

## Учет в оптическом дизайне положения ношения очковых линз

(продолжение)

Д.Мейстер, специалист Carl Zeiss Vision

### Компенсированные значения рефракции для учета положения ношения линз

Если в положении ношения линза в готовой оправе наклонена, то из-за астигматизма наклонных лучей сферическая сила центральной зоны линзы будет отличаться от требуемой величины рефракции, а также будет индуцирован нежелательный цилиндр. Кроме того, если вертексное расстояние в положении ношения отличается от того, что было при определении рефракции, то это также вызовет изменение оптической силы относительно указанной в рецепте на очки величины. Для того чтобы в положении ношения очковые линзы обеспечивали требуемую рефракцию, исходные параметры рефракции должны быть соответствующим образом скорректированы. Нейтрализация оптических эффектов, вызванных изменениями исходных параметров рефракции, требует определения новых «компенсированных» значений, которые обеспечат пользователю оптимальную очковую рефракцию при взгляде прямо вперед через линзу в реальном положении ношения.

Компенсированные значения сферы  $Sph_{comp}$  и цилиндра  $Cyl_{comp}$ , нейтрализующие оптические эффекты тонкой линзы, вызванные влиянием положения ношения, могут быть оценены по формулам:

$$Sph_{comp} = (Sph_{Rx} / (1 + \Delta v \cdot Sph_{Rx})) (2n / (2n + \sin^2 \Theta))$$

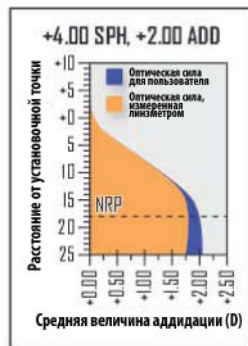
$$Cyl_{comp} = -Sph_{comp} \cdot \sin^2 \Theta.$$

Здесь  $n$  — показатель преломления линзы,  $\Theta$  — угол наклона линзы (считается, что при определении рефракции линзы были перпендикулярны направлению взгляда прямо вперед),  $\Delta v$  — изменение вертексного расстояния в метрах ( $\Delta v$  — положительное, если вертексное расстояние увеличилось, и отрицательное, если уменьшилось). Ось компенсированного цилиндра совпадает с осью вра-

щения линзы: например, для пантоскопического наклона ось будет  $180^\circ$ , а для угла изгиба оправы —  $90^\circ$  (до выполнения транспозиции цилиндра, если таковая требуется).

Если в рецепте указан цилиндр или оправка имеет комбинацию пантоскопического наклона и изгиба плоскости оправы, то для определения компенсированных параметров рефракции необходимы дополнительные вычисления (Keating, 1995). Важно отметить, что наклоненная линза совсем не обязательно должна иметь ту же ось цилиндра, что указана в рецепте. Для толстых линз, линз с призмой и прогрессивных линз для определения компенсированных значений рефракции применяется метод трассировки световых лучей.

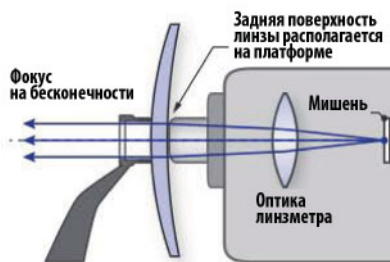
Дополнительные оптические эффекты в положении ношения возникают для зрения вблизи в прогрессивных линзах. Исследование рефракции для определения величины аддидации для зрения вблизи проводится с использованием тонких плоских центрированных линз из пробного набора. Очковые линзы в оправе имеют вполне конкретную толщину и кривизну, что потенциально может привести к значительному изменению оптической силы для близкорасположенных объектов по сравнению с пробными линзами с той же задней вершинной оптической силой. Это изменение называется эффективной ошибкой для зрения вблизи. Более того, поскольку зона зрения вблизи у прогрессивных линз находится значительно ниже центра линзы, то линия взгляда при чтении пересекает линзу под значительным углом. Из-за астигматизма наклонных пучков при взгляде через периферию линзы для зрения вблизи также возникают ошибки оптической силы, что окажет влияние на эффективную величину аддидации.<sup>11</sup> Из-за этих оптических эффектов увеличение дополнительной опти-



**Рис. 15.** Величина аддидации, измеренная линзметром, будет отличаться от оптической силы, реально ощущаемой пользователем в положении ношения

ческой силы прогрессивной линзы, получаемой пользователем в положении ношения, будет обычно отличаться от назначенной величины аддидации (рис.15). Поэтому для прогрессивных FreeForm линз, дизайн которых был оптимизирован с учетом положения ношения, компенсированная величина аддидации может отличаться от первоначально определенной дополнительной силы рефракции для зрения вблизи.

Очковая коррекция определяется с помощью фороптера или тонких линз пробного набора, которые располагаются прямо перед глазами так, что линия взгляда совпадает с оптической осью пробных линз. Предписанная оптическая сила очковых линз обычно проверяется с помощью линзметров, которые измеряют фокусное расстояние линзы. При измерении центр линзы располагается на платформе прибора, что обеспечивает совпадение оптической оси линзы и инструмента при отсутствии призмы (рис.16).<sup>12</sup> Поэтому условия измерения оптической силы линзы с помощью линзметра очень близки к условиям определения очковой рефракции с использованием пробных линз. Традиционно очковые лин-



**Рис.16.** Линзметр измеряет фокусное расстояние очковой линзы, расположенной по центру платформы прибора. При этом оптическая ось линзы совпадает с оптической осью прибора, как это имеет место при исследовании рефракции

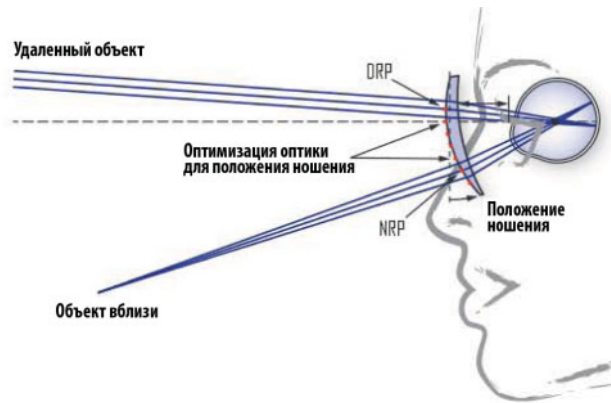
зы изготавливают так, что линзметр показывает те значения оптической силы, которые можно сравнить с параметрами, указанными в рецепте на очки, а не те величины, которые реально будет ощущать пользователь.

Если оптическая сила линзы была скомпенсирована для учета реального положения ношения, то следует ожидать появления разницы между параметрами рефракции, указанными в рецепте на очки, и величинами, определенными для готовой линзы с помощью линзметра. Согласно стандартам ANSI Z80.1 и ISO 8990-2<sup>13,14</sup> оптическая сила очковых линз должна быть верифицирована относительно компенсированных значений, если при их изготовлении были применена компенсация. *Очковые линзы, которые показывают правильные компенсированные величины оптической силы и аддидации на линзметре, будут обеспечивать конкретному пользователю правильную коррекцию, если линзы будут находиться в том положении ношения, которое было использовано для расчета величины компенсации.*

С появлением очковых линз, изготовленных по технологии FreeForm, компенсация оптических параметров получила широкое распространение. Для наиболее совершенных FreeForm прогрессивных линз, в дизайне которых учитывается положение ношения, оптические эффекты, вызванные комбинированным действием астигматизма наклонных лучей при взгляде через периферию линзы и поверхностного астигматизма, присущего прогрессивному дизайну, рассчитывается для множества точек всей поверхности линзы методом трассировки световых лучей с применением математической модели глаз-линза. Для того чтобы обеспечить правильную оптическую силу для каждого направления взгляда через линзу в конкретном положении ее ношения, для каждой точки оптического дизайна применяется переменная асферизация (рис.17). Далее рассчитываются компенсированные значения оптической силы и аддидации в точках верификации для зон зрения вдаль и вблизи, чтобы их можно было проверить с помощью обычных линзметров.

Отметим, что поскольку для достижения зоны зрения вблизи линия зрения может опускаться на 30° и больше, то компенсированное значение аддидации может значительно отличаться от указанной в рецепте на очки величины.

Альтернативный подход предполагает индивидуализацию оптики линзы на основе положения ношения, при которой оптическая сила линзы в референтных точках зон зрения вдаль и вблизи остается неизменной, чтобы линзы можно было верифицировать без использования компенсиро-



**Рис. 17.** Наиболее совершенные прогрессивные линзы, индивидуализированные для учета в дизайне положения ношения, оптически оптимизированы путем использования поточечной асферизации всей поверхности линзы, чтобы обеспечить корректную рефракцию для любого направления взгляда. После этого определяются компенсированные значения рефракции в точках верификации зон зрения вдаль (DRP) и вблизи (NRP), чтобы в лабораториях могли с помощью обычного линзметра верифицировать линзы.

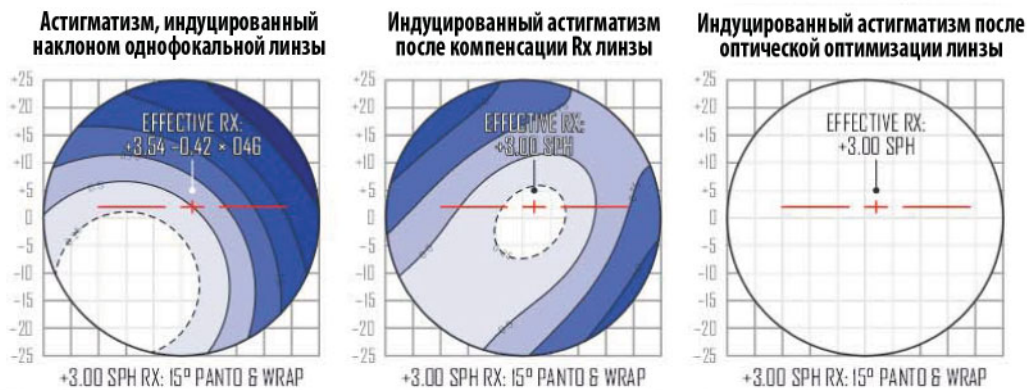
ванных значений, а на основе исходных параметров рецепта на очковые линзы. При этом качество оптики в этих точках будет несколько снижено.

Отметим также, что, если конкретные значения параметров, описывающих положение ношения, не используются или отсутствуют, то при оптимизации дизайна линзы могут быть использованы среднестатистические значения этих параметров.

Следует подчеркнуть, что только лишь одна компенсация значений параметров рефракции обычно не обеспечивает пользователю оптимальное оптическое качество. Хотя компенсация

уменьшает ошибки оптической силы в центре линзы, оптическое качество периферических зон линзы будет страдать от астигматизма наклонных лучей, поскольку линза наклонена, и линии взгляда проходят под углом. Следовательно, хотя модификация указанной в рецепте рефракции может улучшить зрение при взгляде прямо вперед, широкое поле четкого зрения через всю поверхность линзы может быть достигнуто только путем оптической оптимизации дизайна всей поверхности линзы для предполагаемого положения ношения (рис.18).

*Продолжение статьи в следующем номере.*



**Рис. 18.** Значительный наклон линзы индуцирует астигматические ошибки на всей поверхности линзы. Компенсация параметров рефракции для учета положения ношения улучшает качество зрения при направлении взгляда прямо вперед за счет корригирования астигматизма, вызванного наклонным падением лучей на центральную зону линзы. Оптическая оптимизация дизайна для учета предполагаемого положения ношения с применением поточечной асферизации поверхности линзы может устранить астигматизм наклонных лучей по всей поверхности линзы.