



## ЛАЗЕРНЫЕ ЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ВЕРТОЛЕТОВ

А.Бельский, д.т.н., Н.Жосан,  
ОАО "МВЗ им.М.Л.Миля",  
В.Гребенщиков, А.Каргаев, Д.Брондз, к.т.н.,  
К.Горбачев, Д.Воробьев, ФГУП ОКТБ "Омега"

В условиях плохой видимости для вертолетных комплексов при низкой освещенности каналы технического зрения не всегда обеспечивают безопасность пилотирования. Обзорные оптико-электронные системы способны обнаружить и визуализировать отдельные появляющиеся на маловысотных полетах препятствия – ЛЭП, мачты, трубы, деревья. В основе работы лазерных локационных систем лежит принцип наложения сигнала от лазерного сканирования (зондирования) пространства на фоновое теле- и тепловизионное видеоизображение, полученное по курсу полета вертолета. В статье рассмотрены условия и способы применения лазерных локационных систем в составе комплексов бортового оборудования вертолетов.

Нормы эксплуатации вертолетной техники общегражданского и специального назначения требуют обеспечения безопасности полетов на малой высоте в ночных условиях и в условиях плохой видимости. При полетах на малой высоте опасным препятствием для вертолетов могут стать провода и опоры линий электропередач (ЛЭП), высокие дымовые трубы, мачты, башни и отдельно стоящие деревья. Они достаточно плохо визуализируются в ночных условиях и в условиях недостаточной видимости (дождь, снег, туман, задымленность, запыленность и т.п.). Поэтому в состав пилотажно-навигационных комплексов вертолетов должны быть включены лазерно-локационные (лидарные) системы, которые должны визуализировать препятствие и предупредить экипаж вертолета о возможности опасного приближения к нему.

Лазерно-локационные системы (лазерные лидары), включенные в структуру обзорно-пилотажных комплексов (ОПК), позволяют контролировать

## LASER LOCATORS FOR HELICOPTER FLIGHT SAFETY IMPROVEMENT

A. Belskiy, Dr.Sc.(Eng.)N. Zhosan,  
Mil Moscow Helicopter Plant, JSC;  
V. Grebenshikov, A. Kargaev, D. Brondz, Cand. Sc.(Eng.),  
K. Gorbachev, D. Vorobiev, Federal State Unitary  
Enterprise Special Design and Technical Bureau  
OMEGA

Flight safety is the necessity of rotorcraft operations. In poor visibility by day and in low light conditions at night optoelectronic system synthetic vision channels not always can provide detection and visualization of separate possible obstacles (electric supply chains, masts, stacks, trees etc.) on the background of television or thermal image. To ensure safety of low altitude flights it is possible to use the systems based on the principles of laser scanning (sensing) of space. Registered signal is overlaid on background television or thermal image on helicopter course. The article considers conditions and methods of use of laser radar systems as a part of helicopter avionics complexes.

Flight safety at low altitude and in poor visibility is the most important requirement of business and special rotorcraft operation.

Wires and transmission towers, high chimneys, masts and single trees may be dangerous for low-altitude helicopter flight, because it is hard to detect such objects at night and in poor visibility (rain, snow, fog, smoke, dust etc.). Integration of laser locators (lidar systems) into helicopter navigation system must ensure obstacle visualization and crew warning to prevent dangerous approach to the obstacles at low altitude.

Lidar system integration into surveillance and flight system will enable low-altitude flight control and prevention of collisions with probable obstacles. Day and night observation of external environment in front hemisphere with visualization of wires, transmission towers, chimneys, masts and other high objects in low-light conditions or in poor visibility can be referred to as the key factor in the use of lidar systems as a part of surveillance and flight systems.

Lidar system as a part of helicopter surveillance and flight system must ensure:

полет вертолета на малой высоте и предупреждать столкновения. Круглосуточный обзор закабинного пространства передней полусферы с визуализацией проводов и опор линий электропередач, дымовых труб, мачт и других высоких объектов в условиях низкой освещенности или недостаточной видимости можно отнести к ключевым условиям применения лазерных локационных систем в составе ОПК.

Лазерная локационная система (ЛЛС), интегрированная в обзорно-пилотажный комплекс (ОПК) вертолета, должна обеспечивать: обзор закабинного пространства передней полусферы по направлению полета вертолета; обнаружение и визуализацию препятствий (проводов и опор линий электропередач, дымовых труб, мачт и других высоких объектов) по направлению полета вертолета; формирование видеоизображения закабинного пространства передней полусферы по направлению полета вертолета и выдачу его в систему отображения информации комплекса бортового оборудования (КБО); формирование сигнала о наличии препятствий и дальности до них с возможностью наложения данных о препятствиях и дальности до них на видеоизображение, получаемое от телевизионной или тепловизионной камеры, и передачу этого изображения в КБО для визуализации его на экране многофункционального индикатора (МФИ) в кабине вертолета.

При этом дальность обнаружения проводов ЛЭП (диаметром 10 мм) должна составлять не менее 800 м, для безопасного маневра вертолета и ухода от препятствия при скорости полета порядка 250 км/ч. ЛЛС должна "работать" в широком поле зрения опико-электронных каналов систем технического зрения ОПК, примерно  $30 \times 40^\circ$ .

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНЫХ ЛИДАРОВ

Известно, что лидарные системы (с импульсной лазерной подсветкой и пространственным выделением объектов) относятся к активным системам видения [1]. Они способны обнаружить и визуализировать "интегрально невидимые" объекты (провода и опоры ЛЭП, трубы, мачты и т.д.) в условиях, когда системы технического зрения (телевизионные или тепловизионные камеры) не могут получить изображение удовлетворительного качества. Предназначение таких систем – наблюдение объектов в ночных условиях, в условиях тумана, задымленности и сильной запыленности.

Типовой состав лазерного лидара – передающий канал (лазерный излучатель, формирующий короткие импульсы, и оптическая система) и приемный

- Observation of external environment in the front hemisphere on helicopter way;
- Detection and visualization of obstacles (wires, transmission towers, chimneys, masts etc.) on helicopter way;
- Video imaging of external environment in the front hemisphere on helicopter avionics display system;
- Shaping of signal about obstacles and distance to the obstacles, as well as the ability to overlap this information on video image from television or thermal imaging camera, and signal transition to avionics complex for visualization on helicopter multifunctional displays.

Taking this into account, to guarantee safe maneuver and to avoid collision at the speed of about 250 km/h, the distance of power line wires detection (10 mm diameter) must be more than 800 meters.

Lidar system must operate in wide field of view of surveillance and flight system synthetic vision optoelectronic channels. That is about  $30 \times 40^\circ$ .

### LIDAR OPERATION

It is known that lidar systems (with pulse illumination and object spatial highlighting) are active vision systems for object observation at night, in fog, smoke and heavy dust. They are able to detect and visualize "integrally invisible" objects (e.g. wires, transmission towers, high chimneys, masts etc.) in low light and poor visibility, in other words, when it is impossible to get satisfactory image by means of synthetic vision systems (television or thermal imaging cameras).

As a rule, a lidar system consists of transmitting channel with laser emitter, and optical system, which shapes short laser pulses, as well as high-speed photo receiver, scanner and signal processor. Pulse light source with shaping optics provides pulse illumination of surrounding space.

Laser sensing is based on reflection of laser beam from the surface of the objects on its way. As a result, secondary wave propagates from the object. Part of its energy returns to the point of emission to be detected by the receiver. In this case the time of wave propagation from the source to the object and back to the source makes possible careful assessment of the range from lidar to the object (familiar principle of rangefinding) (fig.1).

It is necessary to mention the need of lidar laser safe use. For example, as a rule, safe use of lidar system for aerial mapping is provided by minimum flight altitude, which can be several

канала (оптическая система и быстродействующее фотоприемное устройство), а также сканер и устройство обработки сигнала. При этом импульсный источник света с формирующей оптикой обеспечивает импульсную подсветку окружающего пространства.

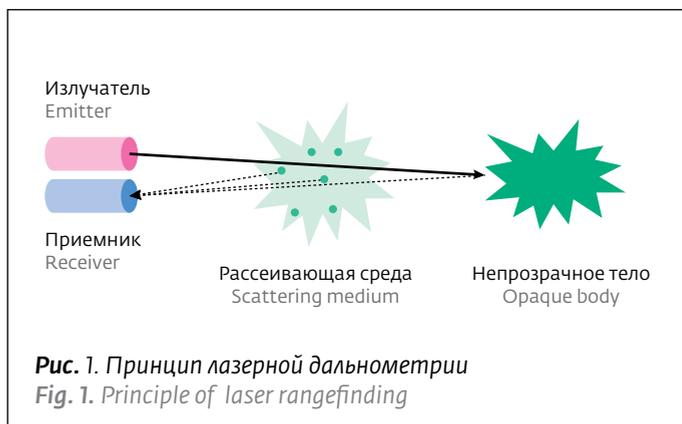
Зондирующие свойства лидара основаны на том, что поверхность объектов, расположенных на пути распространения лазерного луча, отражают падающее излучение [2]. В результате от такого объекта начинается распространяться вторичная волна, часть энергии которой возвращается в точку излучения и фиксируется приемником. При этом время, затраченное на распространение от источника к объекту и обратно к приемнику, позволяет однозначно определить дальность расстояния от локатора до объекта (рис. 1). (известный принцип лазерной дальнометрии).

При этом при выполнении лазерной локационной съемки необходимо обеспечить безопасность использования лазеров в составе лидаров. Например, для аэросъемочных лидаров безопасность, как правило, определяется минимально допустимой высотой полета и может составлять несколько сот метров. Это ограничение существенно, так как дальность (высота) является одним из главных параметров, прямо влияющих на детальность (плотность сканирования), а также на точность и ширину полосы захвата.

Использование лидаров с рабочей длиной волны 1,5 мкм предпочтительно из-за практически полной безопасности этого излучения. Стекловидное тело человеческого глаза почти полностью состоит из воды, поэтому оно оказывается почти непрозрачным (так как вода поглощает электромагнитное излучение) на длине волны 1,5 мкм.

### ЗАРУБЕЖНЫЕ ВЕРТОЛЕТНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ЛОКАТОРЫ

Многие типы современных зарубежных летательных аппаратов (ЛА) (в том числе вертолетная техника) оснащены оптико-электронными лазерными локационными системами (лазерными радарными) [3, 4]. Отметим известные зарубежные лазерные локационные системы, построенные на оптико-волоконных лазерах, применяемые на вертолетах для обеспечения безопасности выполнения полетов на малых высотах в условиях низкой освещенности и недостаточной видимости (как опция). Это системы HELLAS-W фирмы EADS (Германия) и система LOAM фирмы SELEX Communications S.p.A (Италия) (рис.2) [5, 6].



**Рис. 1. Принцип лазерной дальнометрии**  
**Fig. 1. Principle of laser rangefinding**

hundred meters. This limit is essential because the range (altitude) of the flight is one of important characteristics, directly affecting the detail (scanning density), as well as accuracy and capture bandwidth.

Lidar systems with operational wavelength of 1.5  $\mu\text{m}$  are preferable because of their virtually complete safety. As vitreous body of a human eye almost completely consists of water, it proves to be nearly non-transparent (since water absorbs electromagnetic radiation) at 1.5  $\mu\text{m}$  wavelength.

### FOREIGN HELICOPTER LIDAR SYSTEMS

Optoelectronic laser location systems (lidar systems) become more and more frequent equipment for foreign aircrafts (including helicopters) under development. Such systems are used for detection of potential dangerous obstacles and for early warning of the aircraft crew by issuing a command for an obstacle avoidance maneuver.

It is appropriate to mention well-known foreign lidars based on fiber-optic lasers. These systems are used on helicopters to ensure flight safety at low altitude, in low-light conditions and in poor visibility (as an option). These systems are HELLAS-W by EADS (Germany) and LOAM by SELEX Communications S.p.A. (Italy).

They use laser pulse transmitter with high pulse repetition frequency, and optomechanical sweeping system. Sweeping system is fiber-optic. It forms the line consisting of 128 fibers. Each moment laser beam is emitted from a fiber. Reception of a laser beam, reflected from an obstacle is also performed by means of fiber and single element high-speed photodetector with optomechanical sweeping system based in the transmitter. It provides consecutive emission and

В этих системах используется лазерный импульсный передатчик с высокой частотой повторения импульсов излучения и оптико-механическая система развертки, построенная на оптоволоконне. Эта система обеспечивает формирование строки из 128 волокон, при этом в каждый момент времени лазерное излучение поступает только с одного волокна. Прием импульса лазерного излучения, отраженного от препятствия, осуществляется также с использованием оптоволоконна и одноэлементного быстродействующего фотоприемника. Качающееся зеркало сканирует пространство по вертикали. Таким образом, осуществляется последовательное сканирование (просмотр) пространства, и после обработки эхо-сигналов от препятствий формируется синтезированное (электронное) изображение.

### ПОРЯДОК РАБОТЫ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Специалисты ФГУП "Омега" на основе технического задания ОАО "МВЗ им. М.Л. Миля" разрабатывают отечественную лазерную локационную телевизионную систему (ЛЛТС) для вертолета. Рассмотрим порядок ее работы согласно структурно-функциональной схеме (рис.3). Практическое внедрение ЛЛТС в контур КБО вертолета предполагается при создании специальной модернизированной версии Ми-171А2, где в единой конструкции будут реализованы и ЛЛТС, и панорамная круглосуточная обзорная система КОС.

Основные элементы ЛЛТС выполняют следующие функции:

- лазерный передатчик (ЛП) – формирование импульсной лазерной подсветки окружающего пространства;
- блок питания лазера (БПЛ) – выработку соответствующих напряжений для накачки лазерного излучателя;
- фотоприемник (ФП) – прием отраженного от объекта импульса лазерного излучения и преобразование его в электрический сигнал;
- устройство сканирования (УС) – развертку лазерного луча совместно с входным зрачком объектива одноэлементного приемника внутри заданного угла поля зрения;
- блок электронной обработки (БЭО) выполняет
  - обработку сигнала от одноэлементного приемника,
  - управление работой сканера,
  - наложение сигнала, полученного от одноэлементного приемника, на видеосигнал



Рис.2. Лазерные локационные системы LOAM (слева) и HELLAS-W (справа)

Fig. 2. Lidar systems: LOAM (left) and HELLAS-W (right)

receipt of laser pulses from each of 128 components (i.e. fibers). Elevation spatial scanning is performed by means of tilting mirror. Thus consecutive scanning and shaping of synthetic (electronic) image is performed on the basis of processing of echo signals from the obstacles.

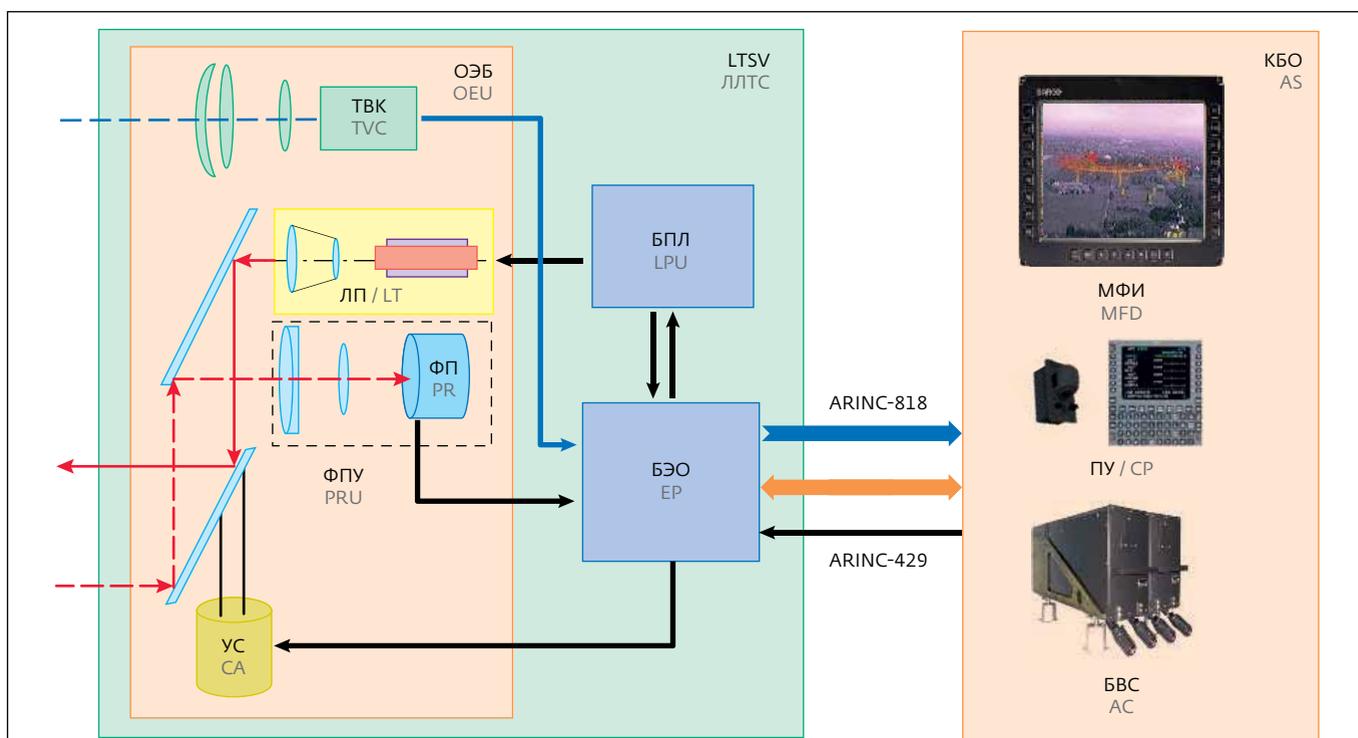
### TV LIDAR SYSTEM OPERATION

Let's study the operation of Russian helicopter TV lidar system (developed by Federal State Unitary Enterprise Special Design and Technical Bureau OMEGA according to requirements specification by Mil Moscow Helicopter Plant). Its structural and functional scheme is given on Figure 3.

Main components of TV lidar system perform the following functions:

- Laser transmitter (LT) provides pulse laser illumination of the environment;
- Laser power unit (LPU) produces corresponding voltage to pump laser emitter;
- Photo receiver (PR) receives the laser pulse reflected from an obstacle and transforms it to electric signal;
- Scanning device (SD) sweeps space with the beam together with the entrance pupil of single-element receiver lens in preset angle of field of view;
- Electronic processor (EP):
  - Processes the signal from single-element receiver;
  - Controls scanner operation;
  - Overlays the signal from single-element receiver on video signal from TV camera and delivers the signal to avionics complex;
- TV camera shapes spatial monochrome video signal with field of view angle, which falls together with scanner FOV angle.

Observation of external environment in the front hemisphere on helicopter course is performed by TV lidar system.



**Рис.3.** Структурно-функциональная схема лазерной локационной телевизионной системы (ЛЛТС): ОЭБ – оптоэлектронный блок; ТВК – телевизионная камера; ЛП – лазерный передатчик; БПЛ – блок питания лазера; ФПУ – фотоприемное устройство; ФП – фотоприемник; БЭО – блок электронной обработки; УС – узел сканирования; КБО – комплекс бортового оборудования; МФИ – многофункциональный индикатор; ПУ – пульт управления; БВС – бортовая вычислительная система  
**Fig. 3.** Structural and functional scheme of lidar TV system (LTVS): OEU – optoelectronic unit; TVC – TV camera; LT – laser transmitter; LPU – laser power unit; PRU – photo receiver unit; PR – photo receiver; EP – electronic processor; SA – scanning assembly; AS – avionics system; MFD – multifunctional display; CP – control panel; AC – airborne computer

от телевизионной камеры и выдачу данного сигнала в КБО;

- телевизионная камера (ТВК) – формирование черно-белого сигнала видеоизображения пространства с углом поля зрения, совпадающим с углом поля зрения, обеспечиваемым сканером.

Обзор закабинного пространства передней полушеры по направлению полета вертолета производится лазерной локационной телевизионной системой (ЛЛТС).

Работа ЛЛТС происходит следующим образом: передающий канал (или лазерный передатчик (ЛП)) формирует короткие импульсы лазерного излучения. Устройство сканирования (УС) разворачивает лазерный луч в пространстве в заданном поле зрения для создания импульсной подсветки окружающего пространства. Фотоприемным устройством – ФПУ (это может быть одноэлементный фотоприемник (ФП) излучения с объективом) принимается отраженный от объекта импульс лазерного излучения, который преобразовывается в электрический сигнал.

Tv lidar system works as follows: transmitting channel (or laser transmitter (LP)) shapes short laser pulses. Scanning device (SD) sweeps the space with the beam in the preset field of view to illuminate the space with laser pulses.

Photo receiver (PR) receives the laser pulse, reflected from an obstacle, and transforms the pulse into electric signal. It can be single-element photo receiver with lens.

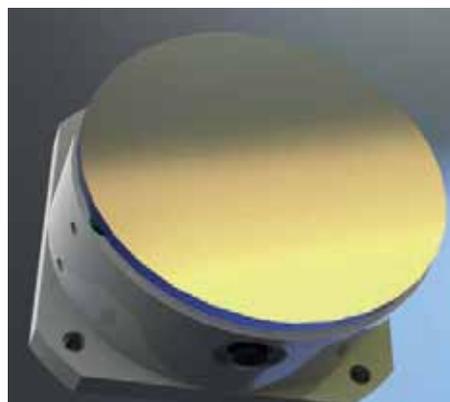
By successive emission of laser pulses and receipt of reflected pulses, the TV lidar system gets the series of range signals and measures the range to each object, which has reflected the beam. Further, processor unit processes the signal and creates synthetic image of the objects which have reflected laser beams.

TV camera images the surrounding space (monochrome image is preferred). It is desirable that the camera field of view falls together with scan space.

Electronic processor overlays the synthetic image on the image from TV camera. Resulted video is sent into avionics system which processes

Последовательно излучая лазерные импульсы и принимая ответные импульсы, отраженные от тел окружающей среды, ЛЛТС получает ряд сигналов по дальности до каждого "объекта", отразившего лазерный луч. Далее блок электронной обработки всех принятых сигналов формирует синтезированное изображение объектов, отразивших лазерный луч. Телевизионная камера с полем зрения (желательно совпадающим с полем сканирования) формирует изображение окружающего пространства (лучше черно-белое). В блоке электронной обработки синтезированное изображение с информацией об объектах и дальности до них "накладывается" на видеоизображение от телевизионной камеры. Полученное видеоизображение поступает и обрабатывается в устройствах КБО и отображается на многофункциональных индикаторах в кабине вертолета.

Планируется ввести цветовую окраску синтезированного изображения препятствий на индикаторе, например, наиболее близко расположенных "объектов" (т.е. наиболее опасных) – в красный цвет, а не представляющих опасность (расположенных дальше) – в зеленый. Такая визуализация опасности приближения к препятствиям повысит безопасность круглосуточного и всепогодного выполнения



**Рис. 4.** Внешний вид дефлектора ЛЛТС

*Fig. 4. TV-lidar system deflector*

the image and outputs it into the cockpit multifunctional displays.

If the obstacles which are the closest to the helicopter (i.e. the most dangerous) are coloured red, and more distant obstacles (less dangerous) are coloured green, the crew will have visual information about close dangerous obstacles, and, consequently, the safety of flight at any time of

полетов вертолета на малой высоте в ночных условиях и в условиях ограниченной видимости (дождь, снег, туман).

### ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ЛОКАЦИОННОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Основная проблема при создании лазерно-локационных систем – противоречие между требованием использовать большую апертуру в двухкоординатном сканирующем узле в приемном канале и требованием обеспечить большую скорость развертки (более двух кадров в секунду). Именно выбор метода сканирования пространства будет определять практические возможности используемых лидаров [7, 8].

При использовании классической схемы лидара с ортогональной разверткой по строке и кадру при разрешении 50–100 пикселей и угле сканирования 30° частота строчной развертки должна быть не менее 120 Гц при 2 кадра в секунду и 600 Гц при 10 кадрах в секунду, что превышает возможности современных оптико-механических сканеров. Кроме этого, строчное сканирование возможно только по гармоническому закону, что приводит к торможению дефлектора сканера на концах строки, и значительно ограничивает энергетический КПД системы ввиду неэффективного распределения энергии лазерного излучения в сканируемом пространстве.

В описанной выше системе HELLAS-W для реализации высокой частоты строчной развертки используется оптический клин с отражающей поверхностью. Аналогичный клин расположен на противоположном конце ротора. Развертка при формировании траектории сканирования происходит по окружности (гладкой кривой). Преобразование окружности в линию происходит посредством пространственной ориентации шлейфа световодов. Свертка линейного сканирования в точку фотоприема осуществляется аналогичным по структуре каналом. Реализованный метод позволяет за счет большой частоты вращения двигателя (около 6000 оборотов в минуту) обеспечить частоту кадровой развертки 2 кадра в секунду при разрешении строки и кадра около 50 пикселей. Недостаток такого решения – большие энергетические потери информационного светового потока, связанные с ограниченной площадью единичного световода, а также сложностью конструкции оптико-механического блока сканирования.

В ЛЛТС система сканирования построена на принципе сканирования изображения по гладким кривым. Это дает энергетические преимущества и позволяет обеспечить приемлемое быстродействие.



**Рис.5.** Синтезированное изображение от лазерной локационной телевизионной системы

**Fig.5.** Synthetic image from TV lidar system

day in any weather conditions at low altitude in low light and poor visibility conditions (rain, snow, mist etc.) will be improved.

### TV LIDAR SYSTEM DISTINCTIVE CHARACTERISTICS

The choice of sweeping method is one of crucial operational capabilities of lidar system, and it is the main problem of laser location system development.

The problem is the controversy between requirements to the large aperture of 2D scanning assembly in the receiving channel and the need of high speed of scanning (no less than 2 frames per second).

Using classical scheme of lidar with orthogonal line-by-line sweeping and frame sweeping with resolution 50-100 pixels and scanning angle 30°, the frequency of line scanning must be more than 120 Hz at 2 frames per second, and 600 Hz at 10 frames per second. Such characteristics exceed the capabilities of modern optomechanical scanners.

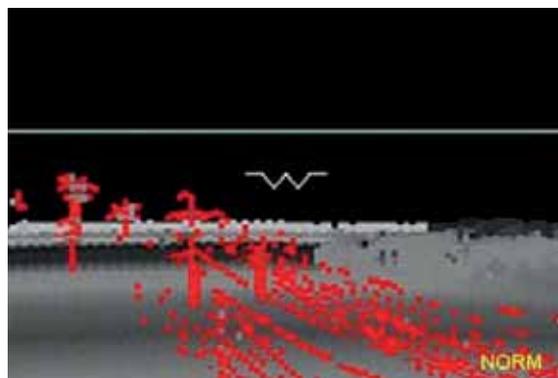
Besides, line scanning is possible only by harmonic law. It leads to deceleration of scanner deflector at both ends of line and substantially limits energy efficiency factor because of inefficient distribution of laser energy in the scanned space.

The described above HELLAS-W uses optical wedge with reflecting surface to ensure high speed of line scanning. Similar wedge is on the opposite end of rotor. The system creates circular pattern for scanning (smooth curve). Conversion of circle into line is performed by change of lightguide spatial

Сканирование производится методом смещенных траекторий по гладкой прогрессирующей и, во втором цикле, регрессирующей двумерной кривой, в качестве которой может быть выбрана кривая Архимеда. Реализация этого метода обеспечивает сканирование поля  $128 \times 128$  точек в одном цикле. Такой подход позволяет использовать всю ширину амплитудно-частотной характеристики системы сканирования и обеспечивать развертку лазерного луча совместно с входным зрачком объектива фотоприемника в угле поля зрения  $30 \times 30^\circ$  за время, не превышающее 200 мс. Соответственно, частота обновления информации о препятствиях получается не менее 5 Гц, в отличие от системы HELLAS-W, имеющую частоту обновления информации 2 Гц.

Специально разработанная конструкция магнитопроводов с катушками и датчиком углового положения, обеспечивающим замкнутую систему управления дефлектором (рис.4), определяет выбор необходимой полосы рабочих частот дефлектора (400–500 Гц) при малых амплитудах сканирования.

Применение рассмотренной системы сканирования позволит создать электронно-оптический блок ЛЛТС с уменьшенными по сравнению с зарубежными аналогами массогабаритными параметрами при лучшей ее функциональности. Кроме того,



**Рис.6.** Синтезированное изображение от лазерной локационной тепловизионной системы

*Fig. 6. Synthetic image from TV lidar system*

orientation. Folding of line scanning into the point of light receipt is performed by the channel with similar structure. Such method enables to ensure vertical frequency 2 frames per second with line and frame resolution about 50 pixels by means of high engine speed (about 6000 RPM).

The disadvantage of this solution is heavy loss of information-carrying light energy. The reasons of



благодаря небольшой высоте ЛЛТС можно размещать на внешней подвеске вертолета или "встраивать" в фюзеляж вертолета, в отличие от более габаритных систем HELLAS-W и LOAM, которые могут располагаться только на внешней подвеске вертолета.

Важно отметить тот факт, что синтезированное изображение, полученное от лазерного локатора, малоинформативно, и достаточно трудно идентифицирует окружающую обстановку. Поэтому ЛЛТС параллельно с лазерным "сканированным" изображением применяется общефоновое изображение сцены наблюдения от телевизионной или тепловизионной камеры с полем зрения, равным полю "просмотра" лазерной системы. В этом случае синтезированное изображение, полученное от лазерного локатора, накладывается на изображение от телевизионной или тепловизионной камеры, что позволяет летчику ориентироваться в пространстве и одновременно видеть на изображении окружающего пространства препятствия, представляющие опасность для вертолета.

Примеры видеосюжетов (рис.5, 6) отображают на индикаторе наложенные изображения закабинного пространства от телевизионной или тепловизионной камеры и синтезированные изображения от лазерной локационной системы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внедрение в обзорно-пилотажный контур КБО вертолетов лазерных теле(тепло)визионных систем обеспечит ему широкие функциональные возможности. Во-первых, обзор закабинного пространства передней полусферы по направлению полета вертолета. Во-вторых, обнаружение и визуализацию препятствий (провода и опоры линий электропередач, дымовых труб, мачт и других высоких объектов) по направлению полета вертолета в условиях слабой видимости. В-третьих, формирование видеоизображения закабинного пространства передней полусферы по направлению полета вертолета и выдачу его в систему отображения информации (на МФИ в кабине вертолета). И, в-четвертых, формирование сигнала о наличии препятствий и дальности до них с возможностью его дальнейшего наложения на видеоизображение, получаемое от телевизионной (тепловизионной) камеры.

Включение ЛЛТС в состав комплекса бортового оборудования (КБО) вертолетов в гражданской и государственной авиации существенно повысит возможности безопасного пилотирования вертолетов на малых высотах и в условиях плохой видимости. Система заблаговременно предупредит экипаж о возможности столкновения с препятствиями на пути их полета.

energy loss are the limited area of single lightguide and complex structure of optomechanical scanning unit.

Scanning system of Russian TV lidar system is built on the basis of image scanning along smooth curves. Such approach is the reason of energy benefits and acceptable operation speed. Scanning is carried out by method of offset path along smooth progress and (in the second cycle) regress 2D curve. Archimedes curve can be chosen as such curve. This method provides scanning area of 128×128 points per cycle. The approach allows to use all width of scanning system frequency-gain characteristic and provide the sweeping of space with laser beam together with photodetector lens entrance pupil in FOV angle 30°×30°, spending less than 200 ms. So the obstacle information refreshment rate is more than 5 Hz, opposed to HELLAS-W with the refreshment rate of 2 Hz.

Special structure of magnetic conductor with coils and angular position sensor was developed to provide the frequency band of 400-500 Hz, which is necessary for deflector operation at low sweeping amplitude. Angular position sensor makes possible the use of self-contained deflector control system (figure 4).

Mass and dimension parameters of TV lidar optoelectronic system, developed with scanning system described above, are lower than those of foreign lidar systems, while the functionality of Russian system is better. In addition, low height dimension of the system makes possible to place it on sling or integrate into helicopter fuselage, unlike HELLAS-W and LOAM, which are bigger and can be placed on sling only.

It is important that synthetic image from lidar system gives little information and it is hard to identify the image with external environment. Therefore TV lidar system outputs background image of the scene under observation from TV or thermal imaging camera simultaneously with the image from laser scanning system. Fields of view of TV or thermal imaging camera and from laser scanning system are equal. In this case synthetic image from laser locator is overlaid on the image from TV camera or thermal imager. It helps the pilot to orientate the aircraft and at the same time to see all the obstacles which are dangerous for the helicopter flight.

Examples of video displayed in the cockpit are given on figures 5 and 6. The pictures show the external environment and are the images from



## ЛИТЕРАТУРА

1. **Карасик В.Е.** Лазерные системы видения: Учеб. пособие / Под ред. Карасика В.Е., Орлова В.М. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.
2. **Козинцев В.И., Белов В.М., Орлов В.М.** Основы импульсной лазерной локации: Учеб. пособие/Под ред. Рождествина В.Н. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006.
3. **Якушенко Ю.Г.** Современное состояние и тенденции развития оптико-электронных систем с матричными приемниками излучения. – Изв. ВУЗов. Сер. Приборостроение, 2005.
4. **Тарасов В.В., Якушенко Ю.Г.** Многоспектральные оптико-электронные системы. – Спец. Техника, 2002.
5. Техническое описание системы HELLAS-W. Материал фирмы EADS (Германия), 2010.
6. Техническое описание системы LOAM. – Материал фирмы SELEX Communications S.p.A (Италия), 2008.
7. **Richard M. Marino, William Davis, Jigsaw Jr., Foliage A.** – Penetrating 3D Imaging Laser Radar System. – Lincoln Laboratory Journal, 2005, v. 15, Number 1.
8. **Albert V. Jelalian** Laser Radar Systems. – Artech House, Boston-London, 1992, p. 292.

TV camera and thermal imager with overlaid synthetic image from TV lidar system.

## CONCLUSIONS

Thus, integration of TV/thermal imaging lidar systems into avionics system will guarantee:

- Viewing of external environment in the front hemisphere on helicopter course;
- Detection and visualization of obstacles (power line wires, transmission towers, chimneys, masts and other high objects) on helicopter course in poor visibility;
- Video imaging of external environment in the front hemisphere on helicopter course, and image transfer to the display system (output on multifunctional displays in the cockpit);
- Shaping of the information signal about obstacles and obstacle range with further overlay of the signal on the video from TV camera/thermal imager.

Integration of lidar TV system into civil and special helicopter avionics system will substantially improve flight safety at low altitude and in poor visibility, and prevent possible collisions with obstacles on helicopter course. ■