

УДК 621.397

В.Р. Роганов

ООО «Видео3», Пенза, Россия,

Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия

АНАЛИЗ УСТРОЙСТВ, МОДЕЛИРУЮЩИХ ТРЁХМЕРНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

В настоящее время актуальным является разработка 3D-индикаторов для имитаторов визуальной обстановки тренажёров водителей транспортных средств, способных моделировать трёхмерное изображение узнаваемых подвижных и неподвижных объектов, окружающих транспортное средство в реальной действительности. Качество моделирования трёхмерных изображений моделей должно быть достаточным для профессиональной тренировки глазомера водителя транспортного средства. Иными словами, навыки, получаемые обучаемым по определению дальности до видимых моделей объектов в виртуальном пространстве при обучении на тренажёре, должны соответствовать навыкам, полученным водителем при определении дальности до видимых объектов при управлении реальным транспортным средством в реальной действительности. В статье анализируются наиболее распространённые 3D-индикаторы и предлагаются пути их совершенствования.

Ключевые слова: 3D-индикаторы, стерео индикаторы, системы моделирования объёмного изображения, имитатор визуальной обстановки, качество моделирования визуально наблюдаемых трёхмерных объектов.

Введение

Постановка проблемы. В настоящее время на рынке имеется значительное число оптико-аппаратно-программных комплексов, позволяющих работать с «трёхмерным пространством». Наиболее успешно такие комплексы, позволяющие «погрузить» наблюдателя в трёхмерную модель реального пространства, применялись при разработке авиационных тренажёров (АТ). При этом утверждалось, что стоимость имитатора визуальной обстановки (ИВО) составляет до 90% от стоимости АТ, и эта стоимость часто превышала стоимость самого летательного аппарата [1]. Во всех таких комплексах имеются экраны формирования промежуточного изображения, на которых вначале формируются двухмерные проекции трёхмерных объектов, которые затем с помощью зрительного аппарата человека преобразуются в иллюзию наблюдения трёхмерного объекта. Существенное улучшение качества экранов формирования промежуточного изображения позволяет сейчас получать иные результаты, часто опровергающие разработанные ранее гипотезы о механизмах формирования ви-

зуально наблюдаемой модели трёхмерного изображения. Выводы, сделанные в статье, являются результатами исследований, проведённых под руководством бывшего начальника сектора лидера советского тренажёростроения Промышленного объединения «Эра» Роганова В.Р. с целью нахождения путей снижения стоимости ИВО. Исследования проводились при выполнении НИОКР «Подготовка к серийному выпуску безочковых индикаторов, моделирующих псевдообъёмное изображение» (государственный контракт №8009р/8265 от 30.04.2010) по программе СТАРТ и НИОКР «Разработка имитаторов визуальной обстановки для машинистов локомотивов» (государственный контракт №7/16917 от 13.08.2012) по программе УМНИК, выполненных по грантам от "Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере" (Фонд содействия инновациям).

Анализ последних исследований. Современные аппаратно-программные комплексы позволяют синтезировать в реальном масштабе времени изображения, по качеству сравнимые с телевизионными изображениями, полученными с использованием

видеокамер [2]. Это, ошибочно, дало возможность трактовать полученные результаты как решение задачи синтеза объёмного изображения. Такая трактовка вроде бы опирается и на экспериментальные результаты, полученные при рассмотрении на экране монитора компьютера ряда изображений: заставка с перемещающейся кубообразной моделью или триангуляционная модель лица (рис. 1).

Анализ показал, что ошибки в интерпретации неплоского изображения как объёмного во многом появляются из-за нечеткой трактовки используемых терминов. Предлагаем различать термин «визуально наблюдаемая двухмерная проекция трёхмерной модели», относящийся:

- к изображениям трёхмерных объектов, снятых с помощью видеокамеры, переданных по каналам связи и высвеченных на обычном экране;
- к изображениям, синтезируемых по правилам трёхмерной машинной графики с использованием виртуальной камеры наблюдения, переданных по каналам связи и высвеченных на обычном экране.

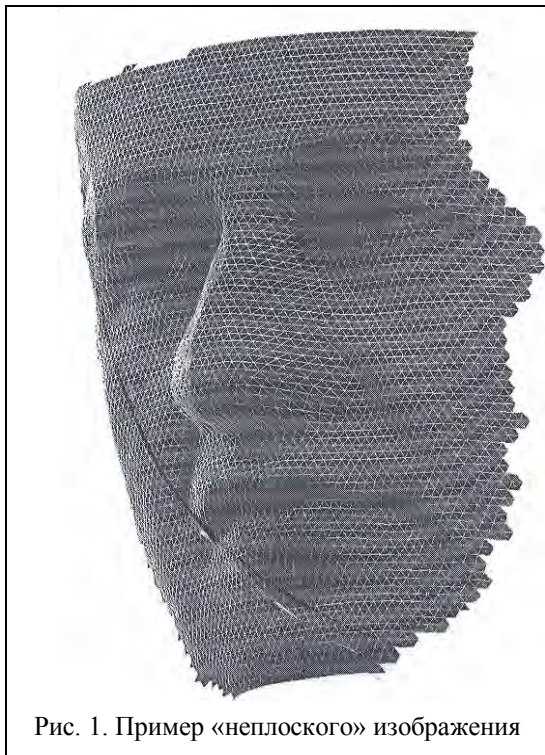


Рис. 1. Пример «неплоского» изображения

Формулировка цели. Будем считать, что термин «визуально наблюдаемая трёхмерная модель» относится к системам, моделирующим перед наблюдателем (или вокруг него) трёхмерную модель окружающего пространства или отдельные модели объектов, с предоставлением наблюдателю при просмотре такой модели возможность совершенствовать профессиональные навыки определения невооружённым глазом расстояния до видимых трёхмерных моделей, так же как он, рассматривая окружающее пространство через остекление кабины, тренирует свой глазомер в реальной действительности.

Раздельное использование таких терминов необходимо для оценки возможностей аппаратно-программных комплексов, ориентированных на решение определённых задач народного хозяйства:

- при разработке и использовании тренажёров подготовки водителей транспортных средств;
- при разработке и использовании АРМ врача дистанционной медицины;
- при разработке и использовании эндоскопических стоек;
- при разработке и использовании медицинских роботов;
- для решения задач визуальной разведки и т.д.

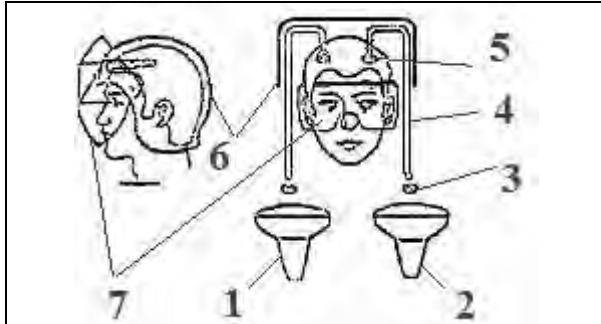
Решение задачи построения визуально наблюдаемой трёхмерной модели необходимо для тренажёров и других обучающих системах, а также в случаях, когда необходимо использовать профессиональные навыки определения расстояний между рассматриваемыми объектами. Во многих других случаях, например, при просмотре развлекательных передач, играя с большинством видеоигр, достаточно видеть «неплоское» изображение, когда имеется возможность визуально выделить ближний и дальний фон.

Исследования систем, моделирующих «неплоские» изображения показали, что в настоящее время используют псевдообъёмные оптико-аппаратно-программные комплексы для создания у человека-наблюдателя иллюзии наблюдения трёхмерного изображения модели окружающего пространства с возможностью привития профессиональных навыков определения расстояния до видимых объектов.

Для моделирования визуально наблюдаемого трёхмерного пространства используется следующая цепочка: моделируются двухмерные проекции трёхмерной модели на экранную плоскость (или на экранные плоскости), которые затем с помощью оптики преобразуются и попадают в глаз человека-наблюдателя. Зрительный аппарат человека-наблюдателя обрабатывает полученный видеоряд и формирует эффект наблюдения за реальным трёхмерным пространством. На сегодняшний день используются два основных метода решения этой задачи, основанные на использовании особенностей зрительного аппарата человека на последнем этапе всего процесса построения трёхмерных визуально наблюдаемых моделей.

В первом случае в процессе моделирования трёхмерного изображения используются две подсистемы, ориентированные на доставку изображения в конкретный глаз человека-наблюдателя (системы с диспаратными очками, называемые в литературе стереочками) (рис. 2). Это наиболее известные системы моделирования 3D-изображения. Эффект наблюдения трёхмерной модели создаётся за счёт воздействия на одну из составляющих зрительного аппарата человека – диспаратность. Каждому глазу человека даётся своё изображение, за счет разности

изображений человек видит трёхмерную модель. Особенностью такого подхода является возможность увидеть трёхмерную модель на расстоянии нескольких сантиметров от глаза, что является определяющим фактором при использовании таких систем в тренажёрах обучения пилотов дозаправке летательных аппаратов (ЛА) в воздухе, когда топливозаправочный конус находится на расстоянии ближе двух метров от головы пилота, управляющего заправляемым ЛА.



- 1-Экран формирования промежуточного изображения для канала правого глаза
- 2-Экран формирования промежуточного изображения для канала левого глаза
- 3-Собирающая линза
- 4-Световод
- 5-Пректора
- 6-Шлем
- 7-полупрозрачный экран для проецирования изображения перед глазами наблюдателя

Рис. 2. Схема одного из вариантов двухканальной наглемной системы моделирования 3D-изображения

Во втором случае в процессе моделирования трёхмерного изображения используются особенности восприятия зрительным аппаратом человека видеоряда, полученного при попадании в объектив реальной видеокамеры (или, при использовании изображений синтезируемых по правилам машинной графики, виртуальной видеокамеры), позволяющего высветить на экране формирования промежуточного изображения подвижные объекты. Если при использовании такой одноканальной системы выполняются условия:

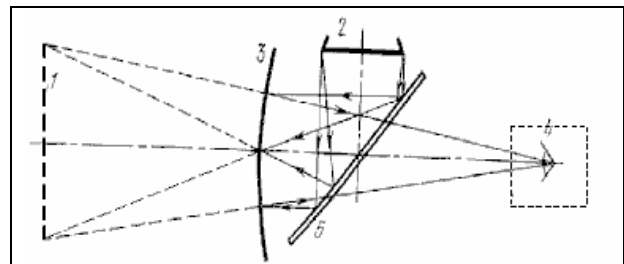
1) хрусталик глаза настроен на взгляд в бесконечность;

2) рассматриваются на одном экране формирования промежуточного изображения, без диспаратных очков, 2D-проекции подвижных объектов, полученные или съёмкой с помощью реальной видеокамеры, или синтезированные по правилам трёхмерной машинной графики;

3) используемый экран формирования промежуточного изображения имеет разрешающую способность не ниже 640x480 пикселей при размере по диагонали не больше 19 дюймов;

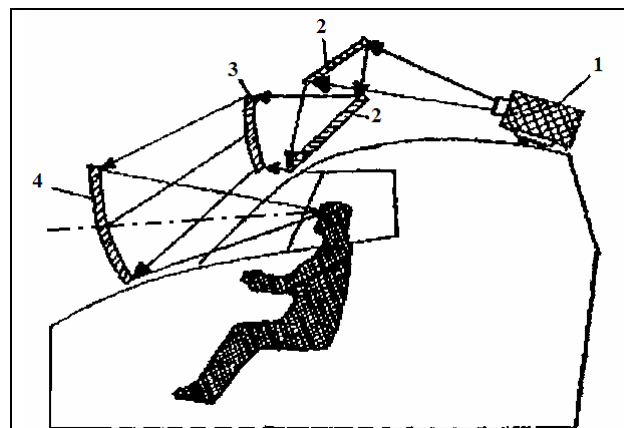
4) оптика 3D-индикатора моделирует углы обзора трёхмерного объекта или его частей почти без искажений, обеспечивая возможность формировать у наблюдателя профессиональные навыки определения расстояния до видимых объектов.

Это достижимо при использовании 3D-индикаторов, созданных на базе зеркальных коллиматоров. Это позволяет создавать безочковые 3D-индикаторы с «узким» зрачком, рассчитанным на одного человека (рис. 3), или безочковые 3D-индикаторы с «широким» зрачком (типа WIDE), рассчитанные на формирование эффекта наблюдения трёхмерного объекта у группы наблюдателей одновременно (рис. 4).



- 1-место моделирования ближайшего видимого объекта;
- 2-телевизионный экран для формирования промежуточного изображения;
- 3-вогнутое сферическое зеркало;
- 4-место расположения глаза человека-наблюдателя;
- 5-светоделительная пластина.

Рис. 3. Схема безочкового 3D-индикатора с "узким" зрачком наблюдения на одного человека-наблюдателя



- 1-телепроектор;
- 2-промежуточные зеркала;
- 3-просветный сферический экран;
- 4-вогнутое сферическое зеркало большого радиуса.

Рис.4. Схема безочкового 3D-индикатора с "широким" зрачком наблюдения для группы наблюдателей, расположенных в кабине грузового самолета

Изложение основного материала

Для анализа систем моделирования трёхмерно-го изображения введём понятие критерия качества моделирования трёхмерного изображения Q_{3D} . Данный критерий должен помочь выбрать из известных систем моделирования трёхмерного изображения ту, которая наилучшим образом обеспечивает решение поставленной задачи. В целом данный критерий можно записать в виде функционала

$$Q_{3D} = F_1(H, I_{3D}),$$

где H – особенности зрительного аппарата человека-наблюдателя; I_{3D} – качество воспроизведения визуальной модели с помощью аппаратно-программных средств.

Часто этого критерия достаточно для того, чтобы оценить возможность использования рассматриваемой системы моделирования 3D-изображения для решения поставленных задач. Однако при проведении НИР, НИОКР и ОКР часто необходимо не только оценить уже имеющиеся системы моделирования 3D-изображения, но и наметить пути их совершенствования. В этом случае необходимо более подробно оценить отдельные составляющие всей системы моделирования трёхмерного изображения. Тогда для анализа особенностей используемых аппаратно-программных комплексов будем использовать функционал

$$I_{3D} = F_2(Q_{SCR}, Q_{SYS}),$$

где Q_{SCR} – качество воспроизведения визуально наблюдаемой модели на специальном индикаторе (или на индикаторной системе), с учетом зрительного аппарата человека-наблюдателя; Q_{SYS} – качество моделирования образа визуально наблюдаемой модели с помощью аппаратно-программных средств, которая отображается на специальном индикаторе (или на индикаторной системе).

В свою очередь, для оценки используемого специального индикатора используем функционал

$$Q_{SCR} = F_3(R_{SCR}, L_{SCR}, T_{SCR}, U_{SCR}, O_{SYS}),$$

где R_{SCR} – разрешающая способность используемого экрана формирования промежуточного изображения; L_{SCR} – особенности воспроизведения цветовых оттенков на используемом экране формирования промежуточного изображения; T_{SCR} – время смены очередного кадра на используемом экране формирования промежуточного изображения; U_{SCR} – допустимые углы обзора моделируемого изображения; O_{SYS} – характеристики оптических систем, используемых для получения трёхмерного изображения.

Для оценки используемой системы моделирования образа визуально наблюдаемой модели используем функционал

$$Q_{SYS} = F_4(T_{RT}, P_{RT}, V_{SP}),$$

где T_{RT} – время синтеза очередного кадра; P_{RT} – количество видимых примитивов, из которых «набирается» видимое изображение; V_{SP} – объём синтезируемого пространства

Исходя из сказанного, будем считать, что задача моделирования «визуально наблюдаемой трёхмерной модели» разбивается на две задачи. Первая – обеспечение возможности ввода информации об объекте наблюдения. Вторая задача – передача полученной информации, вывод её на экраны формирования промежуточного изображения и преобразование двухмерных проекций в модель, воспринимаемую человеком как трёхмерную.

На сегодняшний день имеются хорошие решения отдельно первой и отдельно второй задачи. Однако их простое объединение не всегда позволяет получать ожидаемые результаты.

Исследования систем моделирования неплоского изображения показали.

1. Как при использовании безочковых 3D-индикаторов с использованием зеркальных коллиматоров, так и 3D-индикаторов с диспаратными очками (получивших название в научно-популярной литературе «стереосистемы») в процессе построения визуально наблюдаемой трёхмерной модели используется зрительный аппарат человека. Соответственно (что подтверждается и результатами исследований восприятия человеком таких моделей), эффект «погружения» человека в трёхмерное визуально наблюдаемое виртуальное пространство зависит от обученности наблюдателя работе с такими системами. Это даёт основание при классификации таких систем (рис. 5) называть их псевдообъемными – процесс моделирования трёхмерного визуального изображения необходимо описать с помощью схем и физических формул, показывающих путь световых лучей от пикселя экрана формирования промежуточного изображения до глаза наблюдателя, и как психологический процесс восприятия человеком видеоряда в виде двухмерных проекций трёхмерных объектов как наблюдения за реальным трёхмерным объектом. Результаты проведённых опытов дают основание утверждать, что трёхмерное восприятие человеком окружающего мира является не врождённым свойством зрительного аппарата человека, а приобретённым навыком.

2. Ранее существовали несколько заблуждений, из-за которых использование индикаторных систем на базе коллиматоров незаслуженно ограничивалось:

– считалось, что изображения будут настолько тусклыми, что их можно будет видеть только в затемненной кабине авиационного тренажера. Так для безочкового 3D-индикатора на базе соосного зеркального коллиматора расчеты яркости I строились на основании затухания тонкого луча при прохож-

дени от пикселя экрана сначала во время отражения от светоделительной пластины, затем во время отражения от сферического зеркала, затем при прохождении через светоделительную пластину к глазу наблюдателя (рис. 6). Тогда

$$I = I_{\text{эт}} k_{p1} \sin 45^\circ k_0 k_{p2} \sin 45^\circ,$$

где $I_{\text{эт}}$ – исходная яркость точки на экране 2; k_{p1} – коэффициент отражения от светоделительной пластины 5 (при движении луча от экрана 2); k_{p2} – коэффициент отражения от светоделительной пластины 5 (при движении луча от сферического зеркала 3); k_0 – коэффициент отражения от сферического зеркала.

Как показали опыты, на практике из-за пучкообразного рассеивания лучей от пикселей экрана формирования промежуточного изображения, итоговое изображение получается настолько ярким, что трехмерные изображения с таких индикаторных систем можно рассматривать при обычном освещении.

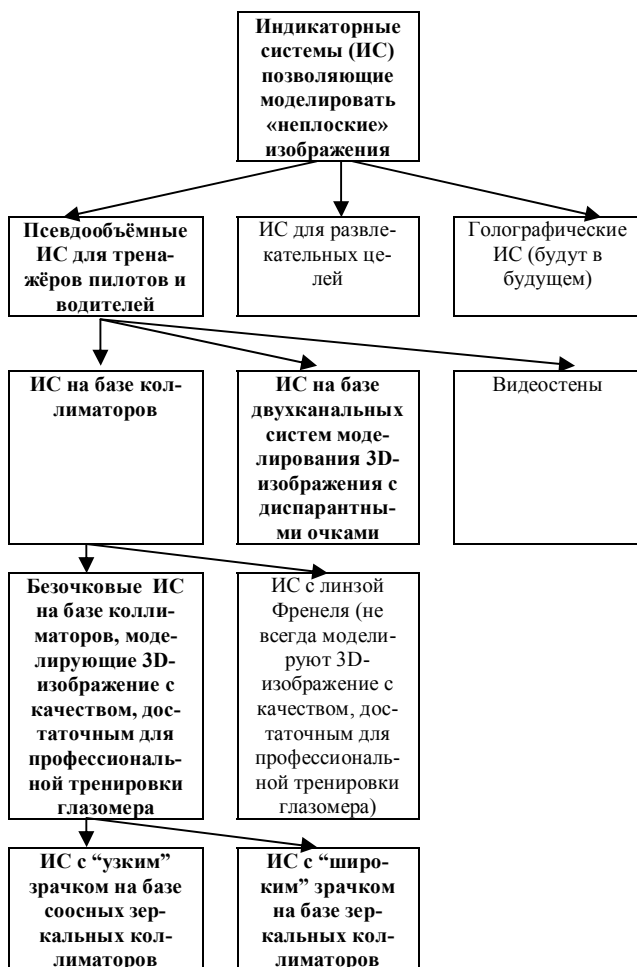
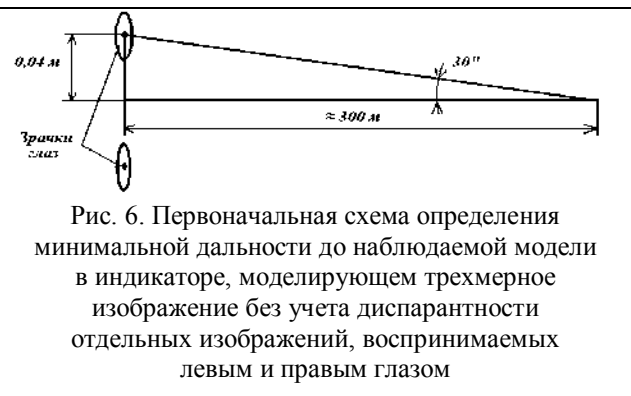


Рис. 5. Классификация индикаторных систем, моделирующих визуально наблюдаемые трехмерные изображения, в зависимости от поставленных задач

3. Считалось, что из-за разрешающей способности человеческого глаза $30''$, среднестатистическим расстоянием между глазами наблюдателя 8 см, дистанция между наблюдателем и минимально приближенной к нему трехмерной моделью будет не

менее 300 м (исследования индикаторов на базе коллиматоров показывают, что на практике минимальное расстояние визуально оценивается примерно как 4 м и, следовательно, эта гипотеза не верна).



4. Считалось, что в качестве экранов формирования промежуточного изображения должны использоваться только сферические выпуклые экраны (на практике хорошие трехмерные модели были получены при использовании плоских телевизионных экранов);

Выводы

1. Появившиеся сейчас на рынке системы, моделирующие трехмерное изображение за счёт подачи каждому глазу наблюдателя своего изображения, не являются реализацией единственного метода решения задачи моделирования трехмерного изображения.

2. Для решения задач обучения водителей транспортных средств, наблюдателей и лиц другой профессии профессиональным навыкам определения дальности до выбранных объектов: неподвижных и подвижных, сейчас используют только псевдообъемные системы моделирования трехмерного изображения. При их разработке должны учитываться общие особенности восприятия зрительным аппаратом поступающей информации.

3. При разработке систем моделирования трехмерного изображения для использования в тренажерах необходимо добиваться соответствия углов обзора трехмерных моделей и углов обзора их реального прототипа при нахождении наблюдателя на одном и том же расстоянии от них.

4. В случае, когда необходимо моделировать трехмерное изображение модели объекта на дистанции ближе 4 метров, по условиям развития оптико-аппаратно-программных комплексов на сегодняшний день нет альтернативы двухканальным системам моделирования с диспаратными очками или их аналогами.

5. При моделировании трехмерного изображения на дистанциях от 4 метров кроме двухканальных систем моделирования с диспаратными очками можно использовать безочковые 3D-индикаторы на базе зеркальных коллиматоров с «узким» или «широким» зрачками.

Список литературы

1. . Роганов В.Р. Методы формирования виртуальной реальности / В.Р. Роганов. – Пенза, ПензГУ, 2002. – 127 с.
2. Роганов В.Р. Математические и компьютерные методы в медицине, биологии и экологии: монография / В.Р. Роганов, А.А. Казанцев, А.М. Бабич и др. – Пенза. – М: Приволжский Дом знаний, МИЭМП, 2012. – 132 с.
3. Роганов В.Р. Система объемного телевидения. Патент РФ № 2146856 (19) RU (11).
4. Тренажерные системы / Под ред. В.Е. Шукинуова. – М.: Машиностроение, 1981. – 256 с.

Поступила в редколлегию 1.08.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Урнёв, Пензенский государственный технологический университет, Пенза.

АНАЛІЗ ПРИСТРОЇВ, ЩО МОДЕЛЮЮТЬ ТРИВИМІРНІ ЗОБРАЖЕННЯ

В.Р. Роганов

В даний час актуальною є розробка 3D-індикаторів для імітаторів візуальної обстановки тренажерів водіїв транспортних засобів, що здатні моделювати тривимірне зображення рухомих і нерухомих об'єктів, що оточують транспортний засіб в реальній дійсності. Якість моделювання тривимірних зображень моделей має бути достатньою для професійного тренування окоміру водія транспортного засобу. Іншою мовою, навички, що одержуються тим, хто проходить навчання, за визначенням дальності до видимих моделей об'єктів у віртуальному просторі при навчанні на тренажері повинні відповідати навикам, котрі отримані водієм, при визначенні дальності до видимих об'єктів при управлінні реальним транспортним засобом в реальній дійсності. У статті аналізуються найбільш поширені 3D-індикатори і пропонуються шляхи їх вдосконалення.

Ключові слова: 3D-індикатори, стерео індикатори, системи моделювання об'ємного зображення, імітатор візуальної обстановки, якість моделювання візуально спостережуваних тривимірних об'єктів.

ANALYSIS OF 3D-IMAGERY SIMULATORS

V.R. Roganov

Nowadays development of 3D-indicators for the imitators of visual situation for simulators of vehicle drivers turns into urgent problem. Especially demanded are devices able to design the 3D image of knowable actual mobile and immobile objects in circumference of the vehicle in the real world. Quality of design of simulated 3D images must be sufficient for the professional training of measurement with naked eye for vehicle driver. In the article most widespread 3D-indicators are analyzed and the ways of their improvement are offered.

Keywords: 3D-imagery simulator, stereomonitor, system for 3D-image simulation, imitator of visual situation, quality of design of visualized 3D- objects.