

УДК 621-05+37.014:331.015.11

DOI: 10.12737/24951

А.В. Пономаренко, В.М. Василец, В.М. Халтобин, Д.Н. Левин

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ И МЕТОДИКА ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЛАЗЕРНОЙ ПРОЕКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТРЕНАЖЕРА МИГ-29К

Показаны основные достоинства и концептуальный облик лазерной системы визуализации внекабинной обстановки в авиационном тренажере. Рассмотрено функционирование этой системы. Представлены методика и основные результаты эргономической оценки лазерной системы визуализации для тренажера МиГ-29К.

Ключевые слова: авиационный тренажер, МиГ-29К, система визуализации внекабинной обстановки, синтез цветного изображения, лазер, насыщенность цветного изображения, эргономическая оценка, лазерная проекционная система.

A.V. Ponomarenko, V.M. Vasilets, V.M. Khaltobin, D.N. Levin

CONCEPT OF FORMATION AND PROCEDURE OF ERGONOMIC ASSESSMENT OF LASER PROJECTION SYSTEM IN SIMULATOR

Basic merits and a conceptual image of the laser system for the visualization of off-cockpit situation in an aircraft simulator are shown. The operation of this system is considered. The procedure and basic results of an ergonomic assessment of a laser visualization system for the simulator MiG-29K are presented.

Key words: aircraft simulator MiG-29-K, visual system of off-cockpit situation, synthesis of colour image, laser, colour image saturation, ergonomic assessment, laser projection system.

Современный уровень развития средств отображения видеoinформации позволяет формировать в авиационных тренажерах псевдореальное изображение внекабинного пространства, окружающего летательный аппарат в процессе его полета при выполнении различных полётных и боевых задач. Среди новых тренажерных технологий в настоящее время лидируют перспективные проекционные лазерные технологии. Производством лазерных проекторов в мире занимаются несколько фирм, в том числе и фирма «LDT Laser Display Technology GmbH» [1] – разработчик лазерной проекционной системы (ЛПС) визуализации внекабинной обстановки «AVIOR» для полнофункционального тренажера (ПФТ) палубного самолёта МиГ-29К. Эта система обеспечивает отображение изображения внекабинного пространства на сферическом экране (рис. 1). Кабина ПФТ – это кабина самолёта с полностью реальным интерьером, реальным приборным окружением (рис. 2).

В ПФТ самолёта МиГ-29К применяется 9-канальная лазерная проекционная

система. Она предназначена для отображения в цвете закабинной обстановки с высоким разрешением. Использование лазерной проекционной системы объясняется тем, что она имеет существенные пре-

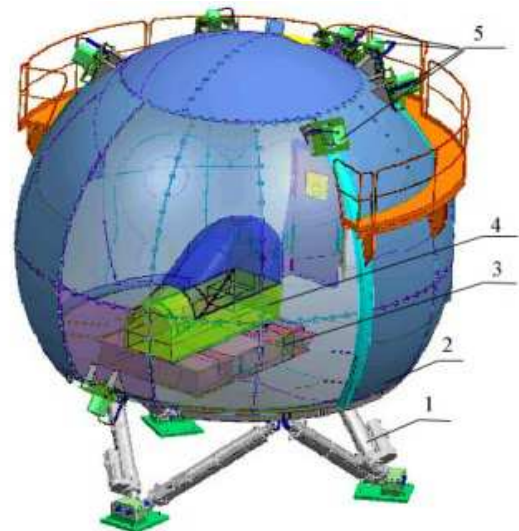


Рис. 1. Внешний вид центрального модуля ПФТ самолёта МиГ-29К: 1 – актуаторы системы подвижности; 2 – сферический купол; 3 – переходная платформа; 4 – кабина тренажера; 5 – лазерные проекторы

имущества по сравнению с любыми другими видеосистемами, обеспечивая абсолютную чистоту цветов и их полную насыщенность.

Это обстоятельство делает лазерное изображение чрезвычайно красивым и запоминающимся, что было продемонстрировано уже в 1970-80-х годах на многочисленных выставках.



Рис. 2. Кабина ПФТ самолёта МиГ-29К и пример изображения внекабинной обстановки ЛПС «AVIOR»

В лазерной проекционной системе визуализации внекабинной обстановки «AVIOR» использован аддитивный принцип построения цветного изображения. Три лазерных луча основных цветов – красного (R), зеленого (G) и синего (B) – модулируются по амплитуде при помощи электрооптических модуляторов в соответствии с входным видеосигналом. Затем они с помощью специальной системы полупрозрачных зеркал объединяются в один луч. Путём смещения этих трёх различных по интенсивности лучей (красного, зелёного и синего) может быть получен белый или любой другой желаемый цвет. Оптико-механическая система развёртки изображения на экране и система фокусировки расположены в проекционной головке, которая соединяется с источником лазерного излучения при помощи гибкого оптоволоконного кабеля (длина - десятки метров). Построение изображения на экране происходит как в телевизоре – по строкам. Развёртка изображения по горизонтали осуществляется при помощи зеркального барабана, а по вертикали – с помощью качающегося зеркала. Обычно скорость лазерного луча на экране – порядка 100 км/с. Благодаря инерции зрения человека и

большой скорости сканирования лазерного луча общее впечатление от изображения на экране получается таким же, как и при наблюдении неподвижной картинке [2].

Твердотельные лазеры (ТТЛ) – наиболее эффективные в настоящее время источники света в отличие от галогенных ламп, которые применяются в обычных проекторах и КПД которых не превышает 2-5%. Срок службы ТТЛ – свыше 10000 часов (у ламп обычно 2000-4000 часов). Для инжекционных полупроводниковых ТТЛ КПД может достигать 90%. На рис. 3 показана принципиальная схема получения RGB лазерных лучей. Начальная генерация лазерного излучения происходит на длине волны 1064 нм при оптической накачке кристалла твердотельного лазера Nd: YVO излучением мощного лазерного диода с длиной волны 808 нм. При использовании лазерного импульса с длиной волны 1064 нм на нелинейных кристаллах в каналах формирования цветов формируются импульсы с длинами волн основных цветов: R - 628 нм, G - 532 нм, B - 446 нм (рис. 3). RGB лазерные лучи модулируются сигналами, поступающими из блока видеопработки, затем поступают на механизм согласования и далее в оптический кабель.

По оптическому кабелю лазерное изображение поступает в сканирующую головку. Работа сканирующей головки синхронизируется блоком синхронизации, установ-

ленным в лазерном источнике. Широкая цветовая гамма получается путем смешивания различных количеств красного, зеленого и синего лазерного света.

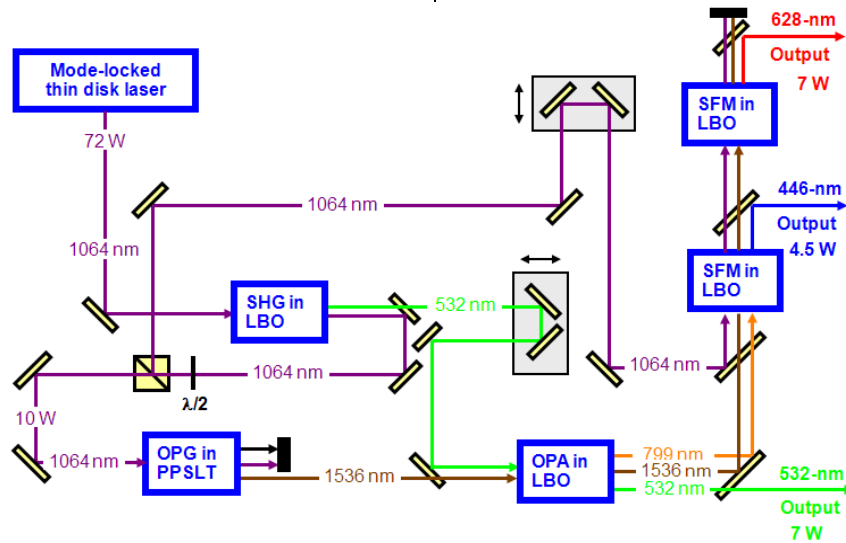


Рис. 3. Принципиальная схема формирования лазерных лучей основных (RGB) цветов: LBO (lithium triborate -LiB₃O₅) – нелинейные кристаллы; SFM (sum frequency mixing) – сумматор лучей; SHG (second-harmonic generation) – удвоитель частоты излучения; OPA – (optical parametric amplifiers) – накачка кристалла

Купол системы лазерной визуализации представляет собой сферу радиусом 3500 мм (рис. 1). Внутренняя поверхность купола покрыта белой матовой краской. Проекторы расположены на внешней поверхности купола. Лазерные лучи проникают внутрь купола через специальные отверстия. Изображения на лазерные проекторы передаются по оптоволоконным кабелям от источников лазерного излучения, управляемых компьютерами системы визуализации EPX-500. Программное обеспечение системы визуализации «AVIOR» формирует реалистичные изображения

внешней обстановки на всех этапах полёта, во всём эксплуатационном диапазоне скоростей и высот полета самолета. База данных системы визуализации обеспечивает отображение виртуального района полёта размером 400x400 км (не менее 50 000 км²). ПО EPX-500 обладает необходимыми возможностями для имитации многочисленных особенностей условий реального полета. Визуализация внекабинного пространства обеспечивает разрешение изображения 1200x1024, 16 млн цветов и частоту смены кадров не менее 40 кадров/с.

Методика и результаты эргономической оценки лазерной системы

Эргономическая оценка лазерной системы визуализации выполнена в РСК «МиГ» и ГНИИИ МО РФ [4; 5]. В основу этой оценки были положены измерения светотехнических и пространственных (геометрических) параметров и временных характеристик лазерной системы визуализации. Для выполнения исследований была отработана методика эргономической оценки и разработана технология оценки лазерных изображений при использовании унифицированных визуальных тестов (ти-

па специальных растров и оптических мир). Исследования по экспертной оценке лазерной системы визуализации были выполнены при анализе изображений с различными видами внекабинного пространства. Результаты оценки влияния наблюдения изображений на психофизиологическое состояние экспертов приведены в таблице. Оценка 4,4 балла указывает на принципиальную возможность использования лазерных источников в тренажерных системах визуализации и допустимость

зрительного восприятия формируемых лазерных изображений при их наблюдении в течение от 30 минут до одного часа. Проведенные фотометрические измерения уровня энергетической освещенности глаз

лётчика лазерным излучением (ЛИ) в системе «AVIOR» были выполнены с целью оценки степени опасности ЛИ, диффузно отражённого от сферического экрана купола [3].

Таблица

Результаты экспертной оценки

Изменение состояния экспертов при работе на тренажере в течение от 30 мин до 1 ч	Субъективная оценка изменения состояния	Значение оценки, баллы
Утомление зрительного анализатора	Незначительное утомление	4,5
Общее состояние организма	Почти хорошее состояние	4,7
Состояние типа «укачивание»	В малой степени	4
Снижение работоспособности	Незначительное снижение	4,4
Средняя оценка по всем показателям		4,4

Измерения проводились с использованием фотометра модели UDT-40A. Приёмник фотометра устанавливался в плоскости глаз лётчика. Изображения формировались для дневных условий с безоблачным небом, что соответствует максимальному уровню яркости изображения на экране. Средняя энергетическая освещенность глаз лётчика составила $P_{\text{ср}}=0,5 \cdot 10^{-6}$ Вт/см². Данный уровень энергетической освещенности соответствует международным нормам безопасности при длительной (до 8 часов) работе в условиях облучения рассеянно-отражённым лазерным излучением [5]. Разработанные методики оценки лазерной системы визуализации показывают их практическую применимость и могут быть рекомендованы для использования на любых этапах как создания, так и испытаний этих систем.

В заключение отметим, что лазерные проекционные системы имеют большие перспективы развития и совершенствования в силу своих высоких потенциальных возможностей: отличная цветопередача, которая может достигать > 90% от видимого человеком диапазона цветов; относительно низкое энергопотребление; долговечность проектора порядка минимум 20000 часов (определяется сроком службы лазерных источников света); отличная контрастность и насыщенность оттенков. Основные проблемы в создании и совершенствовании лазерных проекторов находятся в области разработки лазерной элементной базы: лазерных источников света, лазерных модуляторов и дефлекторов, лазерных оптических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.ldt-jena.de> (фирма «LDT Laser Display Technology GmbH»).
2. Байбородин, Ю.В. Основы лазерной техники / Ю.В.Байбородин. - Высш. шк. 1988. - С. 350.
3. Устройство и эксплуатация лазеров. Санитарные нормы и правила/ Минздрав СССР. - 1982. - Вып. 2392. - С.78.
4. ГОСТ Р52870-2007. Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информа-

ции и способы измерения. - М.: Стандартинформ, 2007.- С.20.

5. Василец, В.М. Эргономическая оценка системы лазерной визуализации внекабинной обстановки для учебно-тренировочного комплекса маневренного самолёта / В.М.Василец, А.В.Пономаренко, А.С.Кондратьев // Авиакосмическая техника и технология. - 2011. - №2. - С. 18-23.

1. <http://www.ldt-jena.de> (фирма «LDT Laser Display Technology GmbH»).

2. Baiborodin, Yu.V. *Laser Engineering Fundamentals* / Yu.V.Baiborodin. – Higher School. 1988. – pp. 350.
3. *Laser Structure and Operation. Sanitary Standards and Regulations/ Ministry of Health of the USSR.* - 1982. - Issue. 2392. - pp.78.
4. SSR R52870-2007. *Means for Information Presentation for Collective Use. Requirements to Visual*

Display of Information and Means for Measurement. – М.: Standardinform, 2007.– pp. 20.

5. Vasilets, V.M. Ergonomic assessment of laser visualization of off-cockpit situation for education-training complex of maneuvering aircraft / V.M.Vasilets, A.V.Ponomarenko, A.S.Kondratiev // *Aerospace Engineering and Technology.* - 2011. - №2. - pp. 18-23.

Статья поступила в редколлегию 7.12.2016.

Рецензент: д.псих.н., профессор Брянского государственного технического университета Спасенников В.В.

Сведения об авторах:

Пономаренко Андрей Владимирович, д.т.н., профессор, нач. отделения АО «РСК «МиГ», г. Москва.

Василец Валерий Михайлович, д.т.н., профессор, гл. специалист АО «РСК «МиГ», г. Москва.

A.V. Ponomarenko, D. Eng., Prof., Chief of the Dep. J-S Co. "SDC MiG", Moscow.

V.M. Vasilets, D. Eng., Prof., Chief Specialist of J-S Co. "RDC "MiG", Moscow.

Халтобин Владимир Михайлович, к.т.н., вед. специалист АО «РСК «МиГ», г. Москва.

Левин Дмитрий Николаевич, к.т.н., зам. нач. отдела филиала ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», г. Москва.

V.M. Khaltobin, Can. Eng., Leading Specialist of J-S Co. "RDC "MiG", Moscow.

D.N. Levin, Can. Eng., Deputy-Chief of the Dep. of the Branch PA Co. "Sukhoi" "DB Sukhoi", Moscow.