

# Глава 21 ПОЛЬЗОВАНИЕ КАТАЛОГАМИ СТЕКОЛ

---

## Введение

---

В составе ZEMAX есть несколько стандартных каталогов, и Вы можете создавать свои собственные каталоги. Стандартные каталоги могут быть отредактированы. В этой главе описывается, как добавить новые марки стекол к существующим или новым каталогам, и как использовать каталоги в ваших оптических расчетах. Нет никаких ограничений числа каталогов стекол, которые Вы можете создавать.

ZEMAX вычисляет показатели преломления по коэффициентам, имеющимся в каталогах стекол. Когда Вы указываете стекло "BK7" в соответствующем столбце Редактора данных линз (LDE), ZEMAX ищет эту марку стекла в каждом из загруженных в настоящее время каталогов. Если стекло найдено, ZEMAX использует коэффициенты для этого стекла, и затем, по соответствующим формулам, вычисляет показатели преломления для каждой из определенных Вами длин волн.

Этот метод может показаться более сложным, чем просто ввод показателей преломления, но он имеет многочисленные преимущества. Одно из них состоит в том, что формулы более точны, чем введенные пользователем данные. Данные каталога более удобны, т.к. требуют от пользователя только ввести марку стекла. Это - особое преимущество на стадии выбора марок стекол для предстоящего расчета. Дополнительно, любая длина волны может использоваться, даже если никаких данных о показателе преломления для этой длины волны нет. Основным недостатком - то, что должны быть рассчитаны коэффициенты, хотя эти данные вполне доступны в каталогах и легко рассчитываются. Если у Вас есть данные по показателю преломления для некоторого материала не в каталоге или, если Вы чувствуете, что ваши данные лучше, чем данные каталога, ZEMAX вычислит коэффициенты для Вас автоматически; см. раздел "Вычисление показателей преломления n".

## Определения, использованные в каталогах стекол

---

Эта глава описывает загрузку, редактирование, и пользование каталогами стекол. Чтобы определить, что данный каталог используется для заданных линз, используйте вкладку Glass Catalog диалогового окна General. Заданный по умолчанию каталог - SCHOTT.AGF каталог. Вы можете определить альтернативный или дополнительный каталоги в этом окне. Для определения альтернативного каталога просто вводят его название (без расширения). Вы можете также определить много текущих каталогов, просто внося их в список через пробел. Например, чтобы использовать "schott" и каталоги "hoya", введите "schott hoya". Чтобы использовать "ohara", "schott", и "инфракрасные" каталоги, вводят "ohara schott infrared". Можно поступить по-другому, просто щелкнув мышью по названиям каталогов, перечисленных в группе checkboxes ниже списка названий. Вы только должны печатать имя каталога, если его нет среди перечисленных в списке.

Все перечисленные каталоги должны находиться в \GLASSCAT поддиректории главной директории ZEMAX. Причина того, что названия каталогов определены в этом окне - то, что выбранный каталог сохраняется за каждой линзовой системой отдельно. Если Вы сохраняете систему линз и загружаете этот расчет в более позднее время, нужные каталоги, и только они, будут автоматически загружены. Вы можете определить различные комбинации каталогов для каждой из оптических систем, которые Вы проектируете.

## Загрузка каталогов

---

Чтобы загрузить уже созданный каталог для редактирования, выберите Tools, Glass Catalog. Выберите название каталога из перечисленных в падающем списке диалогового окна. Как только каталог загружен, Вы можете добавлять, удалять, или изменять данные в каталоге, как описано в следующих разделах. Вы можете сохранить недавно измененный каталог, но только под тем же названием. Поэтому, будьте очень осторожны при редактировании

каталогов, которыми укомплектован ZEMAX. Вы можете неосторожно заменить правильные данные на ошибочные.

## Описание полей данных диалогового окна Glass Catalog

Диалоговое окно каталога отображает большое количество данных о каждой марке стекла. Ниже дано описание полей данных диалогового окна.

### ПОЛЯ ДАННЫХ ОКНА "GLASS CATALOG"

|   |  |
|---|--|
| Catalog (каталог)<br>каталогов  | Используется, чтобы определить какой из AGF - формата должен быть отображен.   |
| Glass (стекло)<br>стекла<br><br>отображены.   | Используется, чтобы определить, данные какого из указанного каталога должны быть   |
| Rename (переименовать)<br>стекло,   | В случае, когда необходимо переименовать это можно сделать в этом поле.  |
| Formula (формула)<br><br>коэффициенты.  | Дисперсия любого стекла описывается формулой. Это поле позволяет контролировать, какая из формул используется. Если эти установки изменяются, то результаты станут неверными, если не ввести соответствующую новой формуле |
| Index Nd<br>(показатель преломления)<br>0,587мкМ (линия d).<br><br>показателя<br><br>справки. | Показатель преломления для длины волны ZEMAX не использует эту величину при расчетах преломления. Она приведена исключительно для  |
| Abbe Vd (число Аббе)<br><br>показателя<br><br>справки.  | Число Аббе для линии d . ZEMAX не использует эту величину при расчетах преломления. Она приведена исключительно для  |
| Exclude Substitution<br>стекла не будет (исключить замену)<br>оптимизации, при переходе от    | Используется, если определено, что эта марка выбрана в процессе глобальной модели стекла к реальному стеклу или когда расчет осуществляется с  |

использованием

Ignore Thermal expansion  
соответ-  
(игнорировать тепловое  
расширение)  
моделирование

позволяя

теплого

каталоге.

K1, L1... A0, A1 ..., A, B, C, и т.д.

коэффициентов

изменяются

TCE  
температурном

введенное

получить

Temp

преломления.

эффект

температурой и

если включен

окне.

D0, D1, D2, E0, E1, Ltk

Тепловой Анализ".

$\rho$   
сантиметр.

DPgF

операнда RGLA..

Используется условный материал с TCE (КТР),  
связанным газу или жидкости. Клавиша TCE дает  
возможность осуществлять тепловое

нетвердых материалов, типа газов и жидкостей,

точно определять значение коэффициента

расширения в редакторе данных линз, но не в

Рассматриваются только краевые эффекты.

Первые восемь строк столбца в центре  
диалогового окна отображают значения

дисперсии. Названия этих коэффициентов

в зависимости от формулы.

TCE - коэффициент расширения в

диапазоне от -30 до +70 градусов Цельсия. Это—  
безразмерный параметр. Отображаемое или

значение следует умножить на  $1e-6$ , чтобы

фактическое значение.

Температура в справочнике в градусах Цельсия,  
для которой определены значения показателя

Если эта температура отличается от 20 градусов,

изменения температуры между текущей

температурой справочника будет ощутим, только,

режим "Use T, P" в расширенном диалоговом

Это - тепловые коэффициенты, используемые  
моделью теплового анализа. См. главу "

$\rho$  - плотность материала в граммах на кубический

Это - отклонение относительной частной  
дисперсии от нормальной прямой.

|  |   |
|--|---|
| Min Wave, Max Wave<br>микронах,<br><br>верные  | Минимальные и максимальные длины волн в<br><br>в пределах которых формула дисперсии дает<br><br>значения показателя преломления.  |
| Relative Cost<br><br>раза  | Здесь указана относительная стоимость стекла<br>в сравнении с BK-7(аналог К-8). Например, 3,5<br>показывает, что это стекло стоит примерно в 3.5<br><br>больше, чем BK-7 за фунт. За точными цифрами<br>обращайтесь к производителю стекла.   |
| CR, FR, SR, AR, PR<br><br>подразделяются<br><br>пятнающим<br><br>устойчивость<br><br>(PR). Вообще, | Это условные обозначения классов устойчивости<br>стекла к внешним воздействиям. Эти классы<br><br>на устойчивость к климатическим факторам (CR),<br><br>агентам (FR), устойчивость к кислотам (SR),<br><br>к алкалоидам (AR), и устойчивость к фосфатам<br><br>чем меньше цифра (лучше всего ноль), тем более<br>устойчиво стекло. За подробностями обращайтесь<br>к производителю. |

## Создание нового каталога

---

Чтобы создать новый каталог, сперва выйдите из ZEMAX. Сначала скопируйте один из каталогов (например, SCHOTT.AGF) в файл с новым именем. Теперь Вы можете запустить ZEMAX, загрузить новый каталог, удалять и добавлять данные, которые Вы хотите. Вы можете также редактировать AGF-файл непосредственно, поскольку это ASCII-файл.

## Формулы дисперсии стекла

---

Коэффициенты в каталоге используются в каждой из полиномиальных формул, которые поддерживает ZEMAX. Есть девять различных формул дисперсии: константы дисперсий Шотта, Sellmeier №1, Sellmeier №2, Sellmeier №3, Sellmeier №4, Герцбергера, Конради, и две формулы из книги "Handbook of Optics".

Вы можете добавлять новые стекла к загруженному в настоящее время каталогу, если Вы имеете данные о показателе преломления в форме одного из следующих уравнений. Во всех уравнениях длина волны измеряется в микронах.

### Формула Шотта

---

$$n^2 = a_0 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda^{-2} + a_3 \lambda^{-4} + a_4 \lambda^{-6} + a_5 \lambda^{-8}.$$

Требуемые коэффициенты имеются в большинстве каталогов изготовителей стекла. Schott больше не использует эту формулу, но она широко используется другими изготовителями

стекла.

#### **Формула Sellmeier №1**

---

$$n^2 - 1 = \frac{K_1 \lambda^2}{\lambda^2 - L_1} + \frac{K_2 \lambda^2}{\lambda^2 - L_2} + \frac{K_3 \lambda^2}{\lambda^2 - L_3}.$$

Для всех трех членов могут быть введены коэффициенты, чтобы описать материал, хотя можно пользоваться меньшим количеством членов.

#### **Формула Sellmeier №2**

---

$$n^2 - 1 = A + \frac{B_1 \lambda^2}{\lambda^2 - \lambda_1^2} + \frac{B_2}{\lambda^2 - \lambda_2^2}.$$

Используются только два коэффициента, и есть постоянный член.

#### **Формула Sellmeier №3**

---

Формула Sellmeier №3 - точно такая же, как формула Sellmeier №1, с одним добавленным членом :

$$n^2 - 1 = \frac{K_1 \lambda^2}{\lambda^2 - L_1} + \frac{K_2 \lambda^2}{\lambda^2 - L_2} + \frac{K_3 \lambda^2}{\lambda^2 - L_3} + \frac{K_4 \lambda^2}{\lambda^2 - L_4}.$$

#### **Формула Sellmeier №4**

---

$$n^2 = A + \frac{B \lambda^2}{\lambda^2 - C} + \frac{D \lambda^2}{\lambda^2 - E}.$$

#### **Формула Герцбергера**

---

$$n = A + BL + CL^2 + D\lambda^2 + E\lambda^4 + F\lambda^6,$$
$$L = \frac{1}{\lambda^2 - 0.028}.$$

Формула Герцбергера используется, главным образом, в инфракрасной области. Эти коэффициенты для инфракрасных материалов чаще всего являются эмпирическими, со значительной разницей в результатах; поэтому необходима осторожность в интерпретации их значений. Причина того, что ZEMAX не имеет более обширного инфракрасного каталога - большой разброс экспериментальных данных. Если Вы имеете лучшие данные для конкретного материала или образца, используете их. Часто данные по определенной варке стекла доступны в виде коэффициентов; Эти данные также могут быть полезны для некоторых приложений.

#### **Формула Конради**

---

$$n = n_0 + \frac{A}{\lambda} + \frac{B}{\lambda^{3.5}}$$

Формула Конради чрезвычайно полезна для применения в случаях, когда количество данных весьма ограничено. Например, если Вы имеете только три пары значений: длина волны - показатель преломления, то формула Шотта дает бессмысленные результаты для промежуточных длин волн и непригодна.

---

**Формула №1 из книги Handbook of Optics**

$$n^2 = A + \frac{B}{(\lambda^2 - C)} - D\lambda^2,$$

---

**Формула №2 из книги Handbook of Optics**

$$n^2 = A + \frac{B\lambda^2}{(\lambda^2 - C)} - D\lambda^2.$$

---

**Общие комментарии по использованию дисперсионных формул**

Важно, что в некоторых публикациях используются уравнения, подобные, но не идентичные любому из этих выражений. Часто возможно преобразовать выражения, чтобы получить их в требуемой форме, а затем повторно вычислить их коэффициенты.

Это хорошая идея еще и потому, что можно сравнить коэффициенты с табличными значениями, доступными во многих руководствах и публикациях. Используйте график дисперсии или табличные данные. Если есть несоответствия, тщательно проверьте данные, которые Вы ввели и правильность использования формул и единиц измерения.

---

**Вычисление показателей преломления n (Fitting index data)**

**Смотри также описание в разделе "Fitting melt data" ниже.**

Чаще всего, материалы, которые вы собираетесь применить, уже имеются в каталоге. Если их нет, Вы можете ввести коэффициенты приведенных выше формул. В качестве альтернативы, ZEMAX вычислит коэффициенты формул Шотта, Герцбергера, Конради или Зельмейера №1. В диалоговом окне "Glass Catalog", щелкните мышью по "Fit Data", появится диалоговое окно "Fit Index Data".

В левой части окна имеется редактор, состоящий из двух колонок. Используя мышью, введите длины волн

(в микронах) и показатели преломления в соответствующие колонки. Чем больше данных Вы введете, тем точнее будут вычислены коэффициенты.

Если у Вас данных больше, чем помещается в строках редактора, используйте те из них, которые находятся наиболее близко к интересующему Вас диапазону длин волн. В конечном счете, трех точек достаточно, чтобы получить хорошие результаты, если Вы пользуетесь формулой Конради, шести или более (предпочтительно двенадцать-пятнадцать) для формул Шотта, Герцбергера или Зельмейера №1. Выберите формулу из падающего списка диалогового окна. Вы можете попробовать каждую из них, чтобы определить, какая дает наименьшую погрешность.

Среднеквадратичной ошибкой (RMS) является ошибка между имеющимися данными показателей преломления и вычисленными с использованием подобранных компьютером

коэффициентов. Максимальная ошибка- это наибольшая разность между вычисленной и имеющейся величинами для любой пары точек. Т. к. формула Зельмейера №1 имеет нелинейные коэффициенты, процесс вычисления по ней носит итерационный характер, и она требует больше времени.

Теперь переместите курсор вверх, наведите на поле "Name" и введите название материала для каталога. Выберите "Fit", и ZEMAX вычислит оптимальные коэффициенты. Соответствующие среднеквадратичная и максимальная ошибки отображаются вверху окна. Для того, чтобы ввести эти данные в текущий каталог, выберите "Add to catalog". ZEMAX выдаст сообщение, подтверждающее, что стекло сохранено в каталоге.

**Когда стекло добавлено в каталог, вводят данные о пропускании (при необходимости). По**

**умолчанию установлено пропускание 1.0 для всех длин волн.**

Данные о показателях преломления и длинах волн могут быть также сохранены в ASCII файле для использования в будущем и загружены снова с помощью соответствующих клавиш. ASCII файл может быть также отредактирован вне ZEMAX и затем загружен.

## **Вычисление n для отдельной варки стекла (Fitting melt data)**

**Смотри также описание в разделе "Fitting index data" выше.**

Важно понимать, что показатели преломления, вычисляемые ZEMAX, или приведенные в каталогах производителей стекла, являются усредненными по большому количеству варок или образцов стекла. Каждый образец стекла из отдельно взятой варки слегка отличается по показателю преломления от каталожных или номинальных величин. Отличие обычно бывает небольшим, но оно может быть существенным для некоторых оптических систем.

Обычно, качественное оптическое стекло поступает от изготовителя с паспортом, в котором указаны показатели преломления для нескольких длин волн, либо в виде отклонений от номинальных каталожных значений, либо в виде непосредственно измеренных значений n. Обычно это 3-5 значений. Эти данные называются "данными варки", т. к. они соответствуют именно данной варке стекла. Процедура "Melt Data" является утилитой, позволяющей преобразовать ограниченный объем данных производителя о конкретной варке в готовые к использованию данные "новой" марки стекла в каталоге.

Максимальное число точек, которое можно использовать в этой процедуре-8. Если у Вас есть более восьми точек, пользуйтесь процедурой "Fit Index". Минимальное количество точек-3, однако, 4 или 5 точек - лучше для получения хороших результатов. Диапазон длин волн, в котором заданы показатели преломления, должен быть как можно шире и, как минимум, должен перекрывать диапазон, в котором будет производиться расчет. Во всех случаях вычисленные с помощью процедуры "Melt Data" данные должны быть тщательно проверены на точность перед их использованием.

Процедура " Melt Data" поддерживает следующие контрольные функции:

Glass: марка стекла в выбранном каталоге.

Melt Name: марка "нового" стекла. По умолчанию - прежнее название с расширением "\_MELT". Название должно содержать не более двадцати символов.

Formula: дисперсионная формула, которая используется для вычислений. Выберите одну из следующих формул: Шотта, Герцбергера, Конради или Зельмейера №1. По умолчанию - устанавливается формула Шотта, если для номинального стекла не использовалась другая.

Use: Эта функция включает или выключает из рассмотрения каждую строку данных.

Wavelength: длины волн в микронах для показателей преломления, которые будут введены.

Nominal: показатель преломления для определенной длины волны, при использовании номинальной дисперсии стекла.

Actual : фактически измеренный показатель преломления данной варки стекла.

Delta: различие между фактическим и номинальным показателем преломления. Обратите внимание, отредактировано ли значение дельты, "фактическое" значение корректируется автоматически.

Fit/Insert : эта кнопка запускает процедуру подгонки, как описано ниже.

Cancel : Прекращение процесса подгонки.

После того, как процесс вычисления будет закончен, стекло новой варки будет добавлено в каталог, каталог сохранен, и появится соответствующее сообщение.

### **Обсуждение "melt fitting"- метода**

---

Проблема с "данными варки" состоит в том, что обычно имеются данные о малом числе точек (3-5). Большинство процедур "подгонки" нуждаются, по крайней мере, в 8 точках для получения хорошей точности. Поэтому, необходимо по нескольким точкам экстраполировать изменение показателя преломления на достаточно большое число точек, чтобы точно "подогнать" результирующую дисперсию.

ZEMAX делает это по следующему алгоритму:

Сначала, рассчитывается приближение по фактическим данным дисперсии, используя формулу Конради. Эта формула используется потому, что она устойчиво и "разумно" работает, когда известны только три точки.

Затем осуществляется приближение Конради по номинальным данным, используя только определенные длины волн.

Генерируется большое количество точек (в настоящее время 60), полностью перекрывающее используемый диапазон длин волн номинального стекла. К каждому номинальному значению показателя преломления, добавляется поправка, которая является разницей между двумя приближениями Конради, которые были произведены, используя только длины волн данной варки.

Наконец, результирующие данные по большому количеству точек (длин волн) подгоняются с использованием выбранной формулы (не обязательно Конради). Это - финальная часть подгонки перед добавлением данных в каталог.

После того, как процесс подбора коэффициентов закончен, предоставляется отчет, суммирующий проведенный процесс. Проверьте это сообщение тщательно перед использованием нового стекла!

ZEMAX автоматически копирует все данные о плотности, стоимости и другим отличиям от номинального стекла.

### **Определение пропускания стекла**

---

Выбор кнопки "Transmission" вызывает редактор данных пропускания в рамках каталога стекол. Пропускание это интенсивность прошедшего света, которая зависит от толщины стекла и длины волны. ZEMAX моделирует интенсивность прошедшего света, используя закон Буггера:

$$t = e^{-\alpha t}$$

Где  $\alpha$  - коэффициент поглощения, а  $t$  - толщина стекла. Параметр  $\alpha$ , вообще говоря, зависит от длины волны и измеряется в единицах обратной длины. См. Главу "Анализ Поляризации" для информации относительно рассмотрения поляризации луча и пропускания.

Пропускание определено в каталоге стекла 3-я числами: длиной волны в микронах, интенсивностью прошедшего излучения и толщиной в "мм". Например, пропускание стекла на длине волны 0.35 микрона может быть 0.65 для толщины 25 мм. В редакторе данных пропускания может быть определено множество точек. ZEMAX преобразовывает данные к "мм" и интерполирует их между определенными длинами волн. Если расчет выполняется на длине волны вне определенного диапазона длин волн, то используются данные для самой близкой



длины волны; иначе, ZEMAX выполняет линейную интерполяцию.

*Не все стекла, перечисленные в каталогах, имеют правильные данные трансмиссии, особенно для инфракрасных материалов и других некоммерческих стекол. Если данные пропускания предоставлены изготовителем, это обычно имеет место. Если никакие надежные данные не доступны, или если данные просто были опущены, заданное по умолчанию пропускание устанавливается равным 1.0 для всех длин волн.*

## Моделирование газов и жидкостей

---

Как только материал определен в каталоге стекол, ZEMAX использует TCE, указанный для этого материала, чтобы определить тепловое расширение радиуса, толщины по центру, и других данных для поверхностей, использующих этот материал. Однако, если материал - не твердое тело, а газ или жидкость, то, вообще говоря, тепловое расширение не определяется свойствами материала, но определено толщиной слоя материала.

В этом особом случае, ZEMAX должен использовать TCE, имеющийся в LDE-редакторе, чтобы определить свойства материала, а не TCE, имеющийся в каталоге стекол. Это может быть выполнено с помощью выключателя Ignore Thermal expansion (игнорировать тепловое расширение) для материала из каталога стекол.

## Другие опции каталога стекол

---

Выбор кнопки "Sort Index" сортирует стекла по показателю преломления  $n_d$ , "Sort Abbe" - сортирует стекла по числу Аббе ( $V_d$ ), и "Sort Name" сортирует стекла по названиям (в алфавитном порядке, затем по номерам). "Calc  $n_d/V_d$ " вычисляет значения  $n_d$  и  $V_d$ , основанные на коэффициентах дисперсии. "Report" (отчет) обеспечивает выдачу всей информации для выбранного стекла.

## Быстрый поиск стекла

---

Самый быстрый способ найти данные любого стекла - щелкнуть левой кнопкой мыши по названию стекла в LDE-редакторе, затем выбрать "Tools", "Glass Catalogs" (или выбрать кнопку GLA, если она отображена). Нужный каталог и стекло будут отображены.

## Использование MIL-стекол

---

Стекла MIL - это стекла, обозначенные в каталоге (Шотта) шестизначным цифровым кодом, типа 517640 для BK7. Первые три цифры MIL - кода - показатель преломления для линии d минус единица. Последние три цифры - число Аббе, умноженное на 10. Вы можете вводить шестизначный цифровой код непосредственно в соответствующий столбец Редактора данных линз вместо названия стекла. ZEMAX использует формулу для вычисления показателя преломления для каждой определенной длины волны, основанную на показателе преломления и числе Аббе, определенными MIL - кодом стекла. Формула основана на методе наименьших квадратов подгоночных коэффициентов многих типовых стекол. Как правило, точность вычисления показателей преломления не хуже 0.001. В ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах точность ухудшается.

Стекла с MIL - кодом, вообще, не лучшая замена для констант дисперсии или других моделей стекла, однако они полезны, если никаких других данных нет.

Важно обратить внимание, что показатели преломления, рассчитанные по шестизначному цифровому MIL - коду, не те же самые, что вычислены по данным каталога, даже если MIL - код, который Вы используете, соответствует стеклу в каталоге.

## Использование смоделированных стекол

---

ZEMAX может идеализировать дисперсию стекла, используя показатель преломления для линии d (0.5875618 микрон), число Аббе и отклонение частной дисперсии от нормальной прямой. Показателю преломления для линии d присвоен символ Nd. Числу Аббе - символ Vd :

$$V_d = \frac{N_d - 1}{N_F - N_C}$$

где  $N_F$  и  $N_C$  являются показателями преломления на 0.4861327 и 0.6562725 микронах, соответственно.

$\Delta P_{g,F}$  - частная дисперсия.

ZEMAX использует формулу, основанную на типичной дисперсии стандартных стекол в видимом диапазоне, чтобы оценить показатель на любой определенной длине волны в пределах видимого диапазона как функция значений Nd и Vd. Эта формула обеспечивает точность для типичных стекол вплоть до 0.0001.

Значения  $N_F$ ,  $N_C$  и  $\Delta P_{g,F}$ , характеризующие стекла, доступны в диалоговом окне Lens Data Editor'a (LDE).

***Обратите внимание, что смоделированные стекла - собственно говоря, приближение, хотя, обычно, очень хорошее приближение в видимом диапазоне. Вне видимого диапазона длин волн, например, в ультрафиолетовом или инфракрасном, такая модель не точна и не может использоваться.***