного оптического стекла, за исключением кварцевого стекла, в заготовках и готовых деталях, отожженных при соблюдении любого из следующих условий:

а) температура выдержки T_1 при отжиге заготовки соответствует вязкости $10^{11,6 \pm 0,2}$ пуаз (см. таблицу А.1). При этом длительность выдержки должна быть не менее указанной в таблице А.2. Скорость охлаждения не регламентируется, но она должна быть такой, чтобы охлаждение всех точек отжигаемой заготовки (партии заготовок) начиналось от температуры, соответствующей вязкости 10^{13} пуаз и менее, с одинаковой скоростью;

б) температура выдержки T_2 при отжиге заготовки соответствует вязкости $10^{13,0 \pm 0,5}$ пуаз (см. таблицу А.1). При этом длительность выдержки должна быть не менее значений, указанных в таблице А.2. Скорость снижения температуры в ответственном периоде отжига до температуры T_3 (см. таблицу А.1) должна быть постоянной и не превышать значений, указанных в таблице А.3;

в) если заготовка получена путем холодной разделки блочного стекла, то при отжиге блока температура выдержки должна соответствовать вязкости от 10^8 до 10^{10} пуаз. Длительность выдержки при этой температуре должна быть не менее 12 ч. При этом все точки отжигаемого блока должны начинать линейное охлаждение от температуры, соответствующей вязкости $10^{13,0 \pm 0,5}$ и менее пуаз, с одинаковой скоростью.

Таблица А.1 — Температуры отжига оптических бесцветных стекол, контролируемых по методу волновой аберрации

Марка стекла	Температура, °С							
	выдержки при отжиге						нижней границы отжига	
	T_1			T_2			T_3	
	Номинал	Допуск		Номинал	Допуск		Номинал	Допуск
		–	+		–	+		±
ЛК1	470	10	20	410	10	20	240	25
ЛК3	530	10	20	480	10	20	320	25
ЛК4	600	15	20	540	15	25	370	25
ЛК5	645	15	25	580	15	25	390	25
ЛК6	450	10	20	395	10	20	240	20

Продолжение таблицы А.1

Марка стекла	Температура, °С							
	выдержки при отжиге						нижней границы отжига	
	T_1			T_2			T_3	
	Номинал	Допуск		Номинал	Допуск		Номинал	Допуск
		–	+		–	+		±
ЛК7	645	15	20	585	15	25	410	25
ЛК8	550	10	20	510	10	20	370	25
ФК1	515	10	10	480	10	15	370	10
ФК13	585	5	10	555	10	15	450	10
ФК14	540	5	10	510	10	15	400	10
К1	650	10	10	615	10	15	495	15
К2	595	10	20	545	10	20	385	20
К3	590	10	15	550	10	15	410	15
К5	600	10	15	560	10	15	430	15
К8	585	10	15	540	10	20	395	15
К14	585	10	10	545	10	15	415	15
К15	585	10	15	540	10	15	395	15
К17	595	10	10	560	10	15	445	15
К18	575	10	20	530	10	20	385	20
К19	590	10	15	545	10	20	400	15
К20	610	10	15	560	10	20	405	15
БК4	600	10	15	555	10	20	410	15
БК6	590	10	10	560	10	15	420	15
БК8	615	10	10	570	10	15	430	15
БК9	610	10	15	565	10	20	420	15
БК10	615	10	15	570	10	20	430	15
БК11	625	10	10	590	10	15	460	15
БК12	605	10	15	560	10	20	430	15
БК13	625	10	10	590	10	15	480	15
ТК1	655	10	10	620	10	15	500	15
ТК2	655	10	15	615	10	20	475	15
ТК4	680	10	15	635	10	20	490	15
ТК8	675	10	10	635	10	15	510	15
ТК9	615	10	10	580	10	15	460	15
ТК12	635	10	10	600	10	15	485	15
ТК13	655	5	10	630	10	15	530	10

Продолжение таблицы А.1

Марка стекла	Температура, °С							
	выдержки при отжиге						нижней границы отжига	
	T_1			T_2			T_3	
	Номинал	Допуск		Номинал	Допуск		Номинал	Допуск
		–	+		–	+		±
ТК14	650	5	10	620	10	15	520	10
ТК16	665	10	10	630	10	15	510	15
ТК17	645	5	5	620	5	10	540	10
ТК20	675	10	10	640	10	15	520	15
ТК21	655	10	10	620	10	15	510	15
ТК23	670	5	10	635	10	15	540	10
СТК3	660	5	5	635	5	10	545	10
СТК7	625	5	5	605	5	10	525	10
СТК8	630	5	5	605	5	10	510	10
СТК9	645	5	5	630	5	10	570	10
СТК10	595	5	10	565	10	10	460	10
СТК12	665	5	5	640	5	10	555	10
СТК15	665	5	5	645	5	10	570	10
СТК16	635	5	5	610	5	10	520	10
СТК19	645	5	5	620	5	10	535	10
СТК20	700	5	5	675	5	10	590	10
КФ1	555	10	20	510	10	30	380	15
КФ4	575	10	15	525	10	30	360	15
КФ5	590	15	20	535	10	30	370	15
КФ6	505	10	20	445	10	30	270	15
КФ7	560	10	20	520	10	30	390	15
КФ8	520	10	20	470	10	30	315	15
БФ1	575	10	20	520	10	25	350	15
БФ4	625	10	15	580	10	20	430	15
БФ6	580	10	20	525	10	25	360	15
БФ7	595	10	15	560	10	15	430	15
БФ8	560	10	15	515	10	20	370	15
БФ11	640	10	15	605	10	15	480	15
БФ12	520	10	15	475	10	20	350	15
БФ13	635	10	10	600	10	15	490	15
БФ16	635	10	10	600	10	15	490	15

Продолжение таблицы А.1

Марка стекла	Температура, °С							
	выдержки при отжиге						нижней границы отжига	
	T_1			T_2			T_3	
	Номинал	Допуск		Номинал	Допуск		Номинал	Допуск
		–	+		–	+		±
БФ18	575	10	15	530	10	20	380	15
БФ19	600	10	15	560	10	20	420	15
БФ21	525	10	20	475	10	20	330	15
БФ23	620	10	20	565	10	20	410	15
БФ24	520	10	15	475	10	20	340	15
БФ25	595	10	15	570	10	20	490	15
БФ26	580	10	15	540	10	20	410	15
БФ27	565	10	15	520	10	20	385	15
БФ28	555	10	15	510	10	15	380	15
БФ32	500	10	15	460	10	15	330	15
ТБФ3	575	5	10	550	10	15	460	10
ТБФ4	590	5	10	560	10	15	450	10
ТБФ5	635	5	10	610	10	15	520	10
ТБФ7	595	5	10	570	10	15	480	10
ТБФ8	630	5	10	610	10	15	530	10
ЛФ1	520	10	15	475	10	20	340	15
ЛФ5	515	10	20	460	10	25	310	15
ЛФ7	520	10	15	475	10	20	340	15
ЛФ8	520	10	15	475	10	20	330	15
ЛФ9	520	10	15	480	10	15	350	15
ЛФ10	515	10	15	470	10	15	335	15
ЛФ11	570	10	15	525	10	20	380	15
ЛФ12	530	10	15	490	10	15	360	15
Ф1	510	10	15	455	10	20	285	15
Ф2	500	10	15	450	10	20	290	15
Ф4	495	10	15	455	10	20	320	15
Ф6	485	10	15	450	10	20	330	15
Ф7	485	10	15	440	10	20	300	15
Ф8	445	10	15	410	10	20	280	15
Ф9	480	10	15	440	10	20	305	15
Ф13	500	10	15	455	10	20	310	15

Окончание таблицы А.1

Марка стекла	Температура, °С							
	выдержки при отжиге						нижней границы отжига	
	T_1			T_2			T_3	
	Номинал	Допуск		Номинал	Допуск		Номинал	Допуск
		–	+		–	+		±
Ф18	460	10	15	425	10	15	310	15
ТФ1	475	10	15	420	10	20	260	15
ТФ2	475	10	15	430	10	20	280	15
ТФ3	455	10	15	420	10	15	300	10
ТФ4	450	10	15	420	10	15	300	10
ТФ5	455	10	15	420	10	15	300	10
ТФ7	425	10	15	400	10	15	290	10
ТФ8	455	10	15	420	10	15	300	10
ТФ10	440	5	10	405	10	15	285	15
ТФ11	455	10	10	415	10	15	290	10
ТФ12	525	5	10	500	10	15	410	10
ОФ1	495	10	15	450	10	20	320	15
ОФ2	505	10	15	465	10	20	330	15
ОФ3	475	5	5	455	5	10	385	10
ОФ4	505	5	5	490	5	10	425	10
ОФ5	500	5	5	475	5	10	400	10
Примечание — Температуры выдержки стекол серии 100 допускается приравнивать к значениям этих температур стекол-аналогов по ГОСТ 3514.								

Таблица А.2 — Длительность выдержки в зависимости от требований к оптической однородности стекла и к однородности партии по показателю преломления при температурах, соответствующих температурам отжига T_1, T_2, при контроле по волновой аберрации заготовок

При температуре выдержки, °С								
T_1					T_2			
Длительность выдержки не менее, ч	При заданных требованиях							
	к категории оптической однородности для заготовок размером, мм			к классу однородности партии по показателю преломления	к категории оптической однородности для заготовок размером, мм			к классу однородности партии по показателю преломления
	Не более 150	От 150 до 500	От 500 до 700		Не более 150	От 150 до 500	От 500 до 700	
>72	—	—	—	—	—	—	1—2	—
48—72	—	—	—	—	—	1—2	2—3	—
36—48	—	—	—	—	—	3	3—4	—
24—36	—	—	1—2	—	1—2	4	4—5	А

Окончание таблицы А.2

При температуре выдержки, °С								
T_1					T_2			
Длительность выдержки не менее, ч	При заданных требованиях							
	к категории оптической однородности для заготовок размером, мм			к классу однородности партии по показателю преломления	к категории оптической однородности для заготовок размером, мм			к классу однородности партии по показателю преломления
	Не более 150	От 150 до 500	От 500 до 700		Не более 150	От 150 до 500	От 500 до 700	
12—24	—	1—2	3—4	А	3—4	5	5	Б
6—12	1—2	3—4	5	А	4—5	—	—	—
3—6	3—4	5	—	Б	5	—	—	—
1—3	5	—	—	—	—	—	—	—

Таблица А.3 — Скорость снижения температуры в ответственном периоде отжига для стекол различных марок в зависимости от размера заготовок, контролируемых по волновой аберрации

Марка стекла	Скорость снижения температуры, °С/ч, не более для заготовок размером, мм			
	Не более 200	От 200 до 400	От 400 до 1000	От 1000 до 1500
ЛК1, ЛК3, ЛК4, ЛК6, ЛК7, ЛК8, КФ1, КФ4, КФ5, КФ6	3,0	2,0	0,8	0,4
К1, К2, К3, К5, К8, К14, К15, К17, К18, К19, К20 БК4, БК6, БК8, БК9, БК10, БК11, БК12, БК13 БФ1, БФ4, БФ6, БФ7, БФ8, БФ11, БФ12, БФ18, БФ19, БФ21, БФ23, БФ24, БФ25, БФ26, БФ27, БФ28 Ф1, Ф2 КФ7, КФ8	2,0	1,5	0,6	0,3
ФК1, ФК13, ФК14 ТК1, ТК2, ТК4, ТК8, ТК9, ТК12, ТК13, ТК14, ТК16, ТК17, ТК20, ТК21, ТК23 ЛФ1, ЛФ5, ЛФ7, ЛФ8, ЛФ9, ЛФ10, ЛФ11, ЛФ12 БФ13, БФ16 Ф4, Ф6, Ф7, Ф8, Ф13, Ф18 ОФ1, ОФ2	1,5	1,0	0,3	0,15
ТБФ3, ТБФ4, ТБФ5, ТБФ7, ТБФ8, СТК3, СТК7, СТК8, СТК9, СТК10, СТК12, СТК15, СТК16, СТК19 ТФ1, ТФ2, ТФ3, ТФ4, ТФ5, ТФ7, ТФ8, ТФ10, ТФ11, ТФ12 ОФ3, ОФ4, ОФ5	1,0	0,5	0,2	0,1

Приложение Б
(справочное)

Фотоупругие постоянные оптических бесцветных стекол

Фотоупругие постоянные оптических бесцветных стекол приведены в таблице Б.1.

Таблица Б.1

Марка стекла	$^{-}C_1 \cdot 10^6$, см^2/кгс	$^{-}C_2 \cdot 10^6$, см^2/кгс
ЛК1	0,230	0,550
ЛК3	0,110	0,410
ЛК4	0,080	0,450
ЛК5	0,100	0,450
ЛК6	0,140	0,520
ЛК7	0,075	0,430
ЛК8	0,150	0,480
ФК1	0,160	0,400
ФК13	0,150	0,400
ФК14	0,260	0,410
К1	0,075	0,435
К2	0,075	0,405
К3	0,080	0,365
К5	0,075	0,370
К8	0,050	0,320
К14	0,080	0,400
К15	0,030	0,400
К17	0,060	0,340
К18	0,075	0,390
К19	0,080	0,400
К 20	0,050	0,395
К100	0,060	0,370
БК4	0,090	0,390
БК6	0,100	0,380
БК8	0,090	0,370
БК9	0,070	0,400
БК10	0,060	0,380
БК11	0,070	0,350
БК12	0,090	0,380

Продолжение таблицы Б.1

Марка стекла	$^{-}C_1 \cdot 10^6$, см^2/кгс	$^{-}C_2 \cdot 10^6$, см^2/кгс
БК13	0,090	0,360
ТК1	0,060	0,310
ТК2	0,060	0,330
ТК4	0,090	0,320
ТК8	0,100	0,310
ТК9	0,080	0,320
ТК12	0,060	0,300
ТЮ3	0,100	0,320
ТК14	0,090	0,280
ТК6	0,090	0,280
ТК17	0,100	0,290
ТК20	0,100	0,310
ТК21	0,080	0,270
ТК23	0,090	0,330
СТК3	0,080	0,260
СТК7	0,110	0,260
СТК8	0,100	0,230
СТК9	0,000	0,210
СТК10	0,050	0,210
СТК12	0,020	0,210
КФ1	0,140	0,470
КФ4	0,070	0,380
КФ6	0,130	0,460
КФ7	0,160	0,500
КФ8	0,120	0,430
БФ1	0,140	0,470
БФ4	0,110	0,410
БФ6	0,100	0,390
БФ7	0,060	0,390
БФ8	0,150	0,470
БФ11	0,090	0,350
БФ12	0,160	0,410
БФ16	0,130	0,300
БФ18	0,135	0,480
БФ19	0,100	0,390
БФ21	0,220	0,520
БФ23	0,130	0,450
БФ24	0,180	0,440
БФ25	0,090	0,380
БФ26	0,185	0,450
БФ27	0,150	0,430

Окончание таблицы Б.1

Марка стекла	$^{-}C_1 \cdot 10^6$, см^2/кгс	$^{-}C_2 \cdot 10^6$, см^2/кгс
БФ28	0,250	0,495
ТБФ3	0,010	0,250
ТБФ4	0,000	0,265
ТБФ5	0,000	0,220
ЛФ1	0,200	0,520
ЛФ5	0,240	0,550
ЛФ7	0,255	0,590
ЛФ8	0,080	0,420
ЛФ9	0,085	0,450
ЛФ10	0,090	0,410
ЛФ11	0,175	0,495
ЛФ12	0,100	0,450
Ф1	0,310	0,600
Ф4	0,330	0,630
Ф6	0,310	0,630
Ф7	0,300	0,580
Ф8	0,310	0,600
Ф9	0,125	0,425
Ф13	0,280	0,560
ТФ1	0,350	0,620
ТФ2	0,370	0,600
ТФ3	0,470	0,670
ТФ4	0,500	0,660
ТФ5	0,530	0,660
ТФ7	0,470	0,630
ТФ8	0,410	0,630
ТФ10	0,610	0,680
ТФ11	0,100	0,400
ТФ12	0,390	0,530
ОФ1	0,160	0,580
ОФ2	0,210	0,580
ОФ4	0,110	0,380
ОФ5	0,150	0,420
Кварцевое стекло	0,050	0,400

Примечания

1 Значения фотоупругих постоянных получены на интерферометре Майкельсона при температуре (20 ± 3) °С при λ = 550 нм.

2 Знак минус в обозначении фотоупругих постоянных указывает на характер напряжения — сжатие.

3 Приведенные значения C_1, C_2 не применимы для расчета оптического коэффициента напряжения В.

4 Фотоупругие постоянные C_1 и C_2 стекол серии 100 могут быть приравнены к значениям C_1 и C_2 стекол-аналогов по ГОСТ 3514.

Приложение В
(справочное)

Номограмма для определения волновой аберрации по двулучепреломлению

В.1 Допускается использовать номограмму (см. рисунок В.1) для определения волновой аберрации по двулучепреломлению с вычислением значения $\frac{K_н}{d}$ по формуле

$$\frac{K_н}{d} = (-M)\cdot(-\delta_к)-(-P)\cdot\delta_т = M\delta_к + P\delta_т, \quad (В.1)$$

где $M = \frac{1}{2B_\lambda}(3C_2 + C_1)$ — коэффициент, зависящий от марки стекла (см. таблицу В.1);

$P = \frac{2C_2}{B_\lambda}$ — коэффициент, зависящий от марки стекла (см. таблицу В.1).

В.2 Коэффициенты M и P стекол серии 100 допускается приравнивать к значениям этих коэффициентов стекол-аналогов по ГОСТ 3514.

В.3 Номограмма (см. рисунок В.1) построена для случая, соответствующего напряжениям сжатия, и состоит из трех прямоугольников. Левый прямоугольник решает часть формулы $M \cdot \delta_к$ как произведение коэффициента минус M, отложенного на наклонной прямой, на измеренное значение минус $\delta_к$ (левая ордината).

Правый прямоугольник $P \cdot \delta_к$ — произведение коэффициента минус P, отложенного на наклонной прямой, на измеренное значение $\delta_т$ (правая ордината).

Средний прямоугольник дает решение в виде $\frac{K_н}{d}$.

Умножив найденное значение $\frac{K_н}{d}$ на толщину заготовки d, вычисляют значение волновой аберрации $K_н$.

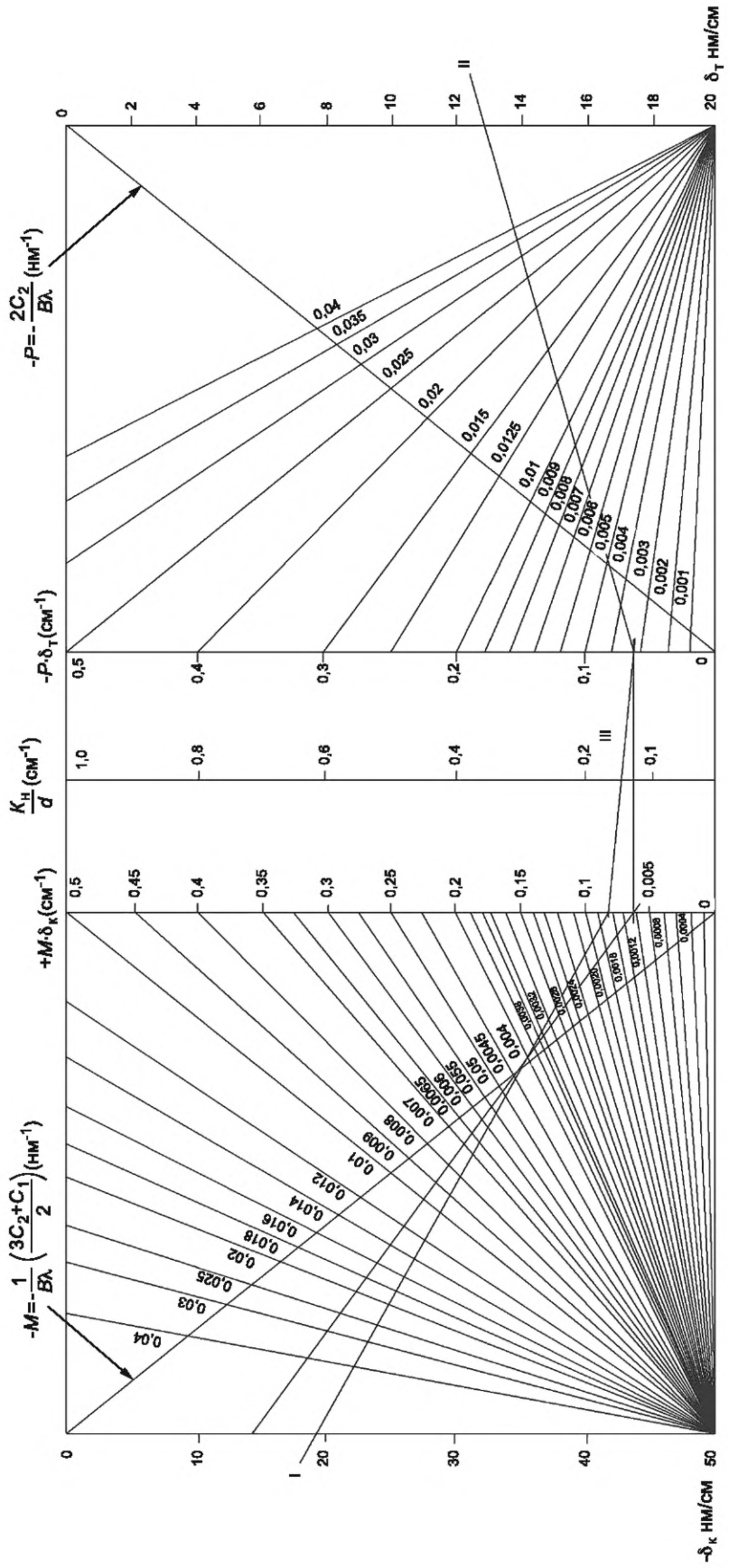


Рисунок В.1 — Номограмма для определения волновой аберрации по двулучепреломлению

Значения коэффициентов номограммы для определения волновой аберрации по двулучепреломлению приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 — Значения коэффициентов номограммы для определения волновой аберрации

Марка стекла	Коэффициенты номограммы, $нм^{-1}$	
	$-M \cdot 10^5$	$-P \cdot 10^5$
ЛК1	585	685
ЛК3	440	535
ЛК4	365	460
ЛК5	380	470
ЛК6	420	515
ЛК7	360	455
ЛК8	435	525
ФК1	540	640
ФК13	575	680
ФК14	975	1070
К1	365	460
К2	370	465
К3	400	495
К5	400	500
К8	350	445
К14	405	505
К15	320	420
К17	365	460
К18	395	495
К19	405	505
К 20	365	465
К100	395	500
БК4	420	520
БК6	435	535
БК8	390	485
БК9	395	500
БК10	340	430
БК11	430	535
БК12	440	545
БК13	440	540
ТК1	360	465
ТК2	355	450

Продолжение таблицы В.1

Марка стекла	Коэффициенты номограммы, $нм^{-1}$	
	$-M \cdot 10^5$	$-P \cdot 10^5$
ТК3	410	500
ТК4	435	535
ТК8	475	570
ТК9	410	510
ТК12	375	470
ТК13	500	600
ТК14	430	530
ТК16	475	570
ТК17	510	610
ТК20	500	605
ТК21	430	520
ТК23	440	540
СТК3	525	635
СТК7	645	760
СТК8	485	570
СТК9	305	405
СТК10	225	330
СТК12	320	420
КФ1	485	580
КФ4	380	475
КФ5	400	495
КФ6	420	515
КФ7	485	580
КФ8	450	550
БФ1	450	545
БФ4	450	545
БФ6	390	475
БФ7	390	495
БФ8	500	605
БФ11	455	560
БФ12	510	600
БФ13	525	630
БФ16	590	685
БФ18	480	585

Продолжение таблицы В.1

Марка стекла	Коэффициенты номограммы, $нм^{-1}$	
	$-M \cdot 10^5$	$-P \cdot 10^5$
БФ19	440	540
БФ21	570	670
БФ23	460	560
БФ24	530	620
БФ25	410	505
БФ26	585	685
БФ27	500	595
БФ28	675	770
ТБФ3	285	390
ТБФ4	255	350
ТБФ5	300	405
ЛФ1	520	615
ЛФ5	540	630
ЛФ7	590	685
ЛФ8	395	495
ЛФ9	410	515
ЛФ10	415	520
ЛФ11	500	600
ЛФ12	440	545
Ф1	665	760
Ф2	655	745
Ф4	700	795
Ф6	685	785
Ф7	690	790
Ф8	660	760
Ф9	415	505
Ф13	640	735
ТФ1	810	910
ТФ2	905	1000
ТФ3	1260	1360
ТФ4	1565	1665
ТФ5	1910	2005
ТФ7	1375	1475
ТФ8	1025	1125

Окончание таблицы В.1

Марка стекла	Коэффициенты номограммы, $нм^{-1}$	
	$-M \cdot 10^5$	$-P \cdot 10^5$
ТФ10	3790	3885
ТФ11	425	525
ТФ12	1510	1620
ОФ1	445	545
ОФ2	525	625
ОФ4	460	555
ОФ5	535	630
Кварцевое стекло	330	420

В.4 Для повышения точности определения волновой аберрации на единицу толщины стекла номограмму (применительно к специализации предприятий-изготовителей) следует разбить на части. Масштаб номограммы должен обеспечивать нахождение значения *d* с точностью, указанной в таб-лице В.2.

Таблица В.2 — Требования к точности снятия отсчета по номограмме

$\frac{K_н}{d}$	Точность снятия отсчета, не менее
От 0 до 0,2	0,01
Св. 0,2 до 0,6	0,03
Св. 0,6 до 1,0	0,05

В.5 При построении левого прямоугольника номограммы рекомендуется ось $M \cdot \delta_к$ разделить на равные деления.

Полученные точки соединить прямыми с точкой $\delta_к$ = –50 нм/см, т. е. с вершиной левого нижнего угла прямоугольника. Пересечение этих прямых с диагональю прямоугольника, соединяющей начало осей минус $\delta_к$ и $M \cdot \delta_к$, даст точки, соответствующие значениям коэффициента минус *M*.

Построение правого прямоугольника номограммы выполняют аналогично.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Форма протокола определения волновой аберрации по двулучепреломлению

ПРОТОКОЛ № _____

Дата:
Марка стекла: БФ4
Варка: 1000
Отжиг: 20 Наименование испытуемого образца:

Таблица Г.1 — Результаты определения волновой аберрации по двулучепреломлению

№ образца	Толщина образца d, см	Размер образца l, см	l/d	Коэффициенты номограммы, $нм^{-1}$		Разность хода при двулучепреломлении, нм/см			Волновая аберрация на единицу толщины, $см^{-1}$		Волновая аберрация		Астигматизм волнового фронта
						по краю		в торец					
				$-M \cdot 10^5$	$-P \cdot 10^5$	$\delta_{к.макс}$	$\delta_{к.мин}$	$\delta_т$	$K_{н.макс}/d$	$K_{н.мин}/d$	$K_{н.макс}$	$K_{н.мин}$	ΔK
1	6,0	53,5	8,9	450	545	–19,5	–15,5	+12,8	0,15	0,135	0,90	0,81	0,09
2	0,5	4,0	8,0	450	545	–19,5	–15,5	+12,8	0,15	0,135	0,08	0,07	0,01
3	6,0	53,5	8,9	450	545	–19,5	+2,0	+12,8	0,15	0,06	0,90	0,36	0,54
4	6,0	53,5	8,9	450	545	+2,0	+4,0	+3,6	0,01	0,00	0,06	0,00	0,06

Измерения провели:

УДК 681.7.031.001.4:006.354 ОКС 37.020

Ключевые слова: оптика и фотоника, стекло оптическое, волновая аберрация, двулучепреломление, метод определения

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 15.10.2024. Подписано в печать 28.10.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,61.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru