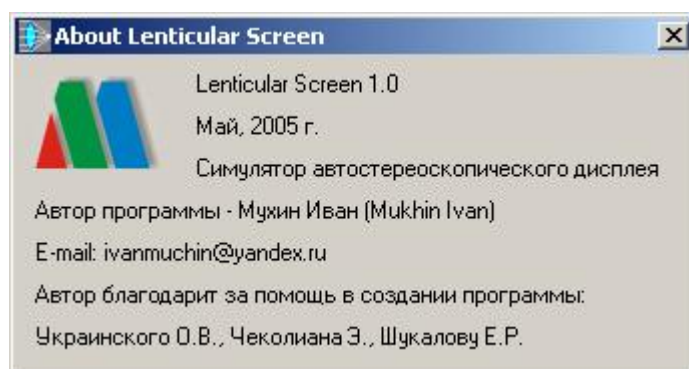


Краткое описание программы Lenticular Screen 1.0

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЗОВЫХ РАСТРОВ

Данный документ представляет собой краткое описание программы Lenticular Screen 1.0. Программа предназначена для расчета параметров линзовых растров, которые применяются для получения стереоскопического (или многоракурсного) изображения на плоскостных матричных отображающих устройствах (например, жидкокристаллических мониторах или плазменных панелях).

Автор программы – Мухин Иван Александрович, аспирант кафедры телевидения Санкт-Петербургского Государственного Университета Телекоммуникаций им.проф. М.А. Бонч- Бруевича.



Ниже рассматриваются следующие вопросы:

1. Воспроизведение стереоскопического изображения линзо-растровым монитором.
2. Назначение программы Lenticular Screen 1.0.
 - 2.1. Необходимость автоматизированного расчета.
 - 2.2. Основные элементы интерфейса программы:
 - 2.2.1. Исходные данные.
 - 2.2.2. Результаты расчетов.
3. Анализ качества стереоизображения:
 - 3.1. Математическая модель расчетов при анализе.
 - 3.2. Визуализация анализа.
 - 3.3. Параметры анализа.
4. Расчет параметров раstra:
 - 4.1. Использование методики расчета просветных растров.
 - 4.2. Использование специально разработанной методики.
 - 4.3. Пример расчета с использованием обеих методик.
5. Развитие программы Lenticular Screen.

1. Воспроизведение стереоскопического изображения линзо-растровым монитором

Линзо-растровый монитор (автостереоскопический дисплей) – это устройство отображения информации, позволяющее наблюдателю воспринимать объемное изображение (3D) без очков и шлема (рис.1).



Рис.1. Восприятие объемного изображения

Основу конструкции линзо-растрового монитора составляют матричный дисплей (PDP, LCD или OLED) и линзовый растр. Линзовый растр представляет собой периодическую структуру из цилиндрических линз, которые могут быть расположены вертикально или под некоторым углом (рис.2).

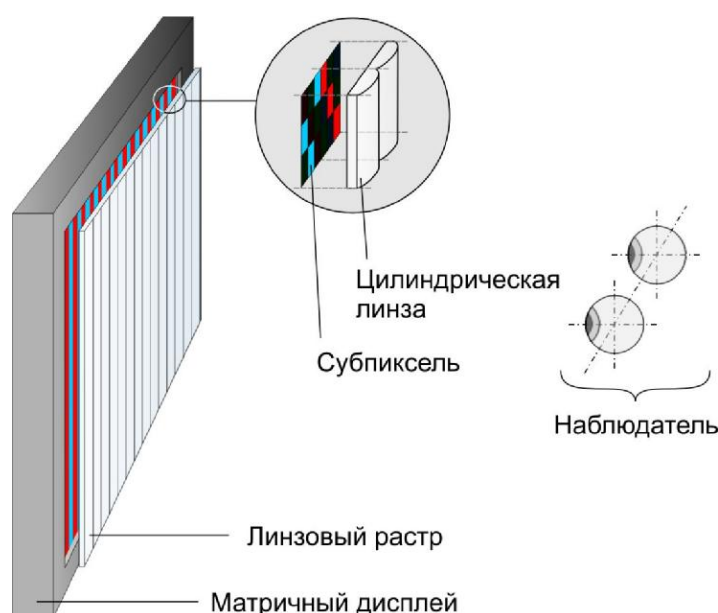


Рис. 2. Конструкция линзо-растрового монитора

2. Назначение программы Lenticular Screen 1.0

2.1. Необходимость автоматизированного расчета

Важнейшим критерием качества стереоизображения линзо-растрового монитора является *коэффициент сепарации* изображений кадров стереопары.

Коэффициент сепарации зависит от:

- § положения глаз зрителя в пространстве;
- § параметров матричного дисплея;
- § параметров линзового растра.

Стоимость технологического процесса изготовления линзового растра значительно ниже стоимости изготовления матричного дисплея. Поэтому при разработке линзо-растрового монитора, как правило, выбирается уже существующий матричный дисплей с подходящими характеристиками, и уже для этого дисплея рассчитывают параметры линзового растра.

Для упрощения (снижения стоимости) технологического процесса линзовый растр выполняется в виде строго периодичной структуры из абсолютно одинаковых линз. Наблюдатель смотрит на монитор из одной точки пространства, и лучи света проходят сквозь разные участки растра под разными углами. Так как все линзы растра абсолютно одинаковые, то это различие в углах не компенсируется. В итоге, абберационные искажения для разных участков растра получаются разными и, следовательно, разным получается коэффициент сепарации по полю изображения.

Задача разработчика – рассчитать параметры линзового растра так, чтобы при заданном матричном дисплее в заданной точке пространства интегральный коэффициент сепарации (среднее значение для всей поверхности экрана) был максимальным.

Для решения этой задачи требуется последовательное выполнение ряда математических операций, которые нельзя свести к единому аналитическому выражению. Поэтому целесообразно автоматизировать вычисления, что и сделано в программе Lenticular Screen 1.0.

2.2. Основные элементы интерфейса программы

Программа Lenticular Screen 1.0 позволяет решить такие задачи, как:

- § расчет параметров линзового растра;
- § анализ качества изображения стереоскопического монитора.

Основные элементы интерфейса программы, ввод и вывод данных и настройка параметров анализа находятся в главном окне (рис.3).

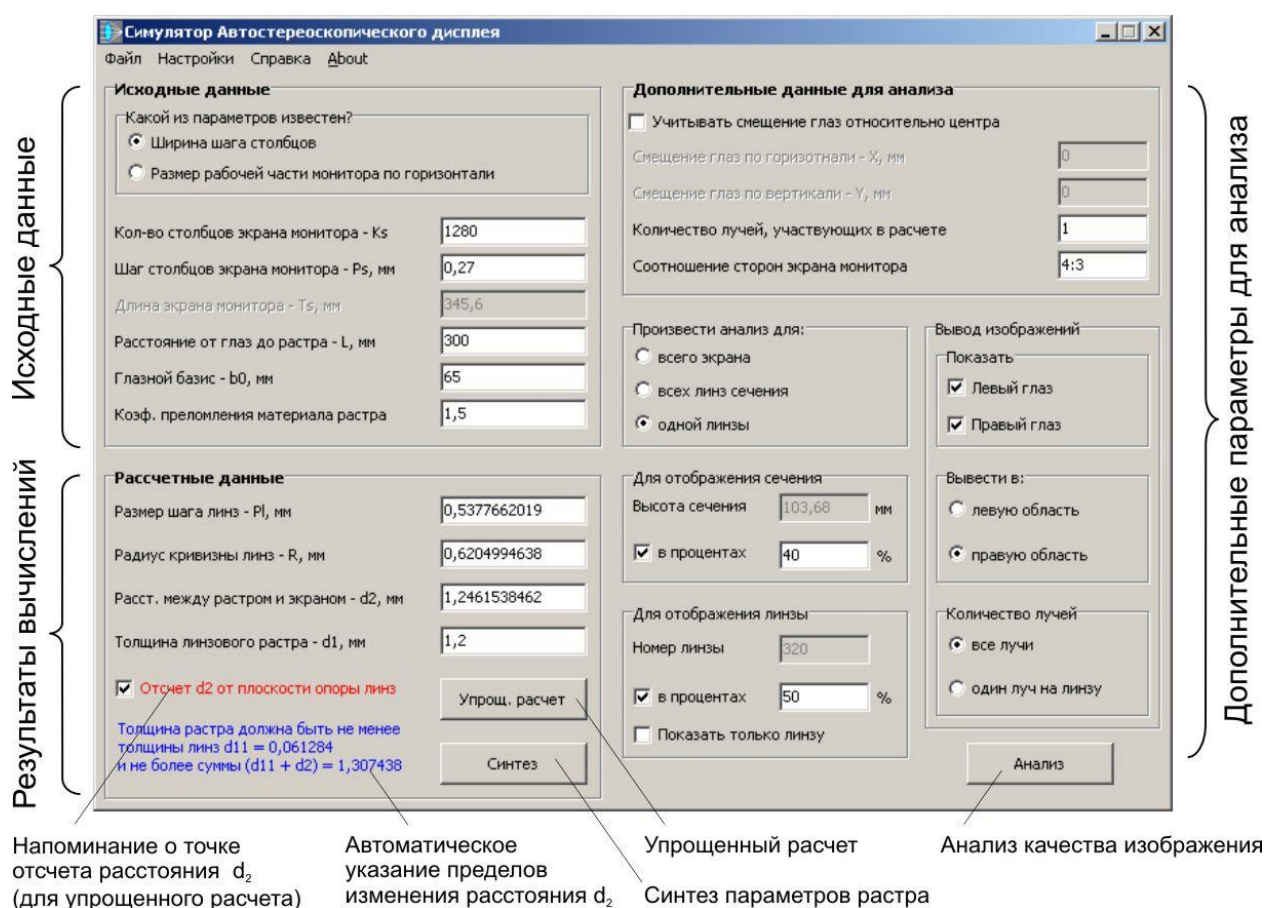


Рис.3. Главное окно программы

2.2.1. Исходные данные

Исходными данными для расчета параметров линзового раstra являются:

- § количество столбцов экрана монитора – K_s ;
- § шаг столбцов экрана монитора – P_s , мм (или длина экрана – T_s , мм);
- § расстояние от глаз до раstra – L , мм;
- § глазной базис – b_0 , мм;
- § коэффициент преломления материала раstra.

Примечание. Существуют и другие параметры. Например, соотношение ширины рабочей части субпикселя и ширины разделяющей субпиксели полосы (рис.4).

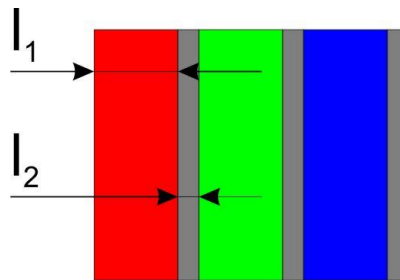


Рис.4. Дополнительные параметры матричного дисплея

Однако такие параметры влияют на качество изображения, но не влияют на расчет линзового раstra. Поэтому они учитываются только при анализе изображения и могут изменяться исключительно программистом.

2.2.2. Результаты расчета

В результате расчета получаем:

- § размер шага линз – P_l , мм;
- § радиус кривизны линз – R , мм;
- § расстояние между растром и экраном – d_2 , мм;
- § толщина линзового раstra – d_1 , мм.

Примечание. При использовании методики расчета просветных растров толщина линзового раstra не учитывается и не вычисляется.

Рассчитанные параметры раstra соответствуют максимальной сепарации (разделению) изображений, воспроизводимых линзо-растровым монитором при заданных параметрах матричного дисплея, расстояния от монитора, расстояния между глазами и материала линзового раstra.

3. Анализ качества стереоизображения

В программе Lenticular Screen реализована процедура анализа качества стереоизображения, формируемого линзо-растровым монитором.

Процедура анализа позволяет:

- § контролировать точность расчета параметров линзового раstra;
- § эмулировать изображения, воспринимаемые левым и правым глазом наблюдателя;
- § исследовать зависимость качества стереоизображения от параметров матричного дисплея, линзового раstra и положения головы наблюдателя в пространстве.

Анализ качества стереоизображения включает в себя:

- § статистические данные;
- § визуальное представление.

Окно анализа качества стереоизображения разделено на пять областей. Четыре области для визуального контроля и одна область для отображения статистических данных (рис.5).

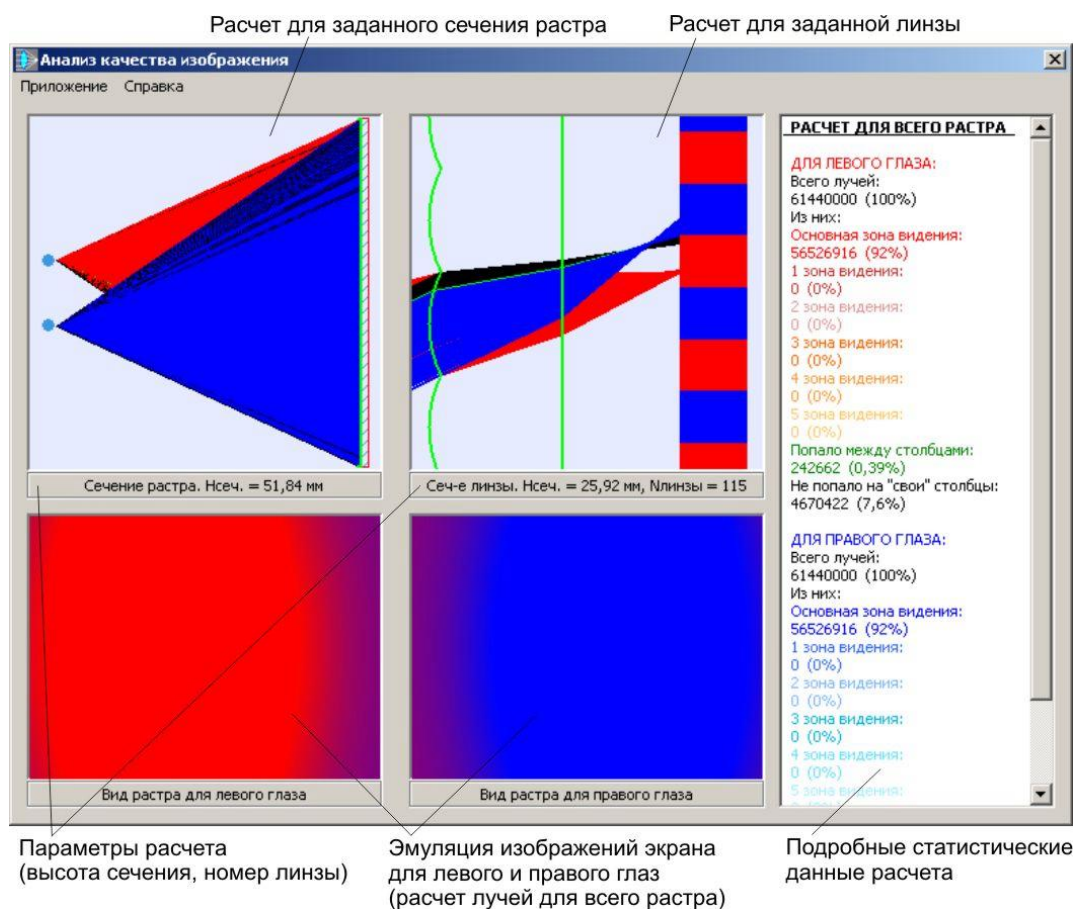


Рис.5. Окно анализа качества изображения

3.1. Математическая модель расчетов при анализе

Процедура анализа качества стереоизображения базируется на расчете траекторий световых лучей, преломляемых линзами растра. Данный расчет базируется на специально разработанной математической модели, которая использует уравнения поверхности преломляющих сред и позволяет точно описать траекторию каждого луча. (рис.6).

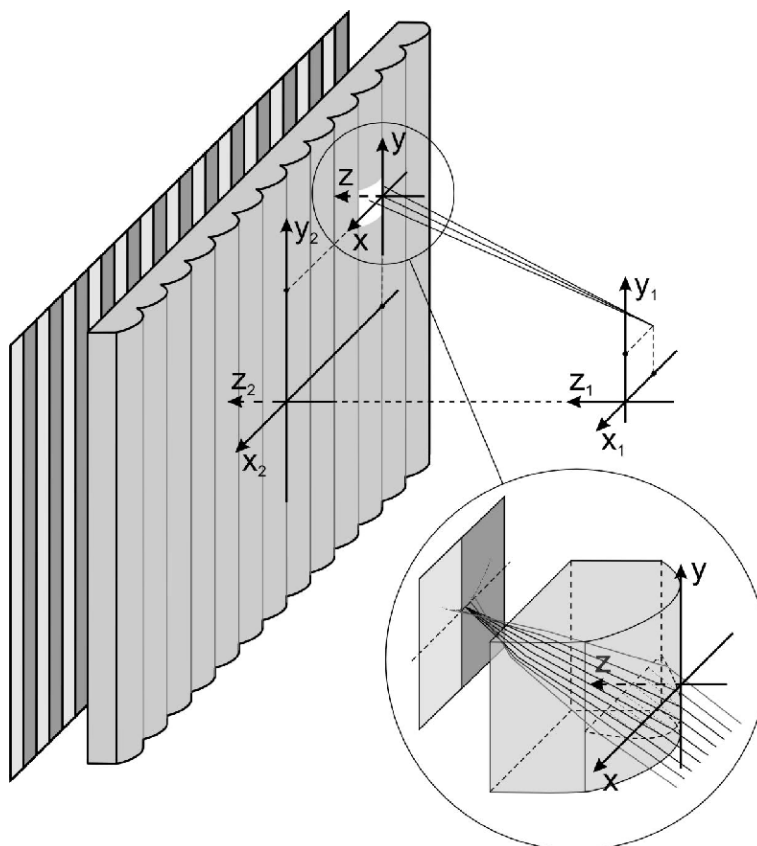


Рис.6. Иллюстрация математической модели расчета

При расчете "автоматически" учитываются:

- все виды аберраций;
- все параметры линзового растра и матричного дисплея;
- положение головы наблюдателя в пространстве;
- глазной базис;
- различия в форме линз при различных направлениях взгляда.

3.2. Визуализация анализа

Статистические данные, полученные при анализе, позволяют судить о степени сепарации изображений, формируемых линзо-растровым монитором. Однако этих данных недостаточно для того, чтобы выявить причины снижения качества изображения и выяснить закон распределения значения коэффициента сепарации по полю изображения.

Для повышения эффективности исследования линзовых растров в программе предусмотрена возможность визуальной оценки качества стереоскопического изображения. Для этого моделируется использование специальной стереопары, которая содержит в правом кадре изображение синего поля, а в левом - красного поля (рис.7).

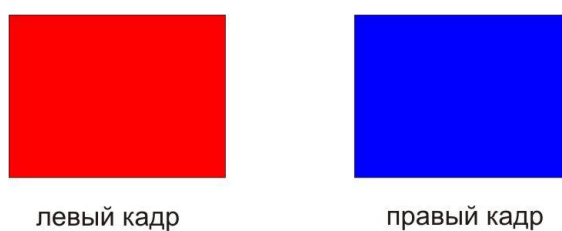


Рис.7. Использование специальной стереопары

В случае, когда параметры раstra рассчитаны верно, сепарация изображений максимальна, и наблюдатель видит правым глазом синий экран, а левым глазом - красный.

3.3. Параметры анализа

В программе предусмотрены расширенные возможности для анализа качества стерео-изображения.

Каждому лучу, траектория которого вычисляется, присваивается определенный цвет, в зависимости от того, в какую точку матричного дисплея он попадает. Пользователь может выбрать любые цвета для обозначения лучей. Цвета, принятые в программе по умолчанию, приведены на рис.8

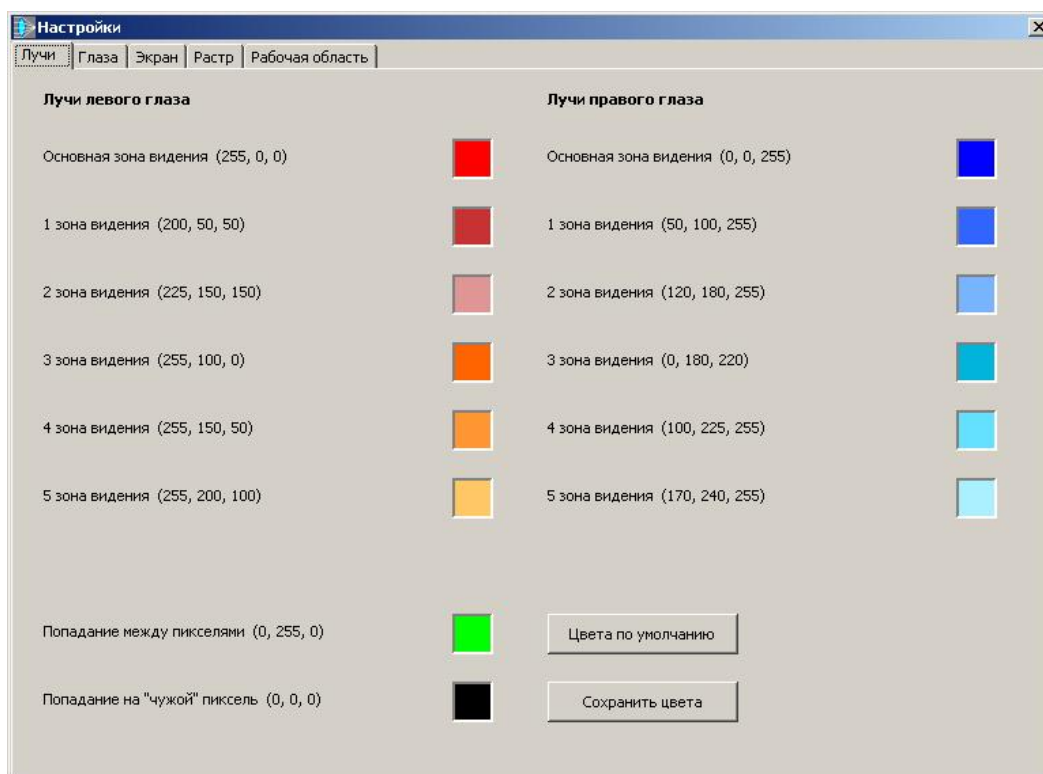


Рис.8. Цвета лучей при расчете

Программа позволяет исследовать траектории лучей для:

- § всего экрана
- § всех линз одного сечения
- § только для одной линзы (рис.9)

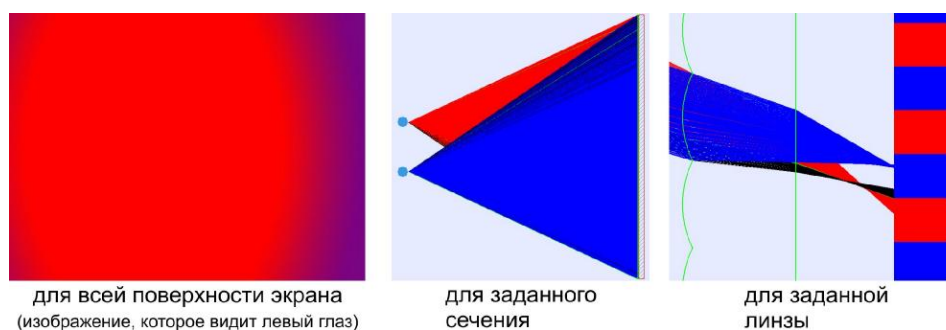


Рис.9. Основные параметры расчета

Примечание. При расчете траекторий лучей для заданного сечения или для заданной линзы черным цветом обозначаются лучи, которые попадают на «чужой» столбец.

При расчете траекторий лучей для всей поверхности экрана лучи, попадающие на «чужие» столбцы, обозначаются синим (для левого глаза) или красным (для правого глаза) цветом. В этом случае графическое представление расчета представляет собой эмуляцию изображения линзо-растрового монитора.

При расчете траектории лучей для одного сечения раstra в программе предусмотрена возможность указать высоту этого сечения. Причем высоту можно указать как в абсолютных единицах, так и в процентах. Центральное горизонтальное сечение соответствует 0 мм (0%). Все сечения, расположенные выше, отсчитываются со знаком «+», а ниже – со знаком «-».

Примечание. В программе учитываются габаритные размеры матричного дисплея. Лучи, проходящие в непосредственной близости от краев линзового раstra, могут не попадать на матричный дисплей и потому обозначаться черным цветом.

При расчете траектории лучей для одной линзы в программе предусмотрена возможность указать и высоту сечения этой линзы, и ее порядковый номер. Причем порядковый номер можно задать числом или указать в процентах. Линзы считаются слева направо. Например, крайне левая линза считается первой и соответствует 0%. Кроме того, для удобства изучения траектории лучей при анализе можно показать на экране либо линзу вместе с матричным дисплеем, либо только линзу (рис.10).

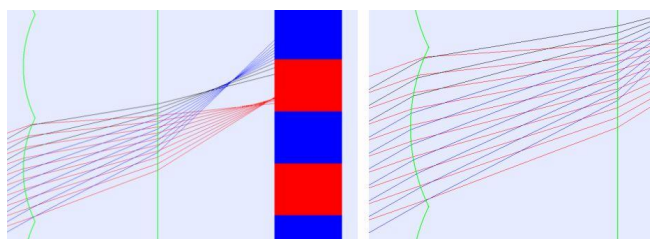


Рис.10. Параметры отображения линзы

Существует возможность учета смещения глаз наблюдателя. Программа позволяет проанализировать, какое изображение увидит наблюдатель, если сместится влево, вправо, вверх или вниз (рис.11).

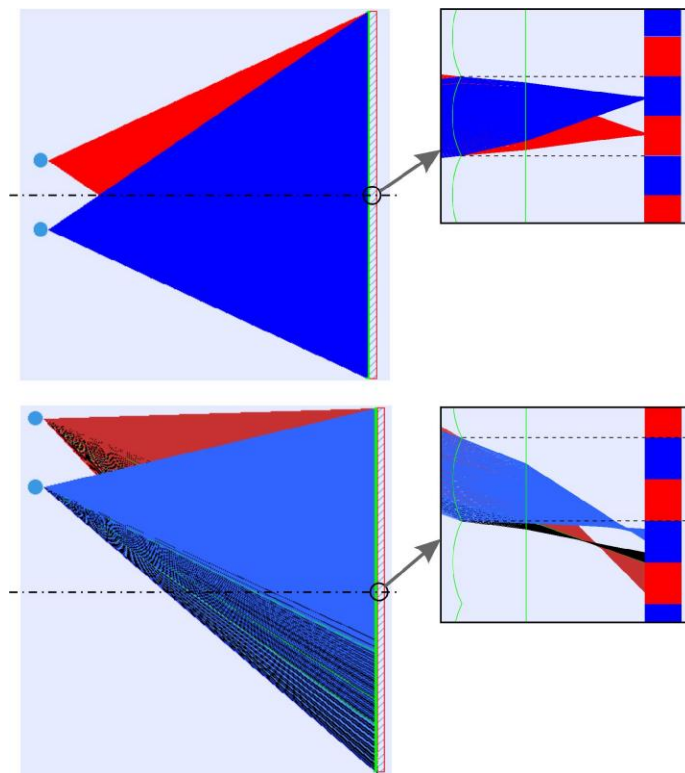


Рис.11. Расчет при смещении глаз наблюдателя

Количество лучей, участвующих в расчете, может варьироваться в широких пределах. Для точного расчета параметров раstra необходимо исследовать преломление большого количества лучей. А для визуального наблюдения траектории заданного луча нужно использовать всего несколько лучей (рис.12).

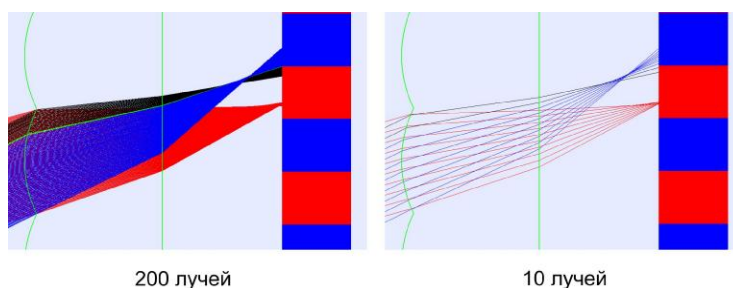


Рис.12. Изменение количества лучей при расчетах

Программа позволяет рассчитывать траектории лучей либо для левого глаза, либо для правого, либо для левого и правого одновременно.

При выводе изображений можно указать, в какой из областей его разместить: в правой или в левой.

В программе предусмотрена возможность отображения траектории не всех лучей, участвующих в расчете, а только одного луча, проходящего через центр линзы. При этом цвет луча изменяется от черного до белого, в зависимости от качества сепарации для данного участка раstra. Белым лучам соответствует максимальное качество сепарации (рис.13).

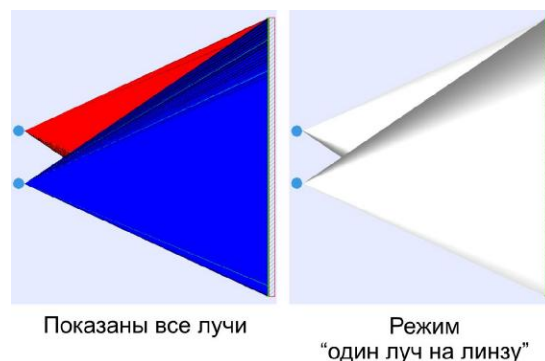


Рис.13. Режимы отображения лучей

В программе приводятся подробные статистические данные расчета:

- § количество лучей, попавших на «свои» столбцы матричного дисплея (первая зона видения);
- § количество лучей, попавших на «соседние» столбцы (вторая зона видения) и т.д., до 4 зоны видения;
- § количество лучей, попавших между пикселями;
- § количество лучей, попавших на «чужие» столбцы;
- § относительно качество стереоизображения по 100-бальной системе/

Для наглядности также приводится пространственная функция сепарации по полю экрана (рис.14).

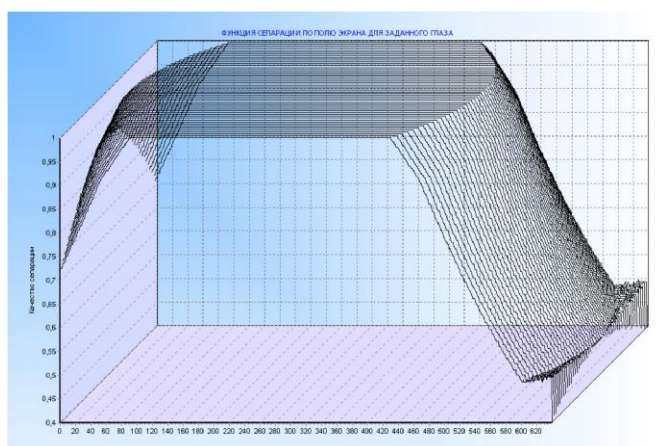


Рис.14. Пространственная функция сепарации по полю изображения

Для получения увеличенного изображения любого из рисунков окна анализа или графика функции сепарации достаточно нажать левой клавишей на рисунке или графике. Изображение будет построено в новом окне. Рисунок можно сохранить в виде файла формата bitmap или JPEG, а также скопировать его в буфер обмена, (для чего достаточно щелкнуть по рисунку левой клавишей мыши).

4. Расчет параметров раstra

Расчет параметров раstra производится двумя способами:

- § с применением методики расчета просветных растров;
- § с использованием специально разработанной методики.

4.1. Использование методики расчета просветных растров

До появления матричных дисплеев стереоскопическое изображение получали с помощью просветных линзовых растров. Существующие методики расчета просветных растров можно использовать и при расчете раstra для матричного дисплея. Однако при этом следует обратить внимание на тот факт, что такие методики допускают ряд упрощений, так как некоторые параметры просветных растров не требуют высокой точности вычислений. Приведенный ниже рис. 15 иллюстрирует процесс такого упрощенного расчета.

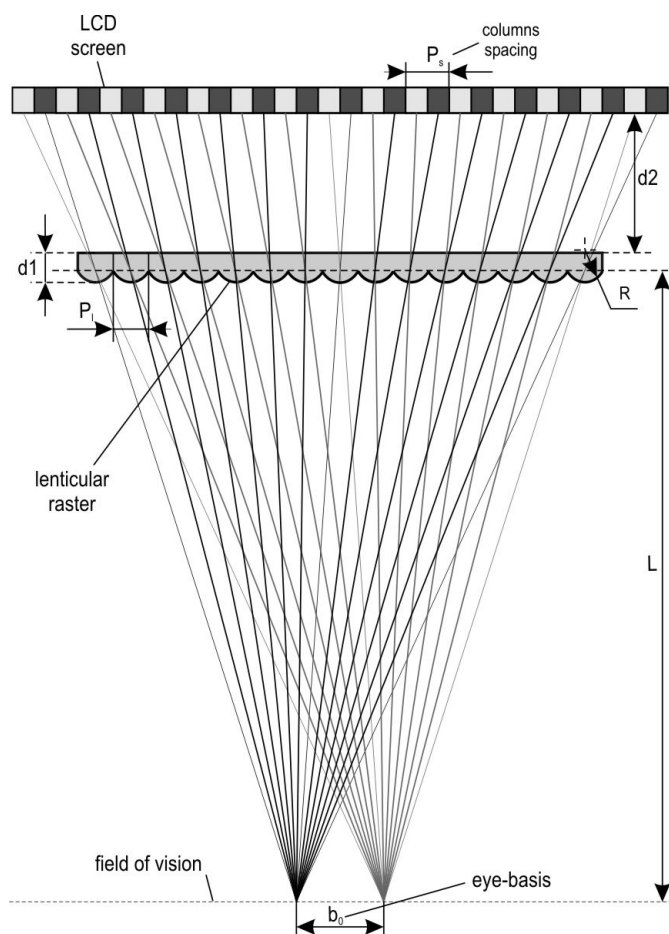


Рис.15. Упрощенный расчет

Можно заметить, в чем именно заключаются эти упрощения:

- § не учитывается боковое смещение луча при преломлении, а потому не учитывается и толщина линзового раstra;
- § не учитываются aberrации линз, в том числе кривизна поля изображения (рис.16);

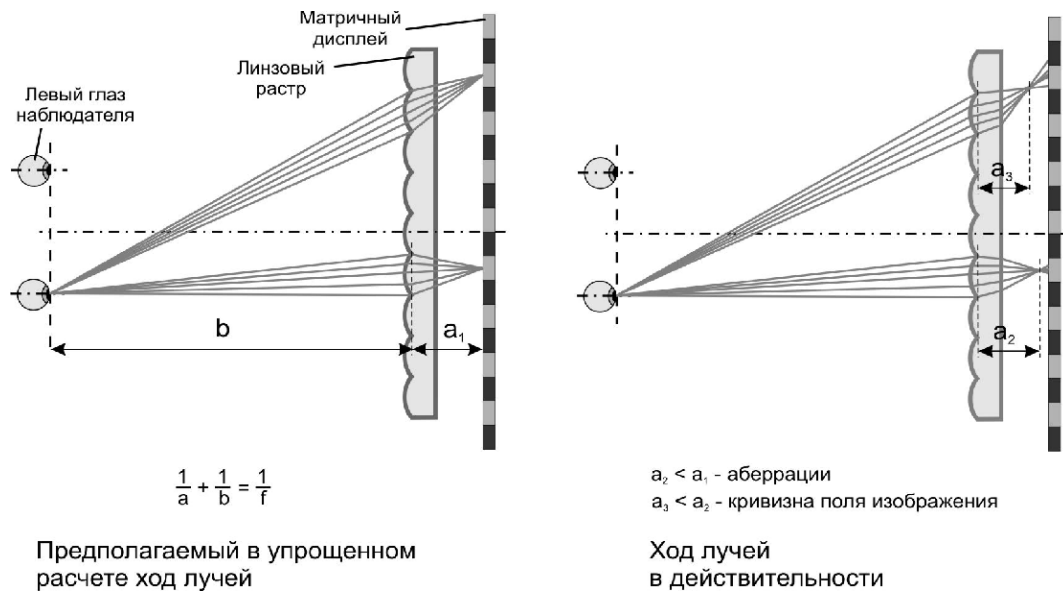


Рис.16. Аберрации цилиндрических линз

- § не учитывается изменение формы линз, когда направление взгляда составляет с нормалью к экрану угол, отличный от нуля (рис.17).

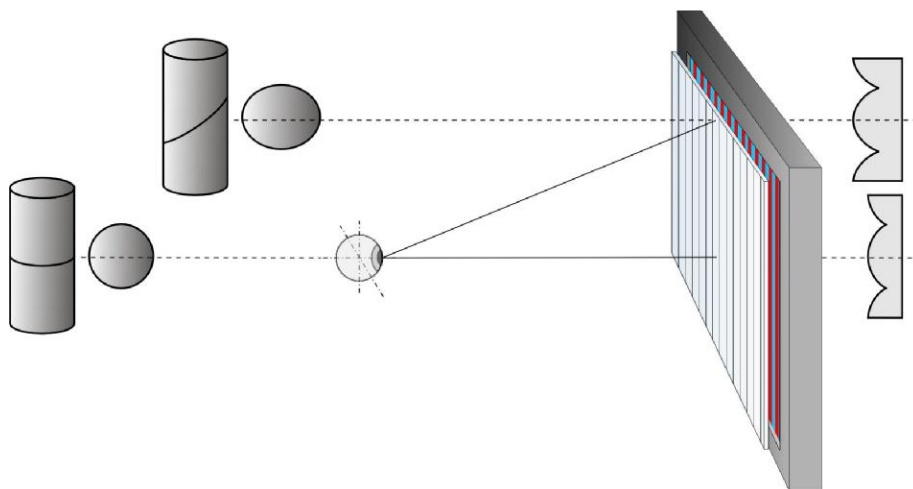


Рис.17. Различия в форме сечения линз

Примечание. При расчете по методике просветных растров не учитывается, а потому не рассчитывается толщина линзового раstra. Расстояние между линзовым растром и матричным дисплеем (d_2) отсчитывается не от тыловой поверхности раstra, а от воображаемой плоскости опоры линз, на которой, как предполагается, и происходит преломление (рис.18).

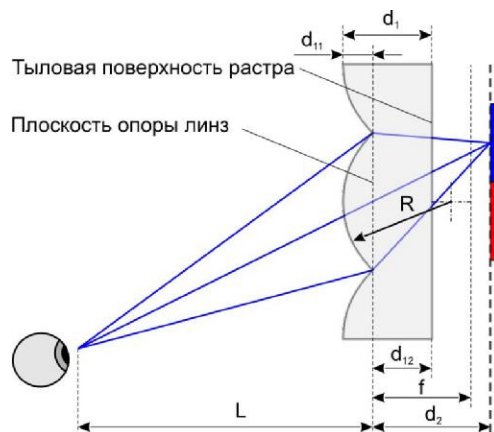


Рис.18. Отсчет d_2 от плоскости опоры линз

При выполнении упрощенного расчета, программа автоматически напоминает разработчику, что точка отсчета – плоскость опоры линз.

Для анализа изображения, создаваемого с помощью линзового раstra, параметры которого рассчитаны по упрощенной методике, необходимо ввести значение толщины раstra. Программа указывает пользователю пределы изменения толщины раstra. Из рисунка видно, что:

$$d_{11} \leq d_1 \leq (d_{11} + d_2)$$

Отсчет расстояния от плоскости опоры линз требует от разработчика определенного внимания при работе с программой. Для облегчения восприятия информации о параметрах раstra, в программе предусмотрена возможность вычисления расстояния между краем раstra и плоскостью матричного дисплея (рис.19).

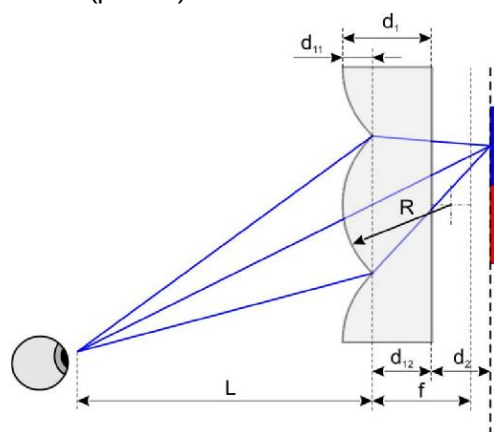


Рис.19. Отсчет d_2 от тыловой плоскости раstra

Для этого необходимо отменить выбор «Отсчет d_2 от плоскости опоры линз». Программа автоматически пересчитает расстояние:

$$d_{2new} = d_{2old} - d_{12} = d_{2old} - (d_1 - d_{11})$$

4.2. Использование специально разработанной методики

Для точного расчета параметров раstra разработана специальная методика. В ее основе лежит та же математическая модель, которая используется при анализе качества стереоскопического изображения. В процессе расчета последовательно перебираются все возможные сочетания параметров, и выбирается такая комбинация, при которой достигается максимальное качество стереоизображения (рис.20).

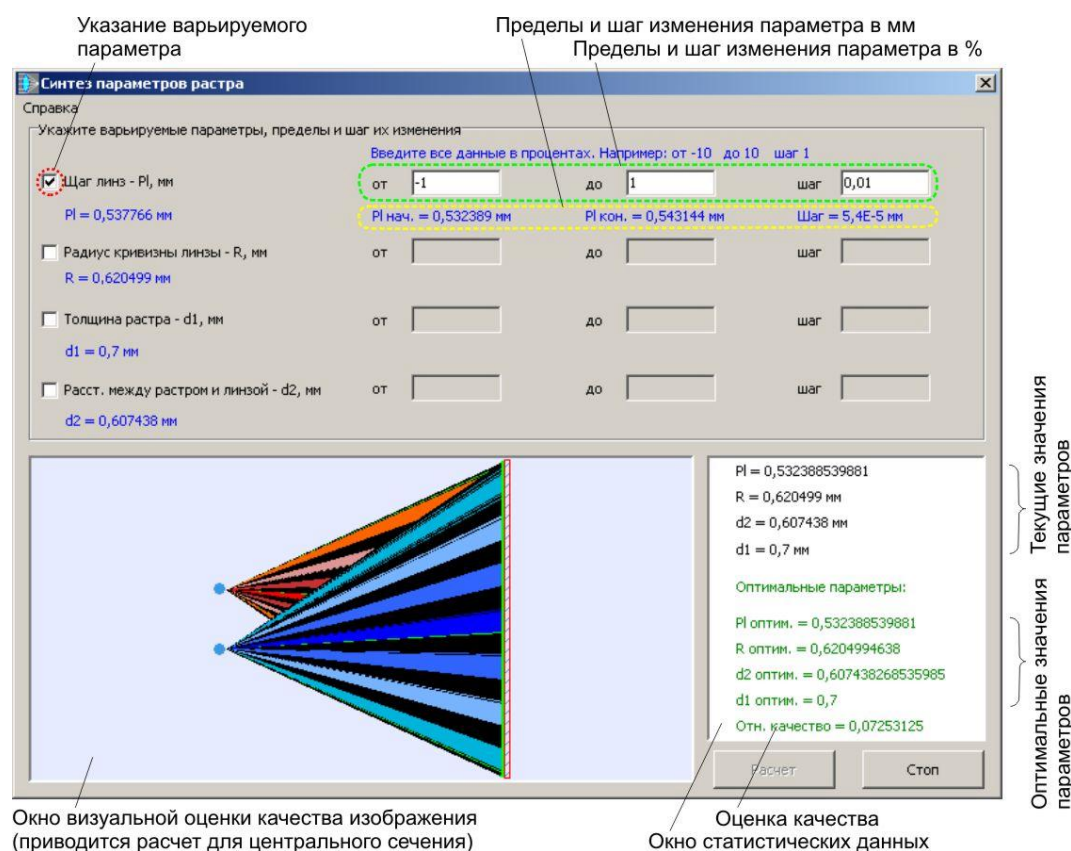


Рис.21. Окно синтеза параметров растра

При расчете разработчик указывает варьируемые параметры и пределы их изменения. Данный подход позволяет исследовать свойства линзовых растров. Например, указав допуски на все параметры растра при его изготовлении, можно вычислить в каких пределах будет изменяться качество изображения.

4.3. Пример расчета с использованием обеих методик

Для демонстрации работы с программой произведем расчет параметров линзового раstra для наиболее распространенного жидкокристаллического монитора с диагональю 17".

Исходные данные вводим в главном окне программы. Запуск вычислений по методике расчета просветных растров осуществляется нажатием на клавишу «Упрощенный расчет». В поле «Расчетные данные» появляются результаты расчета (рис.22)

Рис.22. Пример расчета параметров по методике просветных растров

Примечание. Для предотвращения путаницы при расчетах, уберем «галочку» в опции «Отсчет d2 от плоскости опоры линз». Программа автоматически пересчитает расстояние между плоскостью опоры линз и матричным дисплеем в расстояние между краем раstra и плоскостью матричного дисплея.

Толщину линзового раstra, как уже упоминалось выше, разработчик может выбрать любой в допустимых пределах, (которые указываются в программе синим шрифтом). Зададим толщину раstra 1 мм.

Оценим точность расчета с помощью анализирующей части программы. Для этого укажем программе параметры анализа:

- § произвести анализ для всех линз сечения раstra;
- § вывести изображение в левую область;
- § высота отображаемого сечения – 0 мм (центральное сечение);

После нажатия на клавишу «Анализ» в левой верхней области окна анализа появится визуальное представление траектории лучей, преломляемых центральным сечением линзового раstra.

Закроем окно анализа и в главном окне изменим некоторые параметры:

- § произвести анализ для одной линзы;
- § вывести в правую область;
- § высота отображаемого сечения – 0 мм;
- § номер линзы – 320 (центр экрана).

В правой верхней области окна анализа появится визуальное представление траектории лучей, преломляемых цилиндрической линзой в центре экрана.

Снова закроем окно анализа и укажем в главном окне «произвести анализ для всего раstra». В этом случае в двух нижних областях окна анализа мы увидим эмуляцию изображения, которое было бы сформировано линзо-растровым монитором, параметры которого вычислены по методике расчета просветных растров (рис.23).

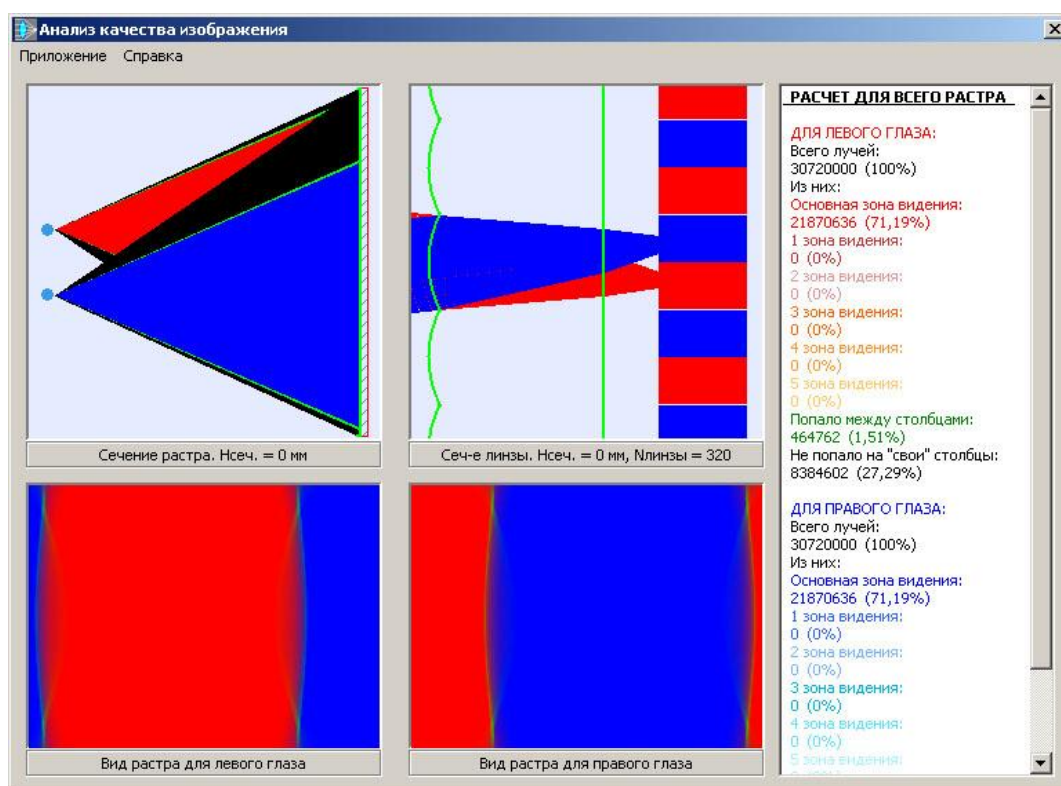


Рис.23. Анализ качества изображения для раstra, рассчитанного при упрощенном расчете

Выводы:

1. Как показывают статистические данные расчета, только 71 % лучей попадает на «свои» столбцы. Эту цифру можно считать относительной оценкой качества по 100 - бальной системе.
2. Визуальное отображение расчета сечения раstra позволяет оценить область экрана, в которой зрительно может восприниматься стереоэффект. В левой части раstra (полоса шириной примерно в четверть длины экрана) правый глаз видит изображение не правого, а левого кадра стереопары. Точно также, в правой части раstra левый глаз видит изображение правого кадра. Таким образом, остается только две четверти площади раstra, где зрительно может восприниматься стереоэффект.
3. Отображение траектории лучей для центральной линзы (в правой верхней области) позволяет выяснить и устранить причину ошибочного расчета. Как видно из рисунка, лучи сходятся за плоскостью матричного дисплея. Для смещения точки фокусировки нужно либо уменьшить радиус закругления линз (R_l), либо увеличить расстояние между растром и матричным дисплеем (d_2).

Для выяснения значений R_l и d_2 запускаем точный расчет, нажав на клавишу «Синтез». Благодаря проведенному упрощенному расчету, мы знаем, какие параметры раstra требуют уточнения и в какую сторону, уменьшения или увеличения, нужно изменять значения этих параметров. Программа вычисляет оптимальные значения параметров, указывая при этом, что качество сепарации увеличилось с 71 балла до 95 (рис.24).

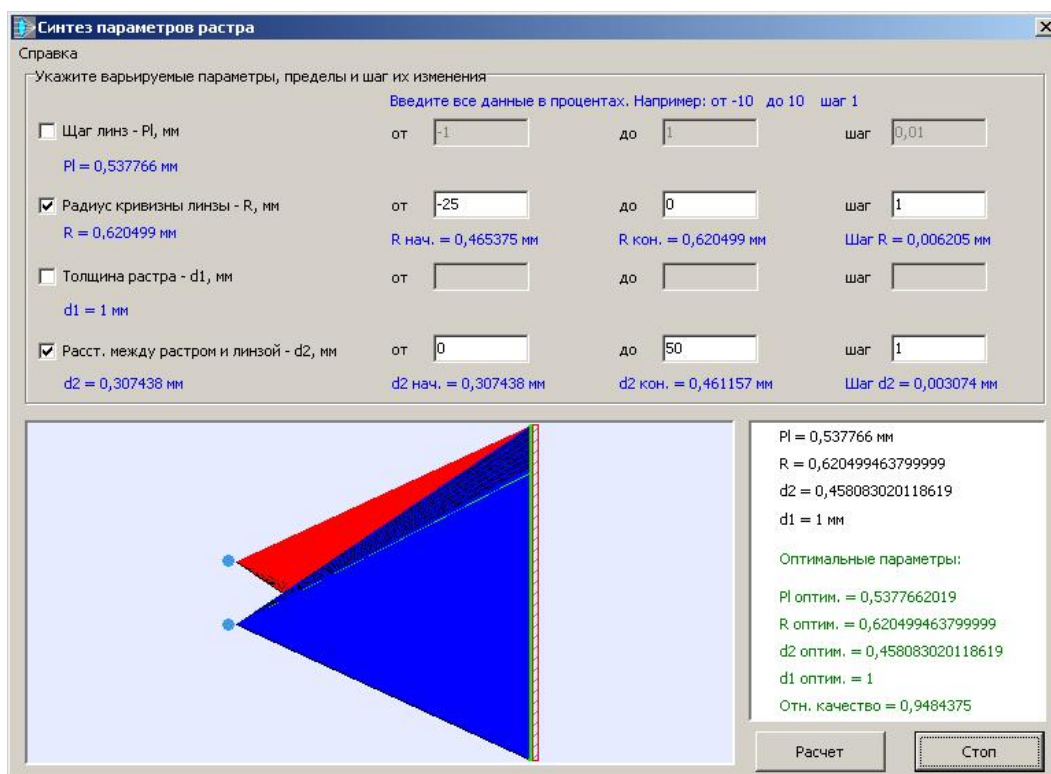


Рис.24. Расчет значений R_l и d_2

Как видно из рисунка, по краям раstra наблюдается плохая сепарация изображений. С помощью анализирующей части программы постараемся найти причину снижения сепарации.

Запускаем процедуру анализа. Для исследования качества стереоизображения запускаем расчет для всего раstra и для сечения. Из полученных изображений видно, что сепарация изображений заметно увеличилась. Для выяснения причин снижения сепарации по краям раstra, запускаем расчет для одной линзы и выбираем для исследования линзу, расположенную ближе к краю раstra, например, номер 64 (рис.25).

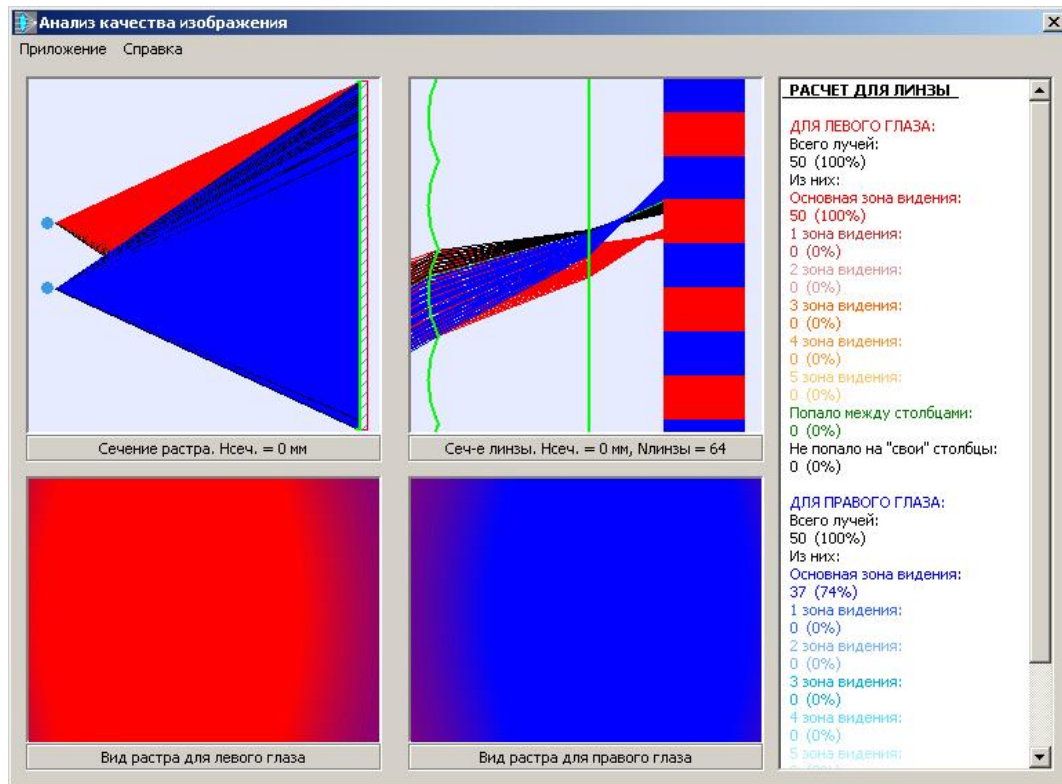


Рис.25. Анализ качества линзового раstra, после уточнения значений R_l и d_2

Из рисунка видно, что для увеличения коэффициента сепарации необходимо увеличить шаг линз P_l .

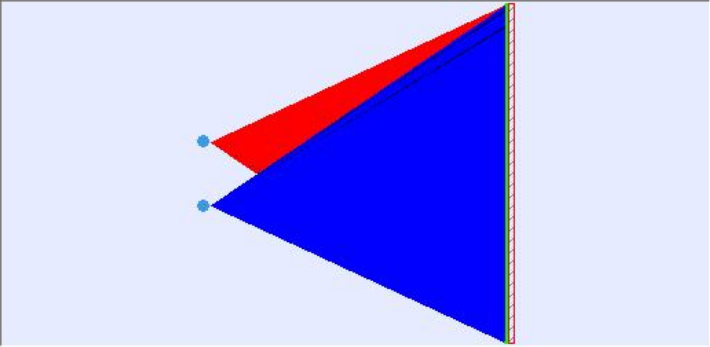
Точное значение рассчитаем, запустив подпрограмму синтеза (рис.26).

Синтез параметров раstra

Справка
Укажите варьируемые параметры, пределы и шаг их изменения

Введите все данные в процентах. Например: от -10 до 10 шаг 1

☒ Шаг линз - P_l , мм $P_l = 0,537766$ мм	от 0	до 1	шаг 0,005
☐ Радиус кривизны линзы - R , мм $R = 0,620499$ мм	от -25	до 0	шаг 1
☐ Толщина раstra - d_1 , мм $d_1 = 1$ мм	от	до	шаг
☐ Расст. между растром и линзой - d_2 , мм $d_2 = 0,458083$ мм	от 0	до 50	шаг 1



$P_l = 0,538277079791805$
 $R = 0,620499$ мм
 $d_2 = 0,458083$ мм
 $d_1 = 1$ мм
 Оптимальные параметры:
 P_l оптим. = $0,538169526551425$
 R оптим. = $0,620499463799999$
 d_2 оптим. = $0,458083020118616$
 d_1 оптим. = 1
 Отн. качество = $0,9965625$

Рис.26. Расчет значения P_l

Подпрограмма вычисляет оптимальное значение шага линз и указывает, что качество стереоскопического изображения увеличилось до 99%.

Для оценки качества стереоизображения запустим подпрограмму анализа еще раз (рис.27).

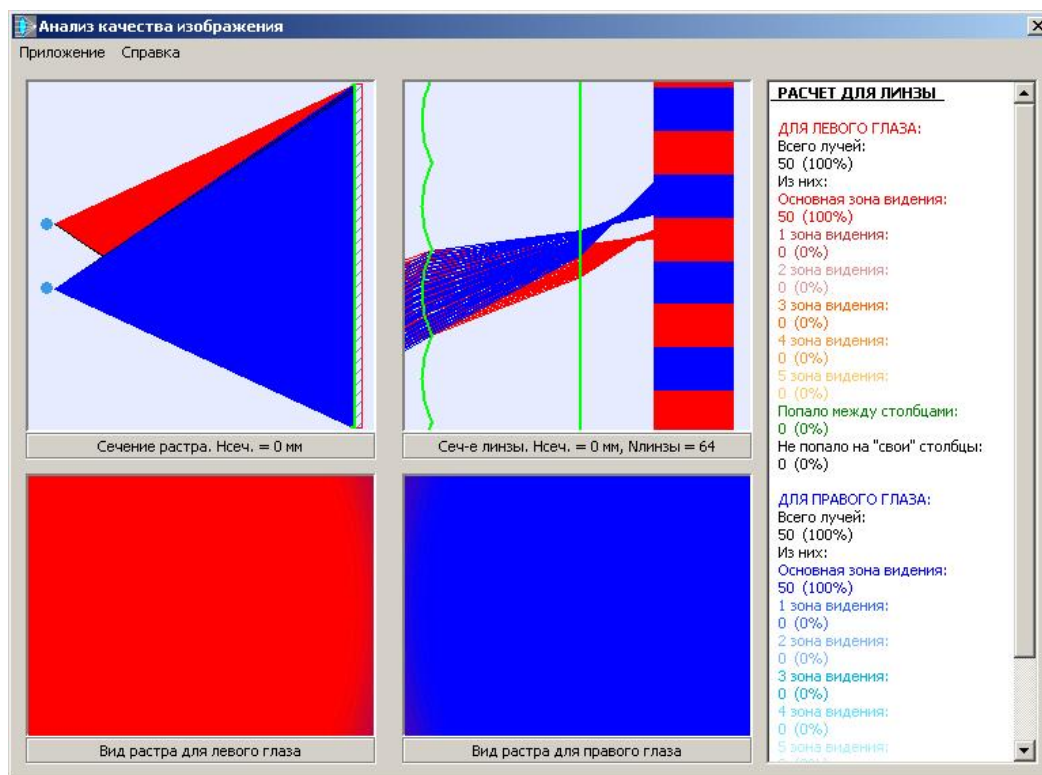


Рис.27. Анализ качества линзового раstra, после уточнения значения P_l

Таким образом, воспользовавшись программой Lenticular Screen 1.0, мы рассчитали параметры линзового раstra, при которых сепарация изображений кадров стереопары максимальна и восприятие объема возможно по всей площади экрана.

5. Развитие программы Lenticular Screen

В дальнейшем планируется модернизация программы:

- § использование в качестве тестового изображения не только «красно-синей» стереопары, но реальных изображений для левого и правого глаз (рис.28);



Рис.28. Стереопара

- § применение расчетов к линзовым растрам как с вертикальным, так и с наклонным расположением цилиндрических линз, получение многокурсного изображения (рис.29).

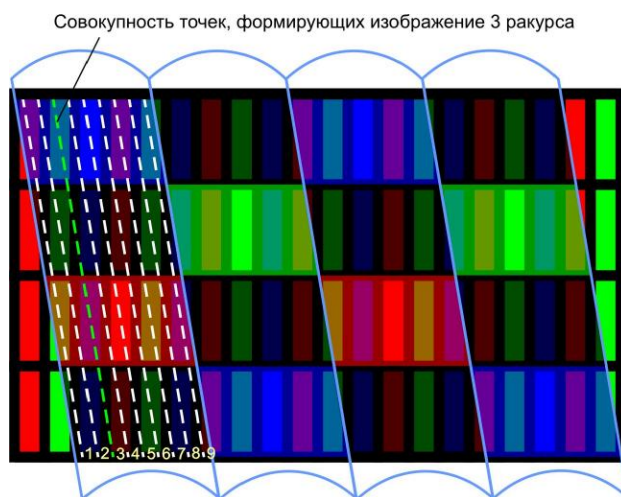


Рис.29. Наклонный линзовый растр