

Разработка объемного дисплея для информационно-коммуникационного взаимодействия в Арктической зоне

С.А. Корчагин, Д.В. Сердечный, Н.А. Андриянов

Государственный университет управления, Москва

Аннотация: В статье приводится процесс разработки объемного дисплея для информационно-коммуникационного взаимодействия в условиях Арктики, где традиционные средства визуализации и коммуникации сталкиваются с вызовами экстремального климата, изоляции и ограниченной инфраструктуры. Проведен анализ основных направлений использования объемных в Арктической зоне. Рассмотрены основные недостатки методов создания объемного изображения в действующих 3D-дисплеях. С учетом основных решаемых задач – создание иллюзии трехмерного объекта для группы лиц (более 2 человек) под широким углом обзора – приводится описание и анализ двух основных разработанных конфигураций оптической системы, последняя из которых отвечает поставленным требованиям, обеспечивая устойчивую работу в условиях Арктики и открывая перспективы для внедрения в удалённых и труднодоступных регионах Крайнего Севера.

Ключевые слова: объемный дисплей, Арктическая зона, 3D-изображение, системный анализ, линза, оптическая система, компьютерное моделирование.

Введение

Одной из развивающихся в настоящее время технологий создания трехмерных изображений является применение 3D-дисплеев (объемных дисплеев) [1,2]. Ключевым их преимуществом является возможность демонстрации объемного изображения, для просмотра которого под разными углами наблюдателем не используется дополнительное оборудование (например, стереочки) [3,4]. Это позволяет пользователям 3D-дисплея увидеть демонстрируемый предмет, достигая максимального ощущения присутствия.

В условиях Арктики, где сталкиваются экстремальные природные условия, изолированность населённых пунктов, сложности логистики и необходимость принятия оперативных решений, такие технологии могут стать мощным инструментом цифровой трансформации [5].

В условиях Арктики технология объемных дисплеев может быть использована в следующих направлениях:

- визуализация климатических данных: отображение 3D-моделей ледников, таяния вечной мерзлоты, динамики ледового покрова;
- метеорологические прогнозы в 3D режиме: трёхмерное отображение атмосферных фронтов, ветров, циклонов для более точного прогнозирования погоды;
- геофизические исследования: визуализация подлёдных течений, сейсмической активности, рельефа морского дна;
- навигационные 3D-карты: объёмное отображение маршрутов, ледовой обстановки, глубин, опасных зон;
- планирование проводки судов ледоколами: визуализация взаимодействия флотилии в 3D-пространстве;
- тренировочные симуляторы для капитанов и лоцманов: имитация сложных арктических условий с объёмной визуализацией;
- виртуальные лаборатории и музеи: демонстрация арктической фауны, геологии, истории освоения Арктики в 3D;
- интерактивное обучение инженеров, геологов, спасателей: моделирование аварийных ситуаций, разбор оборудования в объёме;
- тактическое планирование операций: объёмное отображение местности, погодных условий, расположения сил и средств.

В то же время следует отметить, что работа объёмных дисплеев предполагает важность корректной передачи цветов и размеров создаваемого изображения [6,7]. Сегодня в большинстве технологий, применяемых для создания оптических дисплеев и их работе в режиме реального времени, данный критерий является объектом критики [8,9].

Существующая классификация объёмных дисплеев предполагает их разделение на две большие группы:

- с отсутствием макроскопического механического движения в устройстве;
-

- с наличием механически перемещающиеся частей [10].

Среди основных недостатков объемных дисплеев первой группы выделяются следующие (в скобках указан основной элемент устройства):

- сложность и дороговизна дисплеев больших размеров (микролинзы с переменным фокусным расстоянием, параллакс-барьеры);
- переутомляемость наблюдателя при длительном просмотре;
- ограничение зоны просмотра и количества наблюдаемых (параллакс-барьеры);
- тусклость создаваемого изображения (параллакс-барьеры);
- низкое разрешение создаваемого изображения (субпиксельные дисплеи) [7];
- отсутствие захвата и отображения информации при значительных размерах объекта (Pin-Hole, перезаписываемые голографические среды);
- ограничение передачи изображения по частоте кадров (перезаписываемые голографические среды);
- ограничение количества цветов передаваемого изображения с созданием нежелательных интерференционных эффектов (переключаемые проекционные плоскости).

В свою очередь, наиболее популярный тип поворотных дисплеев – дисплей с перемещающимся экраном или матрицей излучающих элементов – имеет следующие недостатки:

- сложность изготовления дисплеев большого размера из-за высокой массы и инертности быстро вращающихся элементов;
- механический износ и шум движущихся элементов дисплея;
- ограничения для сенсорного взаимодействия.

Таким образом, существующие методы создания объемного изображения имеют те или иные недостатки, которые следует нивелировать при разработке собственного метода, лежащего в основе работы объемного

дисплея для информационно-коммуникационного взаимодействия в Арктической зоне. Разрабатываемое устройство должно позволять техническую возможность одновременной демонстрации объекта для группы лиц с достаточным углом обзора и качеством изображения, при этом устройство должно функционировать в экстремальных температурных услови.

Ключевые задачи, решаемые созданием оптической системы разрабатываемого устройства, являются:

- совмещение базовых азимутальных изображений объекта в единый неразрывный образ, создающий у зрителей иллюзию трехмерного объекта;
- линейное увеличение этого образа до размеров, доступных для свободного наблюдения зрителями с расстояния 250...500 мм в широком азимутальном угле обзора не менее 50°;
- функционирование устройства в Арктических условиях.

Разработка оптической системы

Создаваемое 3D-дисплеями объемное изображение характеризуется рядом количественных и качественных (монокулярных, бинокулярных) признаков. Согласно классификации [8], ключевыми для восприятия объемного изображения человек являются такие признаки, как:

- бинокулярная диспаратность;
 - перспектива;
 - неоднородность формы;
 - тени;
 - градиент структуры;
 - размер области объемного изображения;
 - конвергенция;
 - трехмерное разрешение.
-

В то же время следует принимать во внимание, что отдельные физиологические и психологические особенности каждого индивидуального наблюдателя предполагают возможность различного восприятия демонстрируемого объекта. Не менее важными являются такие характеристики, как яркость, контрастность и битность цвета, обеспечивающие корректную цветопередачу и правильное восприятие объекта.

На предварительном этапе проектирования объемного дисплея рассмотрено несколько вариантов исполнения основной части этого дисплея – его оптической системы с тем, чтобы после проведения сравнительного анализ этих вариантов выбрать наиболее подходящий.

При проработке различных вариантов была выбрана базовая схема, разработанная на основе четырех линз и одного криволинейного зеркала, служащего для передачи первичного образа:

- первая корректирующая линза I (Le_1) – азимутально симметричная, менисковая или цилиндрически–сферическая, положительная линза. Ее назначение: совместно с зеркальной системой создание действительного, прямого, увеличенного изображения по оси дисплея, согласование параметров линз и зеркал;

- вторая корректирующая линза II (Le_2) – азимутально симметричная, менисковая или цилиндрически–сферическая, положительная линза. Ее назначение: совместно с зеркальной системой и входной линзой создание действительного, прямого, увеличенного изображения по оси дисплея, согласование параметров линз и зеркал;

- входная линза составной лупы III (Le_3) – азимутально симметричная, менисковая или цилиндрически–сферическая, положительная линза. Ее назначение: создание мнимого, прямого, увеличенного изображения 3D объекта по действительному изображению (по оси дисплея);

- выходная линза составной лупы IV (Le4) – азимутально симметричная, менисковая или цилиндрически–сферическая, положительная линза. Ее назначение: создание мнимого, прямого, увеличенного изображения 3D объекта по действительному изображению (по оси дисплея) совместно с входной линзой.

Параметры линзы указаны в таблице 1. Схемы расположения линз базового варианта объемного дисплея показаны на рис. 1-3:

Таблица № 1

Параметры линз дисплея

№ п/п	Название линзы	Обозначение	Величина	Увеличение
1	I Первая корректирующая линза	Le1	Аз. Угол 120°	1,471
	Внешний радиус, мм	R11	173	
	Внутренний радиус, мм	R12	166	
2	II Вторая корректирующая линза	Le2	Аз. Угол 120°	1,390
	Внешний радиус, мм	R21	126	
	Внутренний радиус, мм	R22	116	
3	III Входная линза составной лупы	L3	Аз. Угол 120°	1,721
	Внешний радиус, мм	R31	153,6	
	Внутренний радиус, мм	R32	119	
4	IV Выходная линза составной лупы	Le4	Аз. Угол 120°	1,572
	Внешний радиус, мм	R41	209	
	Внутренний радиус, мм	R42	155,5	

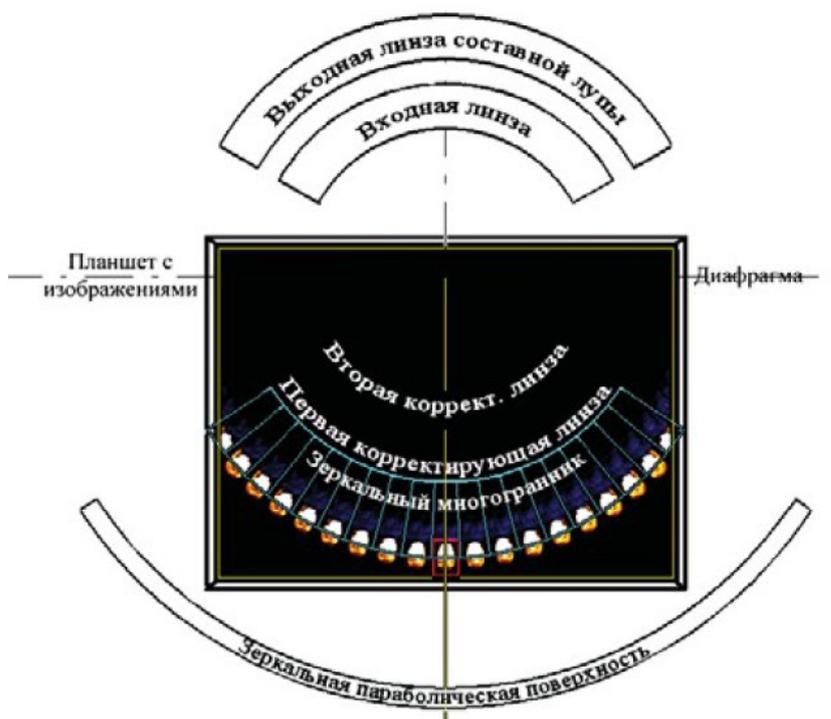


Рис. 1. – Схема базового варианта оптической системы объемного дисплея
(вид сверху)

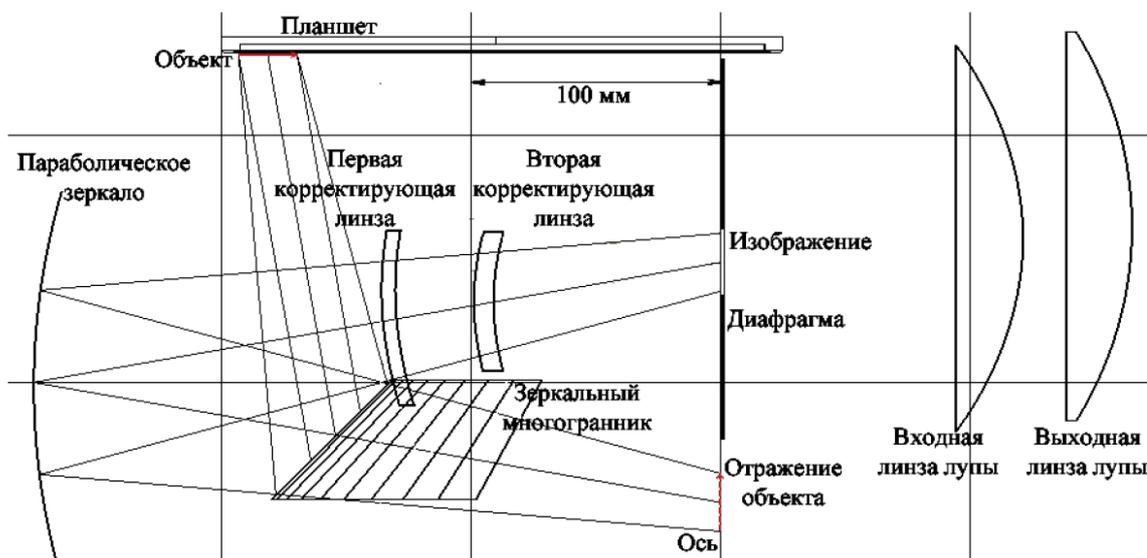


Рис. 2. – Схема базового варианта оптической системы объемного дисплея
(вид сбоку)

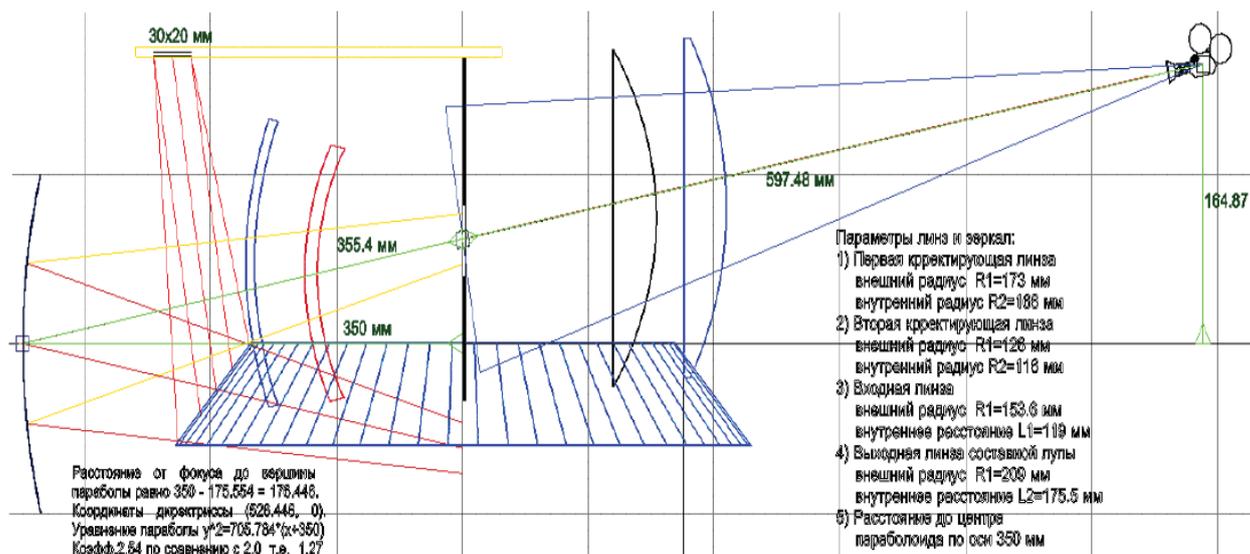


Рис. 3. – Соотношения и основные размеры макета базового варианта объемного дисплея

Схема компоновки базового варианта объемного дисплея представлена на рис. 4. По сравнению с ранее проработанными вариантами, подразумевающими несколько криволинейных зеркал и отличную от текущей схему расположения отдельных элементов оптики, были достигнуты следующие преимущества:

- за счет сокращения количества отражений текущий вариант обеспечивает более резкую картину отображаемого объекта;
- существенное уменьшение габаритов устройства;
- уменьшена полная длина хода лучей от источника до выхода дисплея, что влияет на сокращение общей длины пробега светового луча, и, как следствие, достигнуто большее увеличение
- сравнительное увеличение яркости получаемого изображения (сокращением пробега и снижения потерь на отражение);
- получаемое изображение имеет меньшие искажения;
- более удобной для пользователя стала компоновка.

- для варианта кругового дисплея возможно сокращение количества линз с 4 до 2.

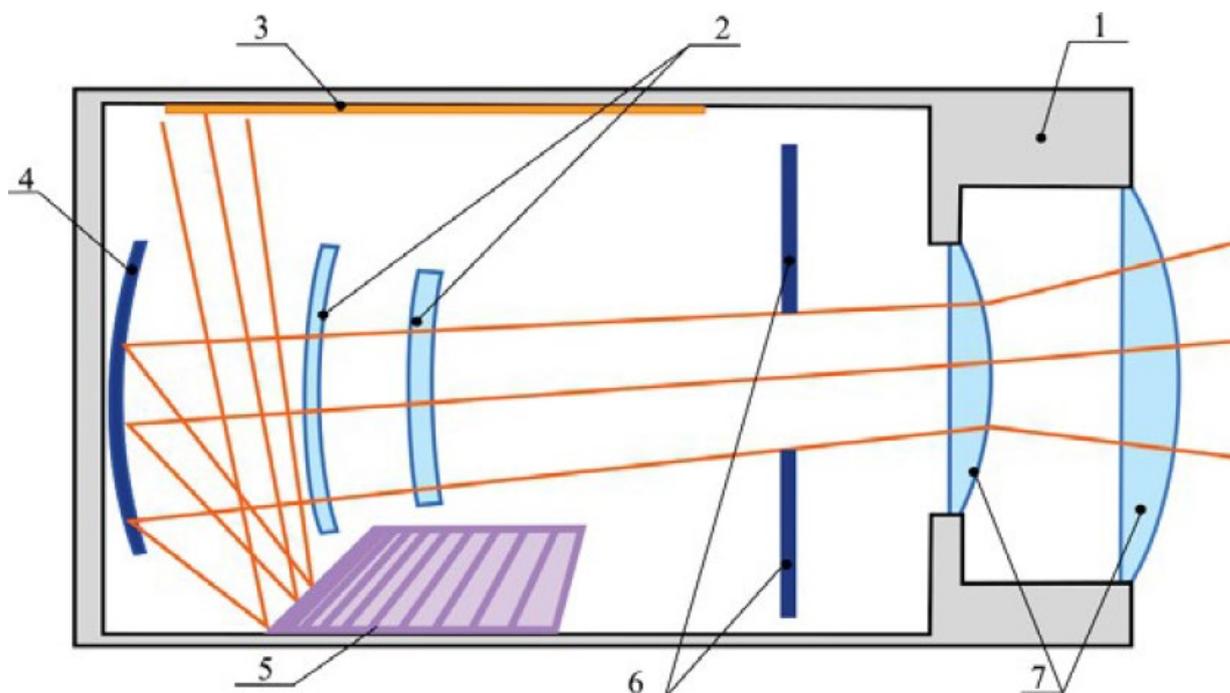


Рис. 4. – Схема компоновки базового варианта объемного дисплея
1 – корпус; 2 – корректирующие линзы; 3 – источник изображения; 4 – параболическое зеркало; 5 – зеркальный многогранник; 6 – диафрагма; 7 – объектив

При разработке 3D-дисплея для эксплуатации в Арктических условиях необходимо учитывать не только технологические аспекты создания объёмного изображения, но и экстремальные климатические, логистические и эксплуатационные факторы, характерные для Крайнего Севера. В рамках исследования была разработаны требования к компонентам системы, которые приведены в таблице 2.

Таблица № 2

Требования к компонентам системы

Компоненты системы	Требования	Рекомендации
Корпус и внешние конструкции	Устойчивость к температуре -50°C , защита от влаги/наледи, прочность при вибрациях и ударах	Анодированный алюминиевый сплав 6061-T6; ударопрочный поликарбонат/АБС с морозостойкими добавками; силиконовые уплотнители (IP65–IP67)
Оптические элементы	Стабильность характеристик при температурах от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$, антибликовость, антизапотевание	Оптическое стекло Schott N-BK7 / Corning 7980; полимерные линзы CR-39 / Zeonex; покрытия MgF_2 / SiO_2 ; подогрев ИТО-плёнкой
Электронные компоненты и плата	Работа от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$, защита от влаги и конденсата, энергоэффективность	Конформное покрытие (силикон/парилен); тепловые трубки, элементы Пельтье, термопасты, нагреватели на основе углеродных нанотрубок [11]
Источники питания	Работа при низких температурах, автономность, долговечность	LiFePO_4 аккумуляторы; подогреваемые отсеки АКБ; гибридные системы (солнечные панели + ветрогенераторы); суперконденсаторы для запуска
Дисплейная матрица и подсветка	Яркость для полярного дня, работа при -50°C , широкие углы обзора	IPS ЖК-матрицы с подогревом; промышленные OLED с защитой от влаги; LED-подсветка с термокомпенсацией; морозостойкие диффузоры

Заключение

Таким образом, разработанная оптическая система дисплея позволяет достичь ранее поставленных задач: создание иллюзии трехмерного объекта с достаточным азимутальным углом обзора 50° и функционирования в условиях Арктики. В ходе исследования были проанализированы современные подходы к созданию 3D-визуализации, выявлены их ограничения особенно критичные для арктической среды и предложены технические решения, учитывающие специфику региона. Разработанная оптическая конфигурация продемонстрировала соответствие поставленным задачам, обеспечивая качественное воспроизведение трехмерного изображения. Таким образом, создание объемного дисплея, адаптированного к арктическим условиям — это важный шаг в формировании цифровой экосистемы Арктики. Устройство открывает новые горизонты для междисциплинарного взаимодействия, дистанционного управления, коллективного принятия решений и визуализации сложных данных в реальном времени. Дальнейшие этапы работы предполагают полевые испытания прототипа в реальных арктических условиях, интеграцию с ГИС-платформами и расширение функционала под задачи конкретных отраслей — от геологии до образования.

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет средств федерального бюджета по государственному заданию «Научные, методологические и практические основы разработки и применения цифровых и интеллектуальных технологий в целях обеспечения устойчивого развития регионов Российской Федерации, включая удаленные и труднодоступные территории Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны»; код научной темы, присвоенной учредителем, - FZNW-2025-0021

Литература

1. Blundell B.G., Schwarz A.J. Volumetric Three-Dimensional Display Systems. John Wiley & Sons Inc (NY), 2000. 338 p.
2. Global Volumetric Display Market by Type (Swept Volumetric Displays, Holographic Displays, and Static Volumetric Displays), Technology (Digital Light Processing (DLP) and Liquid Crystal on Silicon (LCOS)), Application (Aerospace & Defense, Medical, Automotive, Communication & Entertainment, and Others), and Region (North America, Europe, Asia-Pacific, and LAMEA): Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2022-2031. Research Drive. URL: researchdrive.com/191/volumetric-display-market.
3. Шаповалов В.А. Информационная технология трехмерного представления данных измерений и численного моделирования // Инженерный вестник Дона, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_205_Shapovalov_N.pdf_344019ec19.pdf.
4. Keen, V. 3D Volumetric Display Technology / Tech Briefs (SAE Media Group). 2015. 1st March. URL: techbriefs.com/component/content/article/21710-3d-volumetric-display-technology
5. Volumetric Display Market Snapshot (2023 to 2033). Future Market Inc. 2023. 284 p.
6. Большаков А.А., Ключиков А.В. Проблемы и задачи математического моделирования при построении комплекса автостереоскопических 3D-дисплеев для визуализации динамических полноцветных объёмных объектов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2020. Т. 11. С. 5-22.
7. Qin Z., Chou P.-Y., Wi J.-Y., Huang C.-T., Huang Y.-P. Resolution-enhanced light field displays by recombining subpixels across elemental images // Optic Letters. 2019. Vol. 44. No. 10. 2438-2441 pp.

8. Большаков А.А., Вешнева И.В. Обработка и интерпретация данных измерений на основе статусных функций // Сборник научных трудов по материалам XI Международной научно-практической конференции ЛЭРЭП-11-17. С. 36-44.

9. Никонов А. В., Большаков А. А. Объемный дисплей и способ формирования трехмерных изображений. Патент № 2526901 С1 Российская Федерация. МПК G02В 27/24, G03В 21/00. №2013103443/28. 25.01.2013. 27.08.2014. URL: elibrary.ru/download/elibrary_37452155_52457711.pdf.

10. Степанов Б.М., Дубовик А.С., Белинская Г.И. Система развертки для высокоскоростных фотографических камер ждущего типа. Патент № 518756 СССР. SU582490A1 МПК G03B39/02. 30.04.1974. 25.06.1976. URL: patenton.ru/patent/SU518756A1?ysclid=mfpjzdywco392596130.

11. Корчагин С. А. Математическое моделирование электропроводности нанокompозита на основе углеродных нанотрубок с учетом эффекта волнистости и индекса дисперсии //Инженерный вестник Дона. – 2024. – №. 3 . – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9073.

References

1. Blundell B.G., Schwarz A.J. John Wiley & Sons Inc (NY). 2000. 338 p.
 2. Global Volumetric Display Market by Type (Swept Volumetric Displays, Holographic Displays, and Static Volumetric Displays), Technology (Digital Light Processing (DLP) and Liquid Crystal on Silicon (LCOS)), Application (Aerospace & Defense, Medical, Automotive, Communication & Entertainment, and Others), and Region (North America, Europe, Asia-Pacific, and LAMEA): Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2022-2031. Research Drive. URL: researchdrive.com/191/volumetric-display-market.
 3. Shapovalov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_205_Shapovalov_N.pdf_344019ec19.pdf.
-

4. Keen, V. 3D Volumetric Display Technology / Tech Briefs (SAE Media Group). 2015. 1st March. URL: techbriefs.com/component/content/article/21710-3d-volumetric-display-technology.

5. Volumetric Display Market Snapshot (2023 to 2033). Future Market Inc. 2023. 284 p.

6. Bol'shakov A.A., Kljuchikov A.V. Problemy i zadachi matematicheskogo modelirovaniya pri postroenii kompleksa avtostereoskopicheskikh 3D-displeev dlja vizualizacii dinamicheskikh polnocvetnyh ob'jomnyh ob'ektov [Problems and tasks of mathematical modeling in the construction of a complex of autostereoscopic 3D displays for visualization of dynamic full-color volumetric objects]. Matematicheskie metody v tehnikе i tehnologijah – MMTT. 2020. T. 11. pp. 5-22.

7. Qin Z., Chou P.-Y., Wi J.-Y., Huang C.-T., Huang Y.-P. Optic Letters. 2019. Vol. 44. No. 10. pp. 2438-2441.

8. Bol'shakov A.A., Veshneva I.V. Sbornik nauchnyh trudov po materialam XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii LJeRJeP-11-17. pp. 36-44

9. Nikonov A. V., Bolshakov A. A. Ob`emny`j displej i sposob formirovaniya trexmerny`x izobrazhenij. Patent № 2526901 C1 Rossijskaya Federaciya. [Volumetric display and method for forming three-dimensional images. Patent No. 2526901 C1 Russian Federation]. IPC G02B 27/24, G03B 21/00. No. 2013103443/28. 25.01.2013. 27.08.2014. URL: elibrary.ru/download/elibrary_37452155_52457711.pdf.

10. Stepanov B. M., Dubovik A. S., Belinskaya G. I. Scanning system for high-speed waiting-type photographic cameras. Patent No. 518756 USSR. SU582490A1 IPC G03B39/02. 04/30/1974. 06/25/1976. URL: patenton.ru/patent/SU518756A1?ysclid=mpjzdywco392596130.

11. Korchagin S. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. №. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9073.

Дата поступления: 8.08.2025

Дата публикации: 25.09.2025