

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОСТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ<sup>1</sup>

А. А. Большаков<sup>1</sup>, А. В. Ключиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,  
Саратов, Российская Федерация

Предложена архитектура системы поддержки принятия решений для обоснованного выбора характеристик автостереоскопических дисплеев. В качестве базового набора конструкций автостереоскопических дисплеев предложены модели, разработанные авторским коллективом на основе оригинальной запатентованной идеи. Она основана на комбинированном использовании опорных изображений с применением соответствующих оптических систем. Это позволяет существенно снизить требования к быстродействию каналов передачи информации, а также к компьютерам. Главное внимание уделено основным модулям системы поддержки принятия решения, которая представляет гибридную экспертную систему. Приводится описание взаимосвязи в виде матрицы смежности между характеристиками, которые влияют на качество формируемого выходного объемного изображения. Описываются значения коэффициентов влияния характеристик на выходное изображение. Разработана схема определения пользовательских и конструкторских характеристик автостереоскопических дисплеев. Приводится пример определения конструктивных характеристик заданного типа автостереоскопических дисплеев с использованием предлагаемой системы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, автостереоскопические дисплеи, объемное изображение, оптическая система, проектирование.

**Для цитирования:** Большаков А. А., Ключиков А. В. Разработка системы поддержки принятия решений для проектирования автостереоскопических дисплеев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 4. С. 38–48. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-38-48.

### Введение

Большую часть информации человек получает на основе зрительного аппарата. Поэтому наблюдается закономерный тренд к актуальности, привлекательности и информативности графической информации. При этом важным моментом является возможность визуализировать изображение в трехмерном формате. Здесь следует выделить объемный дисплей [1–3], в котором объемное изображение создается объемными пикселями, или так называемыми вокселями. Автостереоскопический способ отображения графической информации подразумевает возможность наблюдать объект с различных ракурсов [4–6], что является предпочтительным для наблюдателя. Исходя из этого можно сделать вывод, что технологии, направленные на воспроизведение объемного изображения, являются в настоящее время достаточно перспективными.

Авторским коллективом на основе комбинированного применения оптической и компьютерной обработок предложен [7–12] ряд автостереоскопических дисплеев, которые отличаются конструкторскими решениями. Предложенный на основе анализа потребностей пользователей модельный ряд объемных дисплеев включает в настоящее время 5 модификаций. Ниже приводится их краткая характеристика и примеры 4-й и 5-й модификаций (рис. 1 и 2).

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (договор № 1995ГС1/26878 от 05.07.2017).

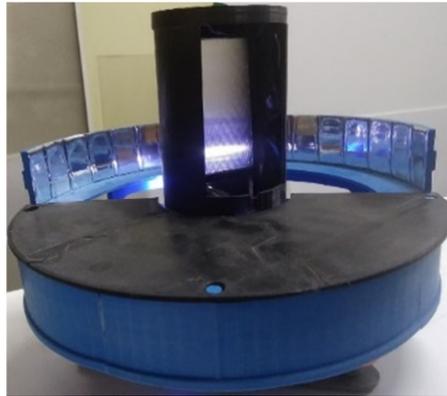


Рис. 1. Дисплей 4-го типа



Рис. 2. Дисплей 5-го типа

Характеристика 5-и модификаций объемных дисплеев:

- 1) универсальная мобильная насадка для создания объемного дисплея без движущихся частей с использованием многослойных наклонных проецирующих граней;
- 2) универсальная мобильная насадка для создания объемного дисплея без движущихся частей с использованием параллаксных барьеров и видеоряда из набора чересстрочных стереопар;
- 3) объемный дисплей без движущихся частей с использованием параллаксных барьеров, чересстрочной стереопары, проецируемых на наклонных гранях пирамиды;
- 4) объемный дисплей кругового обзора с вращающейся рабочей областью и массивом проекторов (см. рис. 1);
- 5) объемный дисплей без движущихся частей с использованием горизонтальной стереопары и оптической системы из ожерелья линз (см. рис. 2).

В предлагаемом модельном ряде используется вышеуказанный комбинированный принцип формирования объемного изображения, который описывается схемой (рис. 3), согласно которой из первичных изображений  $P$  устройством вывода формируется составное изображение  $P'$ .

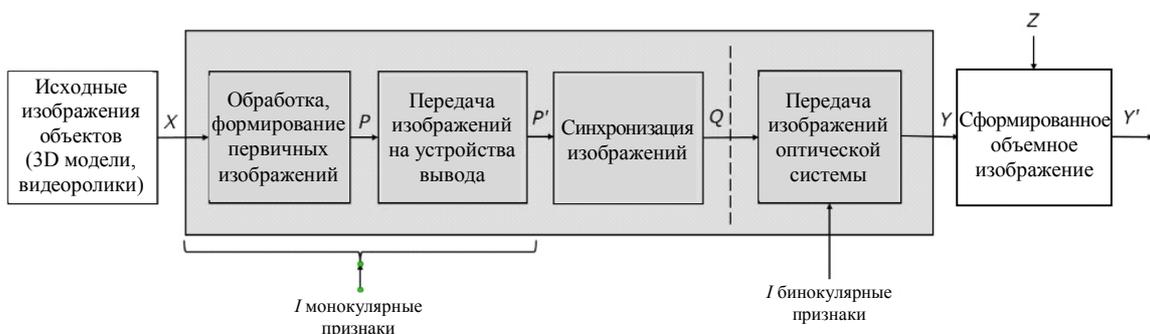


Рис. 3. Последовательность преобразований исходного изображения при формировании объемного изображения [12]

При этом для правильного соединения составных элементов изображений необходима синхронизация. Далее получается изображение  $Q$ , которое является синхронизованным как по времени, так и в пространстве. Это изображение передается в оптическую систему для формирования результирующего объемного изображения  $Y$ . Это изображение воспринимается непосредственно наблюдателем в виде изображения  $Y'$ . При этом необходимо учитывать его психофизиологические особенности  $Z$ .

Согласно схеме на рис. 3 совокупность характеристик двумерных изображений определенным образом влияет на конечное объемное изображение. Значения входных и выходных переменных системы определяются на основе этих характеристик. Необходимо учитывать определенные ограничения, которые обусловлены использованием различных технических устройств. При этом ограничения влияют на итоговое объемное изображение, а также определяют качество восприятия человеком объемного образа.

Для решения этой так называемой *прямой задачи*, связанной с определением значений  $Y'$  по заданным характеристикам входного изображения  $X$  и параметрам процедуры формирования объемного изображения, воспринимаемого наблюдателем, нами предложена соответствующая математическая модель, основанная на использовании статусных функций [13].

При конструировании автостереоскопического дисплея из предложенного модельного ряда и возможных других необходимо решать так называемую *обратную задачу*. В этом случае по требуемым характеристикам выходного объемного изображения необходимо определить значения переменных, описывающих входное изображение и процесс формирования объемного образа используемыми устройствами, реализующими процесс на рис. 3. В общем случае обратные задачи, как известно, относятся к числу некорректно поставленных. Это справедливо в нашем случае, т. к. нельзя гарантировать единственность и существование решения.

Решению этой актуальной научно-технической задачи посвящена настоящая статья.

#### **Постановка цели и задач исследования**

Качество выходного объемного изображения и степень его восприятия человеком зависят от качества входного изображения, от схемы внутреннего построения автостереоскопического дисплея и от индивидуального восприятия. Поэтому важным моментом является определение допустимого множества значений входных переменных системы и требований к выходным, используя информацию о предпочтениях пользователем к качеству конечного образа или сцены.

*Целью исследования* является синтез характеристик параметров автостереоскопических дисплеев из заданного множества с требуемыми показателями качества формирования выходного объемного изображения с учетом параметров входных образов и свойства устройств, реализующих процесс формирования объемного изображения.

Для достижения поставленной цели требуется решить, в частности, следующие задачи:

1. Определить наиболее информативные переменные, а также их взаимосвязь при формировании объемных изображений дисплеями заданного модельного ряда. Выделить переменные, используемые в конструкторских и пользовательских процессах принятия решений.
2. Разработать архитектуру системы поддержки принятия решений (СППР) при конструировании автостереоскопических дисплеев заданного модельного ряда.
3. Выполнить апробацию предложенных решений по автоматизации процесса проектирования автостереоскопических дисплеев.

Конечным результатом исследовательских работ является программный комплекс для поддержки принятия решений конструктором при проектировании автостереоскопических дисплеев, а также для пользователей – для выбора и настройки характеристик дисплеев заданного модельного ряда.

Предлагаемая СППР должна решать прямую и обратную задачи при конструировании автостереоскопических дисплеев. Прямая задача связана с вычислением значений выходных характеристик формируемого объемного изображения по заданным входным. Обратная задача связана с определением требований к значениям параметров входного изображения и конструкции дисплея при заданных значениях выходных объемных изображений.

Далее рассмотрим результаты решения задачи определения наиболее информативных переменных и параметров, определяющих качество объемного изображения.

### Характеристика переменных и параметров процесса формирования объемных изображений

Для достижения требуемого качества объемного изображения на выходе объемного дисплея необходимо, как указывалось выше, решение сложной задачи по выбору технического решения, конструктивных особенностей, а также качества входного изображения. Поэтому для автоматизации процесса по подбору требуемых характеристик объемных дисплеев целесообразно использовать программное обеспечение, способное указывать на возможные варианты решения задачи, при этом оставляя права выбора конечного варианта за пользователем и конструктором.

В качестве инструмента решения задачи предлагается использовать СППР для определения параметров объемных дисплеев, в частности состава оптической системы и значений количественных характеристик отдельных элементов, которые в дальнейшем окажутся полезными для инженеров-конструкторов, проектировщиков при разработке или тестировании конструкции дисплея, способного формировать изображение заданного качества. Также полученные значения могут быть использованы при программной обработке изображения. Генерируемые значения по изменению переменных опорных кадров, которые предлагаются СППР, могут непосредственно влиять на количественные и качественные характеристики итогового изображения, приближая их к желаемому значению.

Для создания СППР проведено формализованное описание предметной области объемных дисплеев, а также разработаны процедуры определения выходных характеристик процессов визуализации. Также сформированы базы данных параметров дисплеев характеристик первичных изображений и визуализации, определены взаимосвязи (табл. 1).

Таблица 1

**Матрица смежностей взаимосвязей между параметрами, влияющих на качество формируемого объемного изображения**

Параметр	Относительность размеров	Двумерное разрешение	Параллакс движения	Вращение объекта	Тени	Перспективы	Окклюзия	Неоднородность формы	Градиент текстуры	Конвергенция	Бинокулярная диспаратность	Размер области объемного изображения	Угол обзора	Трехмерное разрешение	Линнатура	Яркость	Контрастность	Битность цвета	Частота обновления
Относительность размеров	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Двумерное разрешение	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Параллакс движения	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Вращение объекта	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1
Тени	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
Перспективы	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Окклюзия	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
Неоднородность формы	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Градиент текстуры	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
Конвергенция	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
Бинокулярная диспаратность	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Размер области объемного изображения	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Угол обзора	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
Трехмерное разрешение	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Линнатура	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Яркость	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Контрастность	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Битность цвета	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Частота обновления	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Кроме этого, введены оценочные характеристики выявленных параметров на основе обработки экспертных оценок (табл. 2).

Таблица 2

### Весовые коэффициенты влияния характеристик на выходное изображение

Параметр	Эксперт										Среднее значение коэффициента
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Относительность размеров	0,07	0,02	0,04	0,05	0,04	0,07	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04
Двумерное разрешение	0,08	0,02	0,04	0,06	0,03	0,02	0,08	0,07	0,06	0,04	0,05
Параллакс движения	0,06	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,05	0,03	0,06	0,03	0,05
Вращение объекта	0,06	0,04	0,06	0,03	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05	0,13	0,05
Тени	0,04	0,04	0,07	0,09	0,07	0,10	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07
Перспектива (прямая, обратная, панорамная, сферическая, воздушная, перцептивная)	0,12	0,08	0,10	0,11	0,1	0,1	0,10	0,10	0,1	0,09	0,1
Взаимное перекрытие объектов (окклюзия)	0,05	0,1	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
Неоднородность формы	0,02	0,08	0,08	0,06	0,05	0,05	0,07	0,06	0,09	0,04	0,06
Градиент текстуры	0,02	0,05	0,08	0,12	0,07	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07
Конвергенция	0,04	0,08	0,04	0,03	0,07	0,06	0,08	0,05	0,07	0,08	0,06
Бинокулярная диспаратность	0,09	0,09	0,1	0,1	0,1	0,1	0,12	0,1	0,1	0,10	0,1
Размер области объемного изображения	0,04	0,09	0,04	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07
Угол обзора	0,08	0,06	0,04	0,03	0,07	0,05	0,02	0,06	0,04	0,05	0,05
Трехмерное разрешение	0,07	0,06	0,05	0,04	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,07	0,04
Линиатура	0,02	0,02	0,02	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,01	0,04
Яркость	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,02	0,06	0,05	0,02	0,01	0,03
Контрастность	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06	0,02	0,02	0,03
Битность цвета	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04
Частота обновления рабочей области	0,04	0,02	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
<i>Итого</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Представленные выше характеристики использованы при построении СППР, архитектура которой описывается ниже.

#### Разработка архитектуры СППР при построении объемных дисплеев

Разработка автостереоскопических дисплеев с использованием комбинированного способа и определенных технических решений для достижения заданных значений качества восприятия объемных образов – это важная научно-техническая задача. Поэтому целесообразно автоматизировать проектирование перспективного модельного ряда автостереоскопических дисплеев. Для этого необходимо разработать и применять требуемое математическое обеспечение. Предлагаемая для этого СППР необходима для определения значений параметров автостереоскопических дисплеев, а также процесса формирования объемных изображений на основе первичных образов. Эта информация весьма полезна для конструкторов при разработке процессов проектирования, построения аппаратного и программного обеспечения для производства автостереоскопических дисплеев с требуемыми значениями показателей качества восприятий выходных объемных изображений.

Функционально СППР должна основываться на формализованном описании предметной области автостереоскопических дисплеев. Кроме этого, должны быть разработаны процедуры вычисления значений выходных характеристик при визуализации (прямая задача). Требуются базы данных характеристик автостереоскопических дисплеев, параметров первичных образов, а также объемной визуализации. Далее, требуются модули подбора значений параметров автостереоскопических дисплеев для обеспечения заданного качества объемной визуализации (обратная задача).

В связи с вышеизложенным предлагается архитектура СППР (рис. 4), которая включает необходимые компоненты, среди них информационное обеспечение, которое содержит следующие ресурсы:

- база данных (БД) параметров автостереоскопических дисплеев;
- база знаний (БЗ) предметной области автостереоскопических дисплеев;
- БД статусных функций;
- БЗ для поддержки принятия решений в области автостереоскопических дисплеев;
- БД параметров визуализации;
- БД характеристик первичных образов.

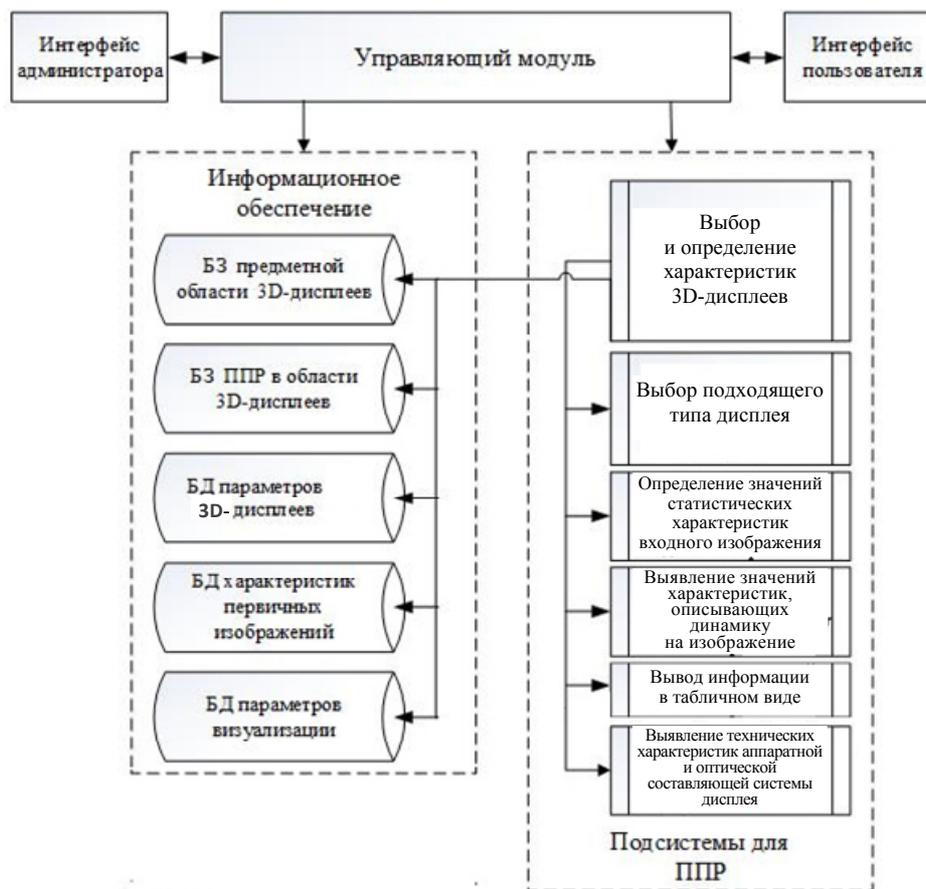


Рис. 4. Архитектура СППР для разработки автостереоскопических дисплеев

Подсистема поддержки принятия решений для подбора характеристик входных изображений и определения конфигурации автостереоскопических дисплеев включает следующие модули:

- выбор типа из модельного ряда автостереоскопических дисплеев;
- определение значений параметров входного образа (контрастность, яркость и др.) для автостереоскопических дисплеев заданного модельного ряда;
- определение значений параметров, которые описывают динамику образов (смена кадров, изменение размеров, перемещение, вращение), для автостереоскопических дисплеев заданного модельного ряда;
- определение значений параметров оптической и аппаратной компонент автостереоскопических дисплеев;
- вывод результирующей информации в виде таблиц.

Функционирование СППР осуществляется под контролем управляющего модуля, который организует необходимое взаимодействие модулей для поддержки принятия решения и информационного обеспечения, а также двух групп пользователей. К ним относятся администратор и оператор, являющийся пользователем или тестирующим инженером по знаниям.

Администратор осуществляет управление разграничением уровней доступа различным категориям пользователей, способен вносить правки в исходный код, алгоритм, а также изменять и корректировать данные в БЗ и БД на основе подтвержденных отзывов от пользователя и экспериментальных данных от инженера.

Пользователь в пошаговом режиме осуществляет процесс проектирования на основе ответов на вопросы, определяющих наиболее важные критерии объемного дисплея и входного изображения, в результате определяются тип дисплея, основные параметры первичных изображений, а инженер, в свою очередь, на основе полученных данных может провести математическое моделирование трассировки луча или визуализировать процесс построения изображения на заранее подготовленном ПО для оценки качества получаемого объемного изображения и оценить эффективность подбора характеристик, осуществленного СППР. В процессе работы системы осуществляется обращение к модулям (подпрограммам) определения подходящего типа дисплея, вычисления значений статических (яркость, контрастность и др.) характеристик, характеристик, описывающих динамику (вращение, перемещение, смена кадров) на входном изображении, а также модулю вычисления переменных значений аппаратной и оптической составляющей для дисплеев предлагаемого типа.

Для хранения БЗ, БД, результатов опроса пользователей, а также полученных от работы системы значений предлагается использовать облачное хранилище, уровень доступа к которому также разграничен для разных групп.

Достоинством такой системы является многомерность направленности полученных данных, т. е. доступ к результатам имеют все группы пользователей, что одновременно позволяет осуществлять:

- изменение входного изображения пользователем;
- создание конструкции дисплея инженером-конструктором;
- проверку эффективности работы предложенной системы по средствам математического моделирования инженером-разработчиком;
- редактирование алгоритмов и способов представления информации программистом;
- контролирование функционирования системы администратором.

### **Реализация СППР при конструировании автостереоскопических дисплеев**

При реализации предложенной СППР проектирования разработана схема для выявления пользовательских и конструкторских предпочтений (требований). Эта схема реализована в соответствующем модуле, написанном на языке программирования C++. Использование этой процедуры позволяет достаточно четко определить требования конструктора, пользователя при конструировании автостереоскопических дисплеев или настройке параметров из заданного модельного ряда объемных дисплеев.

Для решения обратной задачи проектирования, связанной с достижением требуемого качества выходного изображения на основе подбора характеристик входных изображений, процесса визуализации используются знания экспертов. Их формализация осуществляется на основе продукционных правил «ЕСЛИ–ТО», что реализуется с использованием языка программирования искусственного интеллекта Prolog.

Ниже приводятся фрагменты процедуры выявления требований к характеристикам автостереоскопических дисплеев с использованием соответствующего модуля и скриншот полученного результата (рис. 5, 6).

При функционировании СППР вначале необходимо определить перечень вопросов о качестве выходного изображения. На их основе далее решаются прямая или обратная задачи. Вопросы для повышения информативности предоставлены в наглядной форме, так, например, пользователю – о желаемом угле обзора от 0 до 360°. Дисплеи 1, 2-го типа модельного ряда ограничены углом обзора до 180° одной проецирующей плоскости. Дисплей 3-го типа может быть реализован при угле обзора 90, 270 или 360°, при выборе 3-х или 4-х проекционных плоскостей соответственно. Дисплеи 4-го и 5-го типа могут иметь любой из возможных диапазонов, однако при увеличении угла обзора значительно увеличиваются габаритные размеры изделия.

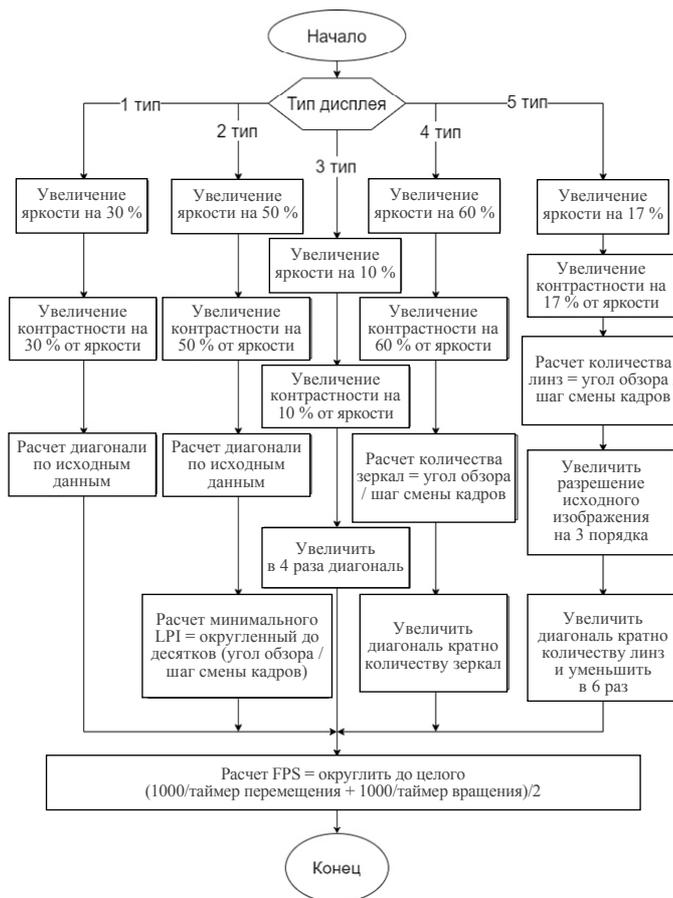


Рис. 5. Алгоритм определения характеристик автостереоскопических дисплеев на основе пользовательских и конструкторских требований

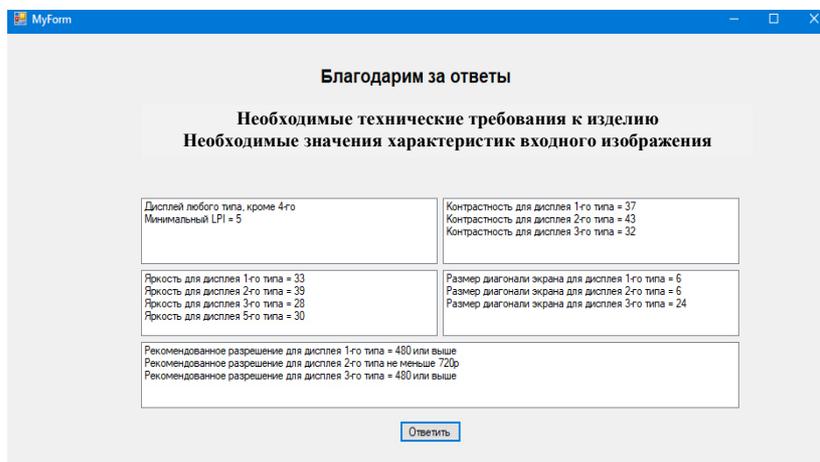


Рис. 6. Пример результата работы СППР

Следующий вопрос позволяет пользователю определить диагональ экрана для построения 3D-изображения с желаемыми габаритами. Доступен ввод длины, глубины и ширины изображения в сантиметрах. Для определения диагонали экрана достаточно длины и ширины изображения. Проводится вычисление диагонали с последующим переводом в дюймы и округлением до целого числа, для приближения к реальным размерам дисплеев. Этот вопрос позволяет определить площадь объемного изображения, что также вносит ряд ограничений по использованию определенного типа дисплея. Дисплей 4-го типа из-за особенностей оптической системы не позволяет сформировать изображение свыше 1 000 см<sup>3</sup>, а дисплей 5-го типа ограничен 8 000 см<sup>3</sup>.

В зависимости от списка доступных для воспроизведения дисплеев из модельного ряда СППР выводит информацию рекомендательного характера для пользователя и разработчика (см. рис. 6) согласно алгоритму работы (см. рис. 5).

Характеристики, требующиеся пользователю:

- уровень яркости;
- уровень контрастности;
- минимальное значение fps;
- разрешение изображения.

Характеристики, требующиеся инженеру-конструктору:

- количество линз;
- значение LPI;
- диагональ дисплея;
- количество зеркал.

### Заключение

В статье рассмотрены вопросы разработки перспективных автостереоскопических дисплеев, позволяющих формировать объемные изображения, видимые с различных сторон без дополнительных устройств (очки и т. п.). Приведена характеристика предложенного авторским коллективом модельного ряда автостереоскопических дисплеев, разработанных на основе патента [7]. Предложена архитектура системы, которая позволяет автоматизировать решение прямой и обратной задач, возникающих при проектировании объемных дисплеев и их использовании. Приведено описание разработанного алгоритма по определению значений характеристик конструируемого автостереоскопического дисплея из предложенного модельного ряда. Представлен пример апробации алгоритма, реализованного на языке программирования C++. Для решения прямой и обратной задач в предложенной гибридной экспертной СППР предлагается формализация экспертных знаний с использованием языка программирования искусственного интеллекта Prolog.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barry G. B., Adam J. S. Volumetric three-dimensional display systems. NY.: John Wiley & Sons Inc., 2013. P. 330.
2. Endo (Yendo) T., Kajiki Y., Honda T., Sato M. Cylindrical 3-D Video Display Observable from All Directions // Proceedings Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VII (Event: Electronic Imaging, 2000, San Jose, CA, United States Proc. Pacific Graphics). V. 3957. P. 300–306.
3. Eurasia Patent No. 200601499 08.02.2005. Three-dimensional display using a variable focusing lens / Seo Cheong Soo, Gim Dong Woo, Cho Gioung II et al. 2005.
4. Jones A., Unger J., Nagano K., Busch J., Yu X., Peng H-Y., Alexander O., Bolas M., Debevec P. An Automultiscopic Projector Array for Interactive Digital Humans. URL: [https://vgl.ict.usc.edu/bibtexbrowser.php?key=jones\\_automultiscopic\\_2015&bib=ICT.bib](https://vgl.ict.usc.edu/bibtexbrowser.php?key=jones_automultiscopic_2015&bib=ICT.bib) (дата обращения: 02.03.2020).
5. Hideyuki S., Masami Y., Takafumi K., Michio O., Miho K. Autostereoscopic display based on enhanced integral photography using overlaid multiple projectors. URL: <https://doi.org/10.1889/1.3256853> (дата обращения: 02.03.2020).
6. Annen T., Matusik W., Pfister H., Seidel H.-P., Zwicker M. Distributed rendering for multiview parallax displays // Proc. SPIE 6055. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIII. 2006.
7. Пат. RU (11) 2526901 (13) С1. Объемный дисплей и способ формирования трехмерных изображений / Большаков А. А., Никонов А. В. № 2013103443/28; заявл. 25.01.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 21.
8. Большаков А. А. Разработка автостереоскопического 3D-дисплея для визуализации подвижных объемных образов в составе мультимедийного и коммуникационного оборудования // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32: сб. тр. XXXII Междунар. науч. конф.: в 12 т. / под общ. ред. А. А. Большакова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019. Т. 12. Ч. 2. С. 40–49.
9. Bolshakov A., Sgibnev A., Chistyakova T., Glazkov V., Lachugin D. Volumetric display testing unit for visualization and dispatching applications // Proceedings of 18th International Conference on Speech and Computer SPECOM 2016 – 1st International Conference on Interactive Collaborative Robotics ICR 2016 (Budapest, Hungary, August 24–26). Springer International Publishing Switzerland, 2016. P. 234–242.
10. Bolshakov A. A., Grepechuk Yu. N., Klyuchikov A. V., Sgibnev A. A. A Model of the Optical System of the Interdisp Display // International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE. 2018. N. 8542354. P. 63–70. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542354.
11. Bolshakov A., Sgibnev A. System analysis of formation and perception processes of three-dimensional images in volumetric displays // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series (International Conference “Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems” 18–20 December 2017, Voro-

nezh, Russian Federation). 2018. V. 973. P. 1–10. DOI: 10.1088/1742-6596/973/1/012060. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012060> (дата обращения: 02.04.2020).

12. *Большаков А. А., Сгибнев А. А., Вешнева И. В., Грепечук Ю. Н., Ключиков А. В.* Системный анализ человеко-машинного взаимодействия на основе статусных функций при формировании объемного изображения в волнометрических дисплеях // Изв. Санкт-Петербург. гос. технолог. ин-та (техн. ун-та). 2017. № 40. С. 102–110.

13. *Veshneva I. V., Chistyakova T. B., Bolshakov A. A.* The status functions method for processing and interpretation of the measurement data of interactions in the educational environment // SPIIRAS Proceedings. 2016. V. 6. Iss. 49. P. 144–166. DOI: 10.15622/sp.49.8.

Статья поступила в редакцию 31.05.2020

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Большаков Александр Афанасьевич* – Россия, 195251, Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; д-р техн. наук, профессор; профессор Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики Института прикладной математики и механики; [aabolshakov57@gmail.com](mailto:aabolshakov57@gmail.com).

*Ключиков Аркадий Викторович* – Россия, 410054, Саратов; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.; аспирант кафедры системотехники и управления в технических системах; [krok9407@mail.ru](mailto:krok9407@mail.ru).



## DEVELOPMENT OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR DESIGNING AUTOSTEREOSCOPIC DISPLAYS

*A. A. Bolshakov<sup>1</sup>, A. V. Klyuchikov<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
Saint-Petersburg, Russian Federation*

*<sup>2</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,  
Saratov, Russian Federation*

**Abstract.** The article presents the architecture of a decision support system for a reasonable choice of the characteristics of autostereoscopic displays. Autostereoscopic displays are proposed as basic models developed by the corporate team, which are based on the original patented idea. It uses the combined reference images together with the appropriate optical systems. This allows to significantly reduce the requirements for the speed of data transmission channels, as well as to computers. The attention is paid to the main modules of the decision support system, which is a hybrid expert system. There is given the relationship in the form of adjacency matrix between characteristics that influence on the quality of the generated output volumetric image. The values of the coefficients of the influence of characteristics on the output image are described. A scheme has been developed for determining the user and design characteristics of autostereoscopic displays. There is given an example of determining the design characteristics of a given type of autostereoscopic displays using the proposed decision support system.

**Key words:** decision support system, autostereoscopic displays, 3D image, optical system, designing.

**For citation:** Bolshakov A. A., Klyuchikov A. V. Development of decision support system for designing autostereoscopic displays. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2020;4:38-48. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2020-4-38-48.

### REFERENCES

1. Barry G. B., Adam J. S. *Volumetric three-dimensional display systems*. NY., John Wiley & Sons Inc., 2013. P. 330.

2. Endo (Yendo) T., Kajiki Y., Honda T., Sato M. Cylindrical 3-D Video Display Observable from All Directions. *Proceedings Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems VII (Event: Electronic Imaging, 2000, San Jose, CA, United States Proc. Pacific Graphics)*. Vol. 3957. P. 300-306.
3. Seo Cheong Soo, Gim Dong Woo, Cho Gioung II et al. *Three-dimensional display using a variable focusing lens*. Eurasia Patent No. 200601499 08.02.2005 / 2005.
4. Jones A., Unger J., Nagano K., Busch J., Yu X., Peng H-Y., Alexander O., Bolas M., Debevec P. *An Automultiscopic Projector Array for Interactive Digital Humans*. Available at: [https://vgl.ict.usc.edu/bibtexbrowser.php?key=jones\\_automultiscopic\\_2015&bib=ICT.bib](https://vgl.ict.usc.edu/bibtexbrowser.php?key=jones_automultiscopic_2015&bib=ICT.bib) (accessed: 02.03.2020).
5. Hideyuki S., Masami Y., Takafumi K., Michio O., Miho K. *Autostereoscopic display based on enhanced integral photography using overlaid multiple projectors*. Available at: <https://doi.org/10.1889/1.3256853> (accessed: 02.03.2020).
6. Annen T., Matusik W., Pfister H., Seidel H.-P., Zwicker M. Distributed rendering for multiview parallax displays. *Proc. SPIE 6055. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XIII*. 2006.
7. Bol'shakov A. A., Nikonov A. V. *Ob"emnyi displei i sposob formirovaniia trekhmernykh izobrazhenii* [Volumetric display and method of forming three-dimensional images]. Patent RU (11) 2526901 (13) C1; 27.08.2014.
8. Bol'shakov A. A. *Razrabotka avtostereoskopicheskogo 3D-displeia dlia vizualizatsii podvizhnykh ob"emnykh obrazov v sostave mul'timediinogo i kommunikatsionnogo oborudovaniia* [Development of autostereoscopic 3D display for visualizing moving volumetric images as part of multimedia and communication equipment]. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiiakh – MMTT-32: sbornik trudov XXXII Mezhduнародnoi nauchnoi konferentsii: v 12 t. / Pod obshechei redaktsiei A. A. Bol'shakova*. Saint-Petersburg, Izd-vo Politekh. un-ta, 2019. Vol. 12. Part 2. Pp. 40-49.
9. Bolshakov A., Sgibnev A., Chistyakova T., Glazkov V., Lachugin D. Volumetric display testing unit for visualization and dispatching applications. *Proceedings of 18th International Conference on Speech and Computer SPECOM 2016 – 1st International Conference on Interactive Collaborative Robotics ICR 2016 (Budapest, Hungary, August 24-26)*. Springer International Publishing Switzerland, 2016. Pp. 234-242.
10. Bolshakov A. A., Grepechuk Yu. N., Klyuchikov A. V., Sgibnev A. A. A Model of the Optical System of the Interdisp Display. *International Conference on Actual Problems of Electron Devices Engineering, APEDE*. 2018. No. 8542354. Pp. 63-70. DOI: 10.1109/APEDE.2018.8542354.
11. Bolshakov A., Sgibnev A. System analysis of formation and perception processes of three-dimensional images in volumetric displays. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conference Series (International Conference "Applied Mathematics, Computational Science and Mechanics: Current Problems" 18–20 December 2017, Voronezh, Russian Federation)*. 2018. Vol. 973. Pp. 1-10. DOI:10.1088/1742-6596/973/1/012060. Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/973/1/012060> (accessed: 02.04.2020).
12. Bol'shakov A. A., Sgibnev A. A., Veshneva I. V., Grepechuk Iu. N., Kliuchikov A. V. *Sistemnyi analiz cheloveko-mashinnogo vzaimodeistviia na osnove statusnykh funktsii pri formirovanii ob"emnogo izobrazheniia v voliumetricheskikh displeiakh* [System analysis of human-machine interaction based on status functions when forming volumetric image in volumetric displays]. *Izvestiia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)*, 2017, no. 40, pp. 102-110.
13. Veshneva I. V., Chistyakova T. B., Bolshakov A. A. The status functions method for processing and interpretation of the measurement data of interactions in the educational environment [Status functions method for processing and interpretation of measurement data of interactions in educational environment]. *SPIIRAS Proceedings*, 2016, vol. 6, iss. 49, pp. 144-166. DOI: 10.15622/sp.49.8.

The article submitted to the editors 31.05.2020

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Bolshakov Alexander Afanasevich** – Russia, 195251, Saint-Petersburg; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of Higher School of Applied Mathematics and Computational Physics, Institute of Applied Mathematics and Mechanics; [aabolshakov57@gmail.com](mailto:aabolshakov57@gmail.com).

**Klyuchikov Arkady Viktorovich** – Russia, 410054, Saratov; Yuri Gagarin State Technical University of Saratov; Postgraduate Student of the Department of System Engineering and Control in Technical Systems; [krok9407@mail.ru](mailto:krok9407@mail.ru).

