УДК: 535.8

DOI: 10.18384/2310-7251-2018-1-47-62

ДИСПЛЕЙ С МНОГОПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИМ НАПРАВЛЕННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ПРОЕКТОР С УПРАВЛЯЕМЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЛУЧА СВЕТА НА ОСНОВЕ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛОВ С НЕОДНОРОДНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДИРЕКТОРА

Соломатин А.С., Беляев В.В.

*Московский государственный областной университет
105005, г. Москва, ул. Радио, д. 10А, Российская Федерация*

Аннотация. В работе решена задача индикаторного ЖК устройства (дисплея), которое позволяет значительному числу зрителей просматривать одновременно индивидуально различный видеоряд на одной и той же отображающей поверхности. Зрители, регулируя параметры индивидуального видеоряда в интерактивном режиме, могут быть пользователями многопользовательского компьютера с одной визуальной отображающей информационной поверхностью вместо множества отдельных индивидуальных экранов для пользователей. Устройство может использоваться в кабинах самолётов с многоместным экипажем, отображая для членов экипажа индивидуально различную информацию. Аналогично и в иных многоместных системах управления, приёма и обработки информации. В работе решена задача проекционного устройства, в котором число управляемых оптических элементов до двух порядков меньше, чем число пикселей в формируемом (проецируемом) изображении, что снижает стоимость оборудования. Предложены конструктивные решения для аккумуляторного проектора с улучшенной энергоэффективностью проецирования.

Ключевые слова: линза ЖК, оптическая анизотропия, двулучепреломление, пространственно неоднородные структуры, оптические свойства, фокусное расстояние, дисплей, проектор

MULTIUSER PERSONALLY DISTRIBUTING LC DISPLAY AND PROJECTION DEVICE WITH A CONTROLLED REFRACTION OF THE LIGHT BEAM ON THE BASIS OF LIQUID CRYSTALS WITH INHOMOGENEOUS DISTRIBUTION OF THE DIRECTOR

A. Solomatin, V. Belyaev

*Moscow Region State University
ul. Radio 10A, 105005 Moscow, Russian Federation*

Abstract. The task of an indicator LCD device (display) is solved, which allows a significant number of users to simultaneously view individually different visuals on the same display surface.

Viewers, adjusting the parameters of an individual video stream interactively, can be users of a multi-user computer with a single visual information surface instead of a set of individual displays. The device can be used in cockpits of airplanes with a multi-crew, displaying for the crew members individually different information. Similarly, the device can be employed in other multi-local control systems, as well as in information acquisition and processing systems. A projection device in which the number of controlled optical elements is two orders of magnitude smaller than the number of pixels in the (projected) image is developed, which reduces the cost of the equipment. Design solutions for a battery projector with improved energy efficiency of projection are proposed.

Keywords: *LC* lens, optical anisotropy, birefringence, spatially inhomogeneous structures, optical properties, focal length, display, projector.

Введение

Визуально отображающие информацию системы (экраны) используются чрезвычайно широко. Скопление большого числа потребителей визуальной информации и при этом индивидуально различной информации создаёт необходимость в соответствующем количестве экранов индивидуального назначения. Это может создавать, в свою очередь, дополнительные технические требования к архитектуре помещений, их планировке и т.д. Возникает потребность в такой информационной визуальной отображающей поверхности, которая могла бы показывать различным пользователям индивидуально различную информацию (видеоряд). В данной работе предложено решение этой задачи.

Проекционные системы (проекторы) используются чрезвычайно широко: в рекламе, в том числе больших уличных экранах; в кинотеатрах; в образовании, науке и бизнесе при проведении докладов, лекций, презентаций и т.д., снабжённых наглядной визуальной информацией. Актуальность развития проекционной техники вполне очевидна.

На стоимость проекционной техники существенно влияет количество управляемых оптических элементов, обычно соответствующее количеству пикселей в изображении.

Характерными факторами, влияющими на качество изображения, являются: неравномерность постороннего освещения поверхности (экрана), на который осуществляется проецирование, то есть наличие областей с пониженной контрастностью из-за интенсивного внешнего постороннего их освещения; неоптимальный угол (отношение дистанции до экрана к его ширине), отличающийся от расчётного для проектора, и вынуждающий настраивать проекционную оптику, пренебрегая снижением качества изображения; неоптимальное расположение проектора (не на нормали к середине экрана), формирующее трапециевидную спроецированную картинку с соответствующими искажениями; проецирование на криволинейную поверхность при размещении рекламного экрана с учётом архитектурных и иных ограничений.

При увеличении светового потока (проецирование в дневных уличных условиях или на большой экран) возрастает выделение тепла проецирующим оборудованием, что создаёт дополнительные технические требования, влияющие

негативно на конструкцию и условия эксплуатации проекторов большой мощности.

В работе решена задача проекционного устройства, в котором число управляемых оптических элементов до двух порядков меньше, чем число пикселей в формируемом (проецируемом) изображении, что снижает стоимость оборудования. Использование предложенного проекционного оборудования значительно уменьшает негативное влияние вышеперечисленных факторов на качество проецируемого изображения. Также снижается влияние тепловыделения при проецировании мощным световым потоком на конструкцию и условия эксплуатации. Предложены конструктивные решения для аккумуляторного проектора с улучшенной энергоэффективностью проецирования.

Основные новые оптические элементы предлагаемого проекционного оборудования

Элементная база предлагаемого в данной работе оборудования основана на описанных в [1–3] ЖК слоях с фокусирующими, электроуправляемыми и, в соответствии с [4], анизотропными преломляющими свойствами. На рис. 1 приведена структура оптического элемента, состоящего из односторонне покрытой ориентантом ЖК ячейки (другая сторона ячейки не оказывает существенного ориентирующего действия). Поверхность ЖК ячейки разделена на большое число пар прозрачных электродов, что позволяет задавать мелкоступенчатое изменение ориентационно-оптических свойств слоя ЖК в ячейке. Криволинейный или трапециевидный оптический рельеф, как показано в используемой в [5] расчётной методике, представляется мелкоступенчатым (например, синусоида тоже может быть представлена большим числом ступеней) и тоже может быть обеспечен данным устройством.

Управление оптическими свойствами выражается в управлении показателем преломления, что может быть представлено как управление фазовыми задержками $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i, \Phi_{i+1}, \dots, \Phi_{n-1}, \Phi_n$ для условно выделенных в виде узких полос ячеек, как показано на рис. 1.

Рис. 1. Структура, состоящая из вышеописанных ячеек ЖК. Ячейки объединены в слой ЖК. Управление парными прозрачными электродами, расположенными на верхней и нижней стороне каждого субэлемента и создающими в субэлементах напряжённость поля $E_1, E_2, \dots, E_i, E_{i+1}, \dots, E_{n-1}, E_n$ для обеспечения разности фаз $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_i, \Phi_{i+1}, \dots, \Phi_{n-1}, \Phi_n$ в пределах до $\pi/2$, при различии Φ на смежных субэлементах порядка $\pi \cdot 10^{-2}$.

Управление оптическими свойствами осуществляется с учётом ёмкостных свойств ячейки, описанных, например, в [6].

1. Управляемый преломляющий элемент для предлагаемого дисплея

Управляемый преломляющий элемент представляет собой изображённый на рис. 1 односторонне ориентированный слой ЖК с той лишь разницей, что управляющие электроды выполнены не в виде длинных узких полос, а в виде прямоугольников, то есть элемент подобен микродисплею, разбит на маленькие квадратные области с управляемыми полем ориентационно-оптическими свойствами. Фазовая задержка распределена мелкими ступеньками так, что луч света преломляется на ступеньке как на плоской поверхности, склонённой под углом к направлению луча.

На рис. 2 изображён принцип отклонения луча с использованием управляемого преломляющего элемента. Луч света 1 проходит через односторонне ориентированную ячейку 2, на торцах которой находятся управляющие электроды, поляризатор и анализатор. Она регулирует интенсивность пропускания. Затем отрегулированный по интенсивности луч света поступает на управляемый преломляющий элемент 3. Под влиянием управляющего поля он отклоняет (преломляет) луч света на заданный угол. Затем луч света, границы которого (он имеет некоторое заметное расширение, так как на разных краях преломляющего элемента преломляется на неодинаковый угол) показаны на рис. 2 как 4 и 5, распространяется далее и достигает в области нахождения зрителя 6, с учётом расширения луча, ширины 7.

Рис. 2. Принцип отклонения луча с использованием управляемого преломляющего элемента.

Важнейшее практическое значение имеют количественные оценки вышеупомянутых величин: угол, на который может быть отклонён луч света; расширение отклонённого луча (угловое).

Имеется в виду, что изображение формируется в RGB палитре и образуются лучи трёх соответствующих цветов. Один элемент, изображённый на рис. 2, обеспечивает только какой-то один цвет из трёх, для этого он имеет источник (например, светодиод достаточной яркости) соответствующего цвета. Если же источник света широкого спектра, то дополнительно к изображённому на рис. 2

устанавливается светофильтр перед входом луча в регулятор интенсивности пропускания. Три элемента (разных цветов) формируют сонаправленные лучи и формируют каждый пиксель в соответствии с полагающимися ему пропорциями цветов.

Угол, на который может быть отклонён луч, оценён количественно для одно-сторонней ячейки ЖК толщиной 11 мкм, с показателями преломления $n_o=1.5$, $n_e=1.65$, с гомеотропной ориентацией на ориентированной (одной) стороне и отрицательной диэлектрической анизотропией. Предполагалось, что управляющее поле формирует равномерное линейно изменяющееся вдоль направления, параллельного одной из сторон управляемого преломляющего элемента, значение эффективного показателя преломления, рассчитанного как в [7] и показанного на рис. 3. по горизонтальной оси, так как в таком случае он аналогичен линейной координате вдоль ячейки. По вертикальной оси отложена координата по нормали к ЖК ячейке, то есть вдоль предполагаемого направления падения луча света. Поверхность фронта волны изображена на рис. 3. Как видно, он параболический, но совсем немного. Угол, на который повернулся фронт волны по сравнению с первоначальным нормальным падением, составляет для всех точек изображённого на рис. 3 фронта волны 5,71 градуса, если ширина управляемого преломляющего элемента 10 мкм.

Рис. 3. Фронт волны нормально падающего луча света перед выходом из управляемого преломляющего элемента.

Однако на выходе из управляемого преломляющего элемента в среду (воздух) луч преломится, и там, где показатель преломления больше, он преломится сильнее. На рис. 4 показана зависимость угла преломленного луча (угол отсчитывается от нормали, то есть от прежнего направления падения луча на преломляющее устройство) фактически от такой же горизонтальной оси, как на рис. 3, хотя формально она подписана как относительная линейная координата. Как видно, зависимость линейная.

Рис. 4. Зависимость угла преломления (угол отсчитывается от нормали) от относительной ширины управляемого преломляющего элемента.

Таким образом, как следует из рис. 3, при расстоянии до зрителя 1 м, отклонение луча от нормали (полуширина области наблюдения зрителем данного пикселя) может быть 15 см, и размеры области составят 30 см (сторона квадратной области наблюдения зрителем данного пикселя).

Ширина области, освещённой расширившимся лучом, как следует из рис. 4, составит при этом (при отклонении луча на 15 см) около 1,5 см. Если же отклонение будет меньше, то есть для средней части области проецирования, то и расширение луча тоже уменьшится и освещённое пятно будет уже. Таким образом, зритель, которому необходимо одновременно видеть весь экран, не увидит изображение, а только область экрана шириной не более 1,5 см. При этом его глаза должны находиться в пределах строго определённой области шириной 30 см, чтобы увидеть именно данную область экрана.

Следовательно, необходимо решить две задачи: во-первых, расширить углы отклонения луча до 60° к нормали экрана, чтобы зрители могли располагаться многочисленно и не загораживать экран друг другу; во-вторых, расширить световой луч, прошедший через элемент дисплея, чтобы зритель одновременно видел лучи с разных краёв дисплея, то есть его весь.

Если оснастить зрителя (каждого) небольшим индивидуальным беспроводным маяком, размещаемым не очень далеко от органов зрения, то есть, например, на волосах, на воротнике и т.д., то можно оснастить дисплей средствами, определяющими расстояние и направление на каждый из значительного числа маяков.

Тогда в направлении каждого из зрителей можно направлять световой поток от дисплея так, чтобы в ограниченной по размерам области вокруг маяка, в каждой точке этой области, проходил световой поток от каждого из пикселей дисплея. Тогда зритель будет хорошо видеть изображение на дисплее.

Частота переключения односторонней ячейки 100 Гц–1 кГц. При частоте кадров 25 кадров в секунду (как в кинофильмах) можно обслуживать от нескольких зрителей до нескольких десятков зрителей, передавая каждому из них ин-

дивидуальное изображение. То есть каждый зритель будет иметь свой пульт управления телевизором или клавиатуру компьютера (звук через наушники) и пользоваться дисплеем как своим, но находящимся на некотором увеличенном расстоянии от него.

Для увеличения угла расширения луча, а также для увеличения максимальных углов его отклонения, следует, как описано в [1], использовать линзу ЖК. Как было отмечено выше, на рис. 4 видно, что зависимость угла расширяющегося проекционного луча от координаты по ширине управляемого преломляющего элемента линейная. Практически это означает, что расширяющийся луч выглядит приблизительно как исходящий из одной точки, расстояние до которой можно определить. Оно на два порядка больше ширины управляемого преломляющего элемента при максимальном угле отклонения луча, и на четыре порядка – при небольшом угле отклонения луча. То есть условная точка отстоит (при ширине управляемого преломляющего элемента 10 мкм) на 1 мм для крайних углов и на 100 мм для небольших углов. Следовательно, рассеивающая линза ЖК, фокус которой совпадает с упомянутой выше условной точкой, расширит световой поток от одного элемента до требуемого угла расхождения крайних его лучей, чтобы осветить им область достаточной ширины вокруг индивидуально-го маяка зрителя.

Линза может регулироваться под необходимые требования. На рис. 5 изображён дополненный управляемой ЖК линзой элемент дисплея.

Рис. 5. Элемент дисплея с использованием управляемого преломляющего элемента. Луч света 1 проходит через ячейку 2, на торцах которой управляющие электроды, поляризатор и анализатор. Она регулирует интенсивность пропускания. Затем отрегулированный по интенсивности луч света поступает на управляемый преломляющий элемент 3. Под влиянием управляющего поля он отклоняет (преломляет) луч света на заданный угол. Затем луч света, границы которого (он имеет некоторое заметное расширение, так как на разных краях преломляющего элемента преломляется на неодинаковый угол) показаны на рисунке как 4 и 5, поступает к зрителю 6, освещая с учётом расширения луча область 7. Управляемая линза ЖК 8 расширяет луч.

Рассеивающая ЖК линза эквивалентна сферической стеклянной, как показано в [7]. На рис. 6 показано, как луч, выходя в воздух из рассеивающей

линзы, преломляется на её поверхности 4 в точке, где нормаль к поверхности линзы образует угол с осью линзы, и при этом угол луча к оси линзы значительно увеличивается. Так, например, при показателе преломления материала линзы 1,5 (стекло), угле α величиной 30° между нормалью 3 в точке преломления луча и осью линзы (прямая 6 параллельна оси) и угле β между лучом 1 до преломления и осью (параллельна оси прямая 2) величиной $5,7^\circ$, угол γ между лучом преломленным 5 и осью линзы (прямая 6 параллельна оси) приблизится к 60° , то есть пойдёт почти вдоль поверхности линзы в точке преломления.

Рис. 6. Луч преломляется, выходя из поверхности 4 рассеивающей линзы, в точке, где нормаль к поверхности линзы образует угол с осью линзы, и при этом угол луча к оси линзы значительно увеличивается. При угле α между нормалью 3 в точке преломления луча и осью линзы (прямая 6 параллельна оси), и угле β между лучом 1 до преломления и осью (параллельна оси прямая 2), угол γ между лучом, преломленным 5 и осью линзы (прямая 6 параллельна оси) будет больше чем до преломления луча.

Для ЖК линзы вполне можно, как показано в [1], получить соответствие стеклянной линзе с углом нормали к поверхности с осью до 30° включительно. Следовательно, можно обеспечить отклонение луча до 60° к нормали, что и требовалось. При этом расширение луча резко увеличится и обеспечит освещение лучом области шириной в несколько раз меньше, чем расстояние до неё (до зрителя), то есть с двух метров расстояния будет освещена область в 30 сантиметров диаметром.

Это позволяет зрителю в двух метрах от экрана располагать индивидуальный маяк на расстоянии несколько меньше 30 см от органов зрения, что в целом достаточно удобно.

Таким образом, поставленная задача решена, и технически возможно обеспечить группу зрителей индивидуальным изображением на экране для каждого зрителя. Однако при этом возрастает количество управляемых элементов в составе каждого пикселя экрана, что делает его дороже. Тем не менее, один экран заменяет несколько и кроме того может быть удобен при наличии каких-либо ограничений на размещение нескольких экранов, например, связанных с архитектурой и планировкой помещения.

2. Управляемый преломляющий элемент для предлагаемого проекционного оборудования

Управляемый преломляющий элемент для проектора аналогичен описанному выше для дисплея. На рис. 7 изображён принцип проецирования с использованием управляемого преломляющего элемента. Луч света **1** проходит через управляемый преломляющий элемент **3**. Под влиянием управляющего поля он отклоняет (преломляет) луч света на заданный угол. Затем луч света, границы которого (он имеет некоторое заметное расширение, так как на разных краях преломляющего элемента преломляется на неодинаковый угол) показаны на рис. 7 как **4** и **5**, падает на экран **6**, освещая, с учётом расширения луча, область **2**.

Таким образом, отношение максимального угла отклонения луча управляемым преломляющим элементом к угловой ширине отклонённого луча задаёт, соответственно, отношение полуширины освещённого проекционного экрана к размеру пикселя изображения. Удвоив эту величину, получим максимальное число строк (и столбцов) для прямоугольного управляемого преломляющего элемента, освещающего также прямоугольную область экрана.

Рис. 7. Принцип проецирования с использованием управляемого преломляющего элемента

Следовательно, на большой экран будет приходиться ограниченное число проекционных элементов, каждый из которых обеспечивает построчную развёртку (как в экранах на электронно-лучевой трубке) изображения ограниченных размеров на выделенной для него части экрана.

Частота переключения односторонней ЖК ячейки позволяет, при 25 кадрах в секунду (как в кинофильмах), осветить значительное число пикселей проецируемого изображения. Фактически изображение формируется построчно, время пребывания луча постоянной интенсивности, направленного на один пиксель, определяет яркость пикселя. Проецирование одной строки осуществляется за время одного переключения ячейки ЖК от одного крайнего состояния до другого. Таким образом, длина строки (и число строк) составляет несколько десятков.

Проекционные элементы монохромные, в соответствии с принципами формирования цветного изображения и цветами RGB палитры.

Угол, на который может быть отклонён луч, оценён количественно выше на рис 3. Как следует из рис. 3, при расстоянии до экрана 1 м, отклонение луча от

нормали (полуширина области проецирования одного проекционного элемента) может быть 15 см., и размеры области проецирования составят 30 см (сторона квадратной области проецирования). Таким образом, в области проецирования разместятся двадцать строк по двадцать пикселей (поперечником в пределах до 1,5 см) в каждой.

Очевидно из вышеизложенного, что проецирующее устройство способно проецировать чётко различаемые пиксели, не перекрывающиеся своим краями друг с другом, и притом достаточно много пикселей в достаточно широкой области проецирования. Для зрительного восприятия различия в размерах пикселей обычно несущественны, гораздо важнее количество света, испускаемого пикселем, и его цветовая контрастность относительно соседних пикселей. Как раз эти важнейшие требования полностью обеспечены.

Конструктивные решения для предлагаемого проекционного оборудования

Прежде всего, рассмотрим проецирование на большой плоский экран «на просвет». Применение, например, в кинотеатрах придаёт ему необходимую актуальность. Конструктивное решение, предлагаемое на основе вышеописанных проекционных элементов, показано на рис. 8. Экран (фактически – развёрнутый рулон соответствующего материала) закреплён на достаточно прочном каркасе, обычно, при больших размерах экрана, имеющем вид ажурной металлоконструкции, часть элементов которой находится на некотором расстоянии позади экрана. На них закреплены проекционные элементы. Если все проекционные элементы одинаковые, то каждый из них проецирует на одинаковую квадратную область проецирования, относящуюся только к данному проекционному элементу.

Рис. 8. Конструктивное решение для большого проекционного экрана на просвет.

Аналогичное конструктивное решение применимо и для большого проекционного экрана, рассеивающего падающий на него свет. В таком случае конструкции, на которых закреплены проецирующие элементы, выполняются малозамет-

ными (тонкими). Такие экраны могут быть укреплены на стенах, как внешних (уличных), так и внутренних (в помещениях), и использоваться как рекламные, учебно-демонстрационные и т.д.

Можно отметить, что при использовании значительного числа проекционных элементов ограниченной мощности (освещающих области проецирования умеренных размеров) они выделяют умеренное количество тепла, и можно обойтись простейшими средствами теплоотвода (рёбрами охлаждения, например).

Основным недостатком таких экранов является визуальный дискомфорт от видимых конструкций с проекционным оборудованием.

Следует отметить, что монтаж экрана (в простейшем случае он просто вывешивается) осуществляется быстрее, чем монтаж конструкций с проекционным оборудованием. Поэтому актуально проецирование из позиции, смещённой к краю экрана и, разумеется, на некотором расстоянии от него. Обычный проектор в таком случае даёт трапецевидную искажённую картинку.

На рис. 9 (слева) изображено проецирование из позиции не на нормали к середине экрана. Естественно, используется блок из достаточного количества проецирующих элементов, каждый из которых освещает соответствующую ему область проецирования.

Рис. 9. Слева: Конструктивное решение для проецирования из смещённой позиции на большой проекционный рассеивающий экран. Разные проекционные элементы проецируют под разными углами. Справа: Проецирование одним элементом в его области проецирования с неравным угловым расстоянием между центрами смежных пикселей во избежание трапецевидного искажения изображения.

Важно уточнить, как в таком случае избежать трапецевидного искажения изображения. На рис. 9 (справа) изображено проецирование пикселей одним из проецирующих элементов в его области проецирования. Пиксели остаются прямоугольными (расположены правильно) в общей для всего большого экрана прямоугольной матрице пикселей. Для этого изменяется их угловое распределение в системе координат проецирующего элемента. Угловое положение каждого пикселя изменяется с учётом заранее введённых в проектор сведений об

угле проецирования (на самом деле, указывается пара углов) по отношению к центру экрана, расстоянию до центра экрана, размерах (ширине и высоте) экрана. Проектор преобразует эти данные в аналогичные для каждой из областей проецирования проекционными элементами. Затем проекционный элемент выполняет расчёт угловых координат каждого из пикселей в его области проецирования. Разумеется, все математические операции выполняются единой микросхемой процессора, а затем вычисленные данные записываются в память. В дальнейшем их заново вычислять не требуется до тех пор, пока не изменится положение проектора относительно экрана.

Эта же схема, показанная на рис. 9, актуальна и для проекционного экрана на пропускание.

Для преодоления проблем с внешним неравномерным освещением экрана можно вводить в проектор соответствующие настройки, тогда некоторые проецируемые области (группы пикселей) будут освещены менее ярко. Можно также оснастить проекционный элемент фотоприёмником узкого углового диапазона и получать таким образом информацию о внешней освещённости области проецирования элемента перед началом проецирования, автоматически введя поправки на яркость проецирования.

Как следует из рис. 3 и рис. 4, отношение между размером пикселя и расстоянием до экрана изменяется примерно на два порядка при переходе к максимальным углам отклонения луча, то есть на краю области проецирования. В средней части области, то есть при меньших углах отклонения луча, соотношение на один-два порядка лучше, но если ограничиваться такими угловыми размерами проецируемого пикселя, то следует ограничиваться узкой областью проецирования (при этом количество строк и пикселей в строке всё равно не уменьшится). Тогда можно проецировать с большого расстояния, но уже не получится эффективно проецировать из смещённой позиции без трапециевидного искажения изображения.

Расширяющийся луч выглядит приблизительно как исходящий из одной точки, расстояние до которой можно определить. Условная точка отстоит при ширине управляемого преломляющего элемента 10 мкм на 1 мм для крайних углов и на 100 мм для небольших углов. Для ограничения угла расширения луча следует использовать линзу ЖК [1] с соответствующим фокусным расстоянием. Следовательно, если ЖК линза будет соосна с управляемым преломляющим лучом (их центры будут на одной прямой, проходящей посередине выходящего луча), и фокус собирающей линзы будет в той точке, где кажется мнимый источник света (то есть фокусное расстояние задаётся в пределах от 1 мм до 100 мм), то луч будет коллимирован. Линза может регулироваться под необходимые требования. На рис. 10 изображён дополненный управляемой ЖК линзой проекционный элемент.

В результате расширение луча даже при максимальных углах сформирует пиксель шириной на четыре порядка меньше дистанции проецирования. То есть при расстоянии до экрана 10 м пиксель будет размером в 1 мм и при изображении 4000 на 3000 точек размеры экрана (проецированного изображения)

будут 4 м шириной и 3 м высотой. А при изображении 1200 на 900 точек размеры экрана будут 1,2 м на 0,9 м. Практически это означает, что такой проектор может применяться даже в довольно больших помещениях и для довольно мелкозернистого проецирования (зрители не различат отдельных пикселей изображения из-за их малой величины).

Рис. 10. Принцип проецирования с использованием управляемого преломляющего элемента. Луч света 1 проходит через управляемый преломляющий элемент 3. Под влиянием управляющего поля, он отклоняет (преломляет) луч света на заданный угол. Затем луч света, границы которого (он имеет некоторое заметное расширение, так как на разных краях преломляющего элемента преломляется на неодинаковый угол) показаны на рисунке как 4 и 5, падает на экран 6, освещая с учётом расширения луча область 2. Управляемая линза ЖК 7 коллимирует луч.

Таким образом, проектор может быть использован там же, где и проекторы иных типов, но превосходя их во многих эксплуатационных ситуациях и, предположительно, быть дешевле их из-за меньшего количества управляемых элементов.

Для аккумуляторного проектора важна его энергоэффективность. Отсутствует использование поглощающих регуляторов яркости, она регулируется аддитивно (накапливается). Изображение формируется построчно, время пребывания луча постоянной интенсивности, направленного на один пиксель, определяет яркость пикселя. Для увеличения потенциально достижимой контрастности области проецирования для смежных проецирующих элементов частично перекрываются (фактически это требует увеличить число проецирующих элементов в несколько раз). Каждый пиксель изображения находится в проецируемых областях для нескольких проецирующих элементов. Каждый проецирующий элемент может ни разу за время формирования кадра не осветить пиксель, и он будет иметь нулевую яркость в заданном цвете RGB палитры. В то же время пиксель с высокой яркостью может быть сформирован за счёт многократного по продолжительности (по сравнению с обычным) временем его освещения как одним, так и в общей сложности несколькими проекционными элементами. Таким образом, световой поток от источника света перераспределяется в соответствии с заданной яркостью пикселей. Если же вся область проецирования одного проекционного элемента в формируемом кадре должна быть чёрная (в заданном

цвете), то тогда пригодится поглощающий регулятор яркости, но такая ситуация бывает редко.

Выводы

В работе решена задача индикаторного ЖК устройства (дисплея), которое позволяет значительному числу зрителей просматривать одновременно индивидуально различный видеоряд на одной и той же отображающей поверхности. Зрители, регулируя параметры индивидуального видеоряда в интерактивном режиме, могут быть пользователями многопользовательского компьютера с одной визуально отображающей информационной поверхностью вместо множества отдельных индивидуальных экранов для пользователей. Устройство может использоваться в кабинах самолётов с многоместным экипажем, отображая для членов экипажа индивидуально различную информацию. Аналогично и в иных многоместных системах управления, приёма и обработки информации.

В работе решена задача проекционного устройства, в котором число управляемых оптических элементов до двух порядков меньше, чем число пикселей в формируемом (проецируемом) изображении, что снижает стоимость оборудования.

Использование предложенного в данной работе проекционного оборудования значительно уменьшает негативное влияние эксплуатационных факторов на качество проецируемого изображения. Также снижается влияние тепловыделения при проецировании мощным световым потоком на конструкцию и условия эксплуатации.

Предложены конструктивные решения для аккумуляторного проектора с улучшенной энергоэффективностью проецирования.

Статья поступила в редакцию 10.01.2018 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соломатин А.С. Линзы на основе жидких кристаллов с неоднородным радиальным распределением директора // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2016. № 3. С. 37–45.
2. Беляев В.В., Соломатин А.С. Ориентационные и оптические свойства слоёв жидкого кристалла с одной ориентирующей и одной неориентирующей поверхностью // Жидкие кристаллы и их практическое применение. 2014. Т. 14. № 2. С. 4–20.
3. Belyaev V.V., Solomatin A.S. Properties of hybrid aligned nematic (HAN) LC layers with both fixed and unfixed boundary conditions // Molecular Crystals & Liquid Crystals. 2015. Vol. 613. P. 121–128.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы. 1957. 759 с.
5. Соломатин А.С. Влияние профиля микрорельефа периодических анизотропных структур на их дифракционные свойства // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2016. № 1. С. 74–87.
6. Соломатин А.С., Беляев В.В., Рыбаков Д.О. Влияние пространственного ориентационного распределения директора жидкого кристалла на диэлектрические свойства ячейки ЖК // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2016. № 3. С. 96–110.

7. Невская Г.Е., Томилин М.Г. Адаптивные линзы на основе жидких кристаллов // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 9. С. 35–48.

REFERENCES

1. Solomatin A.S. Linzy na osnove zhidkikh kristallov s neodnorodnym radial'nym raspredeleniem direktora [Liquid-crystal lenses with a non-uniform radial distribution of the director]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-Matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2016, no. 3, pp. 37–45.
2. Belyaev V.V., Solomatin A.S. Oriyentatsionnye i opticheskie svoystva sloev zhidkogo kristalla s odnoi oriyentiruyushchei i odnoi neoriyentiruyushchei poverkhnost'yu [Orientational and optical properties of liquid crystal layers with one orientating and one non-orienting surface]. In: *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoe primeneniye* [Liquid Crystals and their Application], 2014, vol. 14, no. 2, pp. 4–20.
3. Belyaev V.V., Solomatin A.S. Properties of hybrid aligned nematic (HAN) LC layers with both fixed and unfixed boundary conditions. In: *Molecular Crystals & Liquid Crystals*, 2015, vol. 613, pp. 121–128.
4. Landsberg G.S. *Optika* [Optics]. Moscow, State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1957. 759 p.
5. Solomatin A.S. Vliyanie profilya mikrorel'efa periodicheskikh anizotropnykh struktur na ikh difraktsionnye svoystva [Influence of the microrelief profile of periodic anisotropic structures on their diffraction properties]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-Matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2016, no. 1, pp. 74–87.
6. Solomatin A.S., Belyaev V.V., Rybakov D.O. Vliyanie prostranstvennogo orientatsionnogo raspredeleniya direktora zhidkogo kristalla na dielektricheskie svoystva yacheiki ZhK [Influence of spatial orientational distribution of the liquid-crystal director on the dielectric properties of an LCD cell]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-Matematika* [Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics], 2016, no. 3, pp. 96–110.
7. Nevskaya G.E., Tomilin M.G. Adaptivnye linzy na osnove zhidkikh kristallov [Adaptive lenses based on liquid crystals]. In: *Opticheskii zhurnal* [Journal of Optical Technology], 2008, vol. 75, no. 9, pp. 35–48.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соломатин Алексей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии Московского государственного областного университета;
e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru;

Беляев Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики Московского государственного областного университета;
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleksei S. Solomatin – PhD in Physical and mathematical sciences, engineer of the Education & Science Lab for Theoretical and Applied Nanotechnology, Moscow Region State University;
e-mail: Sotrudnica_UNC@mail.ru;

Victor V. Belyaev – Doctor in Technical sciences, professor, head of the Department of Theoretical Physics, Moscow Region State University;
e-mail: vic_belyaev@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Соломатин А.С., Беляев В.В. Дисплей с многопользовательским направленным распределением визуальной информации и проектор с управляемым распределением луча света на основе жидких кристаллов с неоднородным распределением директора // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2018. № 1. С. 47–62.

DOI: 10.18384/2310-7251-2018-1-47-62.

FOR CITATION

Solomatin A.S., Belyaev V.V. Multiuser personally distributing LC display and projection device with a controlled refraction of the light beam on the basis of liquid crystals with inhomogeneous distribution of the director. In: *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*. 2018. no. 1. pp. 47–62.

DOI: 10.18384/2310-7251-2018-1-47-62.