



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАКАЧКОЙ В КУРСОГЛИССАДНОЙ СИСТЕМЕ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

И.Олихов, к.т.н., ОАО НИИ "Платан";
А.Гольченко, ЗАО НПП "Гамма"

Требования к современному навигационному оборудованию систем посадки аппаратов очень высоки: оно должно быть надежным, эффективно обеспечивать заход на посадку воздушного судна (ВС) в любое время суток, в том числе в экстремальных метеоусловиях и, что немаловажно, не причинять вреда здоровью пилоту [1]. Разработчикам новой лазерной трехцветной навигационной системы удалось совместить в ней все эти достоинства благодаря использованию нового поколения лазеров с электронной накачкой — лазерных ЭЛТ.

Все пилоты с первого дня своей летной подготовки начинают сознательно и подсознательно усваивать, что существует визуальное ощущение, связанное со зрительным восприятием взлетно-посадочной полосы (ВПП). Фактически все посадки выполняются по визуальным ориентирам независимо от того, был ли начальный этап захода на посадку установлен по правилам визуального полета в яркий солнечный день или же завершение полета происходило по правилам полетов по приборам. В конце концов, пилот оценивает зрительное восприятие и сажает самолет визуально.

Чем раньше наступает визуальный контакт с огнями подхода и с ВПП, тем большим временем пилот располагает для устранения погрешностей захода на посадку. Это особенно важно для скоростных и тяжелых воздушных судов, отличающихся высокими скоростями подхода к началу выравнивания и высокой инертностью. Это наиболее ответственный этап в эмоционально-психологическом состоянии пилота.

Наиболее эффективным путем решения задачи повышения безопасности заключительного этапа

ELECTRON-BEAM-PUMPED SEMICONDUCTOR LASER EMITTERS IN GLIDESLOPE AIRCRAFT LANDING SYSTEM

I.Olikhov, Cand. Sc. (Eng.), A.Golchenko

Demands for the modern navigation equipment of aircraft landing systems are very high; equipment must be reliable, it has to ensure the efficient land approach of aircraft at any time of the day or night including severe weather conditions and, not least, not to harm the pilots' health (1). Developers of new laser three-color navigation system managed to combine all these advantages due to the usage of the quantum electronics devices of new generation: electron-pumped semiconductor lasers – laser cathode-ray tubes (CRT).

From the first day of flying training all pilots consciously and subconsciously start learning that there is a visual sensation connected with the visual perception of landing strip (LS).

Actually, all landings are accomplished using the visual cues regardless of whether the initial stage of land approach was set according to the visual flight rules on bright sunny day or the end of the flight was accomplished according to the instrument flight rules. Eventually, the pilot views the landmarks of LS, evaluates the location of aircraft and tendencies of its change towards the designated flight path and accomplishes the airplane landing.

The earlier the visual contact with the approach light and LS occurs the more time pilot has for the removal of land approach errors. It is especially important for high-speed and heavy aircrafts which differ with high speeds of approach to the beginning of flare and high inertness. This is the most responsible stage of emotional and psychological state of pilot.

The most efficient way of solving the task of aircraft landing safety improving, enhancement of capability of the airplane operation in the day and night time including the conditions of poor visibility and radio-electronic jamming is to construct the visual optical systems on the basis of implementation of modern laser and radio-engineering technologies on the latest element base of home manufacture.



любого полета, независимо от класса и принадлежности ЛА, расширения возможности летной эксплуатации самолетов днем и ночью, в том числе в условиях плохой видимости и радиоэлектронных помех, является применение визуальных лазерных курсоглиссадных систем посадки разработанных на основе современных лазерно-радиотехнических технологий на новейшей элементной базе отечественного производства.

Интерес к лазерным источникам света у разработчиков визуальных оптических систем посадки связан с давно назревшей необходимостью замены накаливаемых источников света высокой интенсивности, обладающих, при необходимой яркости, очень малым сроком службы (не более 500 часов) и крайне низким КПД (около 5%). Основными свойствами лазерного излучения, определяющими предпочтительность его использования в средствах визуальной навигации в сравнении с излучением традиционных источников света высокой интенсивности с цветовыми фильтрами, являются высокая спектральная яркость, малая угловая расходимость пучка излучения и повышенная проникающая способность в условиях плохой видимости (туман, дождь, снегопад, плотная дымка).

Прямое лазерное излучение превышает метеорологическую дальность видимости (МДВ) более чем в 3-4 раза, а дальность обнаружения огней высокой интенсивности систем посадки, применяемых в современных аэропортах, не менее чем в 2 раза. Существенно выше у них и КПД, поскольку они не нуждаются в цветочных узкополосных фильтрах.

ВИЗУАЛЬНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ КУРСОГЛИССАДНЫЕ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В настоящее время известны несколько типов отечественных визуальных лазерных курсоглиссадных систем посадки, которые условно можно разделить по принципу использования лазерного излучения - на системы визуализации с использованием рассеянного лазерного излучения и системы, основанные на видении прямого лазерного излучения [2].

К системам посадки первого типа относятся лазерные визуальные курсоглиссадные системы, в которых используется эффект рассеяния узконаправленных лазерных лучей в атмосфере на молекулах газов, аэрозольных частицах, на неоднородностях, вызванных турбулентным движением воздуха, за счет которого лазерные лучи выделяются на фоне окружающего воздушного пространства в виде вытянутых прямолинейных жгутов [3].

Интерес в лазерных источниках света разработчиков визуальных оптических систем посадки связан с давно назревшей необходимостью замены накаливаемых источников света высокой интенсивности, обладающих, при необходимой яркости, очень малым сроком службы (не более 500 часов) и крайне низким КПД (около 5%). Основными свойствами лазерного излучения, определяющими предпочтительность его использования в средствах визуальной навигации в сравнении с излучением традиционных источников света высокой интенсивности с цветовыми фильтрами, являются высокая спектральная яркость, малая угловая расходимость пучка излучения и повышенная проникающая способность в условиях плохой видимости (туман, дождь, снегопад, плотная дымка).

Интерес в лазерных источниках света разработчиков визуальных оптических систем посадки связан с давно назревшей необходимостью замены накаливаемых источников света высокой интенсивности, обладающих, при необходимой яркости, очень малым сроком службы (не более 500 часов) и крайне низким КПД (около 5%). Основными свойствами лазерного излучения, определяющими предпочтительность его использования в средствах визуальной навигации в сравнении с излучением традиционных источников света высокой интенсивности с цветовыми фильтрами, являются высокая спектральная яркость, малая угловая расходимость пучка излучения и повышенная проникающая способность в условиях плохой видимости (туман, дождь, снегопад, плотная дымка).

Интерес в лазерных источниках света разработчиков визуальных оптических систем посадки связан с давно назревшей необходимостью замены накаливаемых источников света высокой интенсивности, обладающих, при необходимой яркости, очень малым сроком службы (не более 500 часов) и крайне низким КПД (около 5%). Основными свойствами лазерного излучения, определяющими предпочтительность его использования в средствах визуальной навигации в сравнении с излучением традиционных источников света высокой интенсивности с цветовыми фильтрами, являются высокая спектральная яркость, малая угловая расходимость пучка излучения и повышенная проникающая способность в условиях плохой видимости (туман, дождь, снегопад, плотная дымка).

VISUAL LASER GLIDESLOPE AIRCRAFT LANDING SYSTEMS

Currently several types of domestic visual laser aircraft landing systems are known; according to the concept of usage of the laser radiation they can be conventionally divided into the visualization systems using the scattered laser radiation and systems based on the vision of direct laser radiation (2).

The first type of landing systems is the visual laser glideslope landing system which uses the effect of scattering of the narrow-band laser beams in the atmosphere on gas molecules, aerosol particles, inhomogeneities caused by the turbulent air motion at the expense of which the pilot of approaching aircraft sees laser beams in the form of prolonged rectilinear bundles which stand out against the background of surrounding air space (3). The visual spatial pattern which consists of three luminous strips - two strips forming the plane of "perfect" glideslope descent of aircraft and the third strip indicating the direction of approach course - is formed in the pilot's field of view (Fig. 1) (4, 5).

Strips observed by the aircraft crew are formed as a result of the scattering of laser beams in the atmosphere which are directed from LS and equally inclined to the LS plane at angle selected for the given airport. Herewith, glideslope beams have the same angle of "flare" from the LS axial line. Aircraft piloting comes to the obtaining of visual picture of beams in the form of letter "T" and the aircraft flight path will

Это позволяет пилоту, осуществляющему заход на посадку, видеть пространственную картину из трех светящихся лучей (рис.1): двух лучей, образующих плоскость "идеальной" глиссады снижения ЛА и третьего луча, указывающего направление посадочного курса (створа ВПП) [4, 5].

В вертикальной плоскости оптические лучи одинаково наклонены к плоскости ВПП под заданным для данного аэропорта углом. При этом глиссадные лучи в горизонтальной проекции имеют одинаковый угол "развала" от осевой линии ВПП. Пилотирование ВС с использованием такой системы сводится к выдерживанию визуальной картинке лучей в форме буквы "Т", при этом траектория полета ВС будет близка к идеальной траектории посадки на взлетно-посадочную полосу аэродрома.

В зависимости от квалификации пилота, выполняющего заход на посадку, ВС может находиться над заданной глиссадой или под ней, или же слева или справа от линии полета по курсу, или может быть сочетание положение ВС (рис.2). Экипаж, выполняя заход на посадку, "визуально", контролирует заданные визуальной курсоглиссадной системой посадки (ВЛКГСП) параметры посадочной глиссады, при этом от момента принятия решения о посадке и до момента касания полосы выполнение посадки должно осуществляется без захода в лазерные лучи ВЛКГСП.

К недостаткам лазерной системы такого типа относится невозможность ее использования днем, особенно при солнечной погоде на фоне ярко освещенной поверхности земли (из-за потери контрастности), а также в сложных метеорологических условиях (СМУ) – в облаках и в ливневых осадках (лазерное излучение значительно ослабляется при попадании в водянистую среду). Другим существенным недостатком является сама концепция построения системы, основанная на 3-точечной, разнесенной схеме размещения источников лазерного излучения. В процессе выполнения захода на посадку по такой системе после выхода под нижний край облачности на предпосадочном снижении при больших углах атаки ВС, в сочетании с пологой глиссадой (наклон $2^{\circ}40'$) и конструктивными особенностями носовой части самолета, курсовой и правый глиссадный излучатели оказываются вне поля зрения пилота. И фактически они не могут повлиять на процесс захода на посадку и посадку в сложных метеоусловиях при установленном минимуме погоды не оказывают.

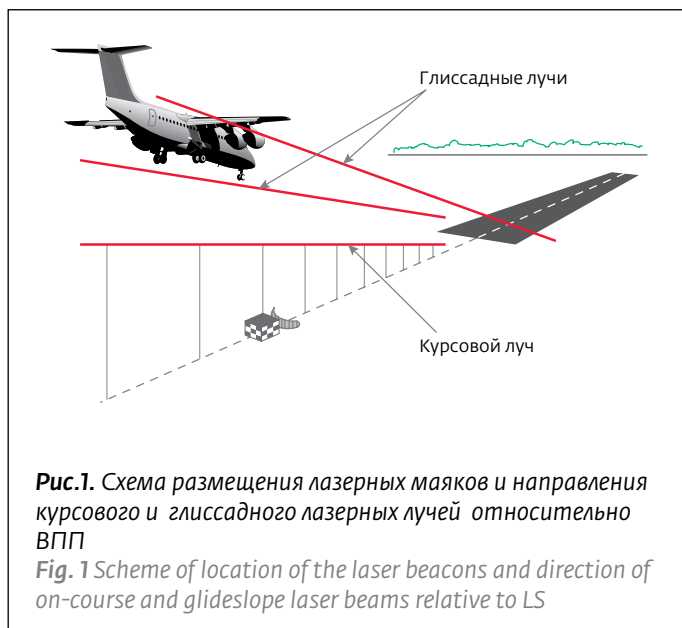


Рис.1. Схема размещения лазерных маяков и направления курсового и глиссадного лазерных лучей относительно ВПП

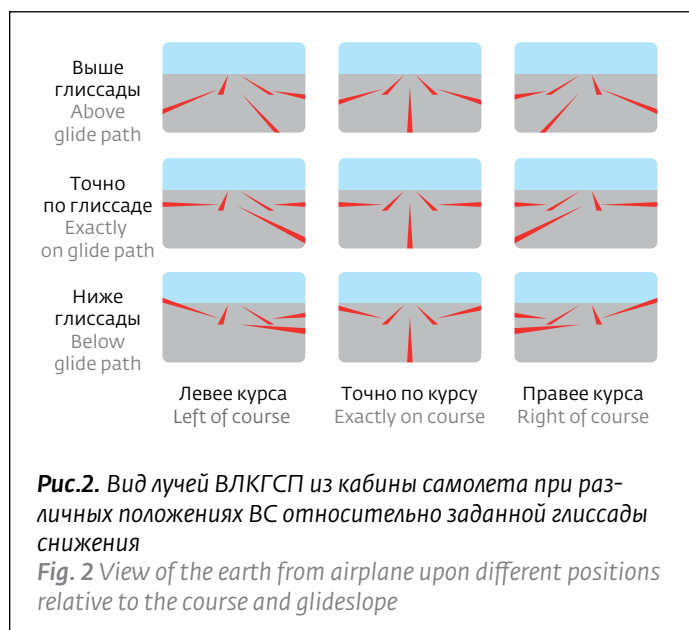
Fig. 1 Scheme of location of the laser beacons and direction of on-course and glideslope laser beams relative to LS

be close to the perfect landing path on the airdrome landing strip.

Depending on the professional skills of pilot and landing path the pilot observes various visual displays of his position relative to the flight indication on course on the glide path. When the position of airplane changes the indication changes too. Pilot can be above the glide path or below it, from the left or right side from the flight line on course or there can be their combination (Fig. 2).

When approaching land the flight crew "visually" controls the parameters of approach glide path designated by the visual course glideslope landing system (VCGLS); landing should be accomplished without approaching the laser beams of VCGLS from the moment of making decision of landing to the moment of contacting with the strip.

The impossibility to use this type of laser system when approaching land in the day time is the shortcoming especially in sunny weather against the background of luminous ground surface (because of loss of contrast) and under instrument meteorological conditions (IMC) in clouds and storm rainfalls (laser radiation considerably dampens when getting to the watery environment). Other significant shortcoming of this type of laser landing systems is the concept of system structure based on three-point scattered scheme of location of laser radiation sources. During the process of land approaching according to such system after flying below the lower edge of cloudiness when approaching LS on high incidence angles in combination with the flat glide path (incidence $2^{\circ}40'$) and structural peculiarities of airplane fore-body, the



Вероятность кратковременного ослепления пилота при выходе под облака и случайном попадании в лазерный луч, в условиях минимума погоды возрастает, поскольку лазерный коридор в такой системе по мере приближения к порогу ВПП сужается, а интенсивность лазерного

on-course and right glideslope emitters turn out to be out of the pilot's field of view and do not influence on the process of land approaching and landing under instrument meteorological conditions upon established weather minimum.

Probability of short-term pilot blindness grows when flying below clouds and upon accidental getting to the laser beam under conditions of weather minimum because the laser tunnel in such system becomes narrower when approaching the LS threshold and the laser radiation intensity increases (and this is not laser pointer!). Under the extreme conditions of weather minimum, close to the ground it is inadmissible according to the flight security provisions.

According to the functional concept the visual VCGLS of such type provide with the approaching and calculation of landing only at night time (starting from the second half of twilight) under the visual and instrument meteorological conditions to meteorological minimum 300x3000m when it is applied in combination with the airdrome radio landing aids. Usage of such version of the system is impossible under any meteorological conditions in the day time.

Such type of the laser system is merely information system and it does not ensure the conjugation with

излучения растёт (а это не лазерная указка!). В экстремальных условиях минимума погоды, вблизи земли это недопустимо по условиям обеспечения безопасности полета.

По своему принципу действия визуальные ВЛКГСП такого типа обеспечивают заход и расчет на посадку только ночью (начиная со второй половины сумерек) в простых и сложных метеоусловиях до метеоминимума 300×3000 м при ее применении в комплексе с аэродромными посадочными радиотехническими средствами. А днем использование системы в данном исполнении не представляется возможным.

Лазерная система такого типа является чисто информационной системой и не обеспечивает сопряжение с бортовой системой управления воздушного судна. Автоматизация захода на посадку, а также контроль с земли за заходящим на посадку воздушным судном с помощью такой системы невозможны.

Лазерная система второго типа продолжает концепцию применения посадочных систем прямого видения с огнями высокой интенсивности, с различными секторами, создаваемыми цветовыми узкополосными фильтрами, проверенную годами успешной эксплуатации в России и за рубежом (PAPI, T VASI и AT VASI). Она лишена недостатков, свойственных системам на эффекте рассеяния. Отличительной особенностью лазерной системы является прямое видение излучения секторов лазерного источника света, размещенных в фокальной плоскости объектива [6]. При этом осуществляется перенос изображения светящейся поверхности источника света в бесконечность (рис.3).

Пилот, выполняя заход на посадку, удерживает самолет (вертолет) в цветовом секторе, который соответствует положению на глиссаде. Отклонение от глиссады приводит к уходу воздушного судна в другой цветовой сектор. Контроль места воздушного судна в заданном секторе может производиться и за счет применения проблескового режима с различной частотой мигания, достаточной для ее распознавания (рис.4).

Такая система практически заменяет используемые в настоящее время светосигнальные системы на лампах высокой интенсивности с цветными фильтрами. На аэродромах постоянного базирования лазерная система посадки может применяться в качестве светотехнического оборудования для посадки и взлета ВС в простых и сложных метеорологических условиях, при

the aircraft flying control system. Automation of land approach and control of the approaching aircraft from the ground is impossible when using such system.

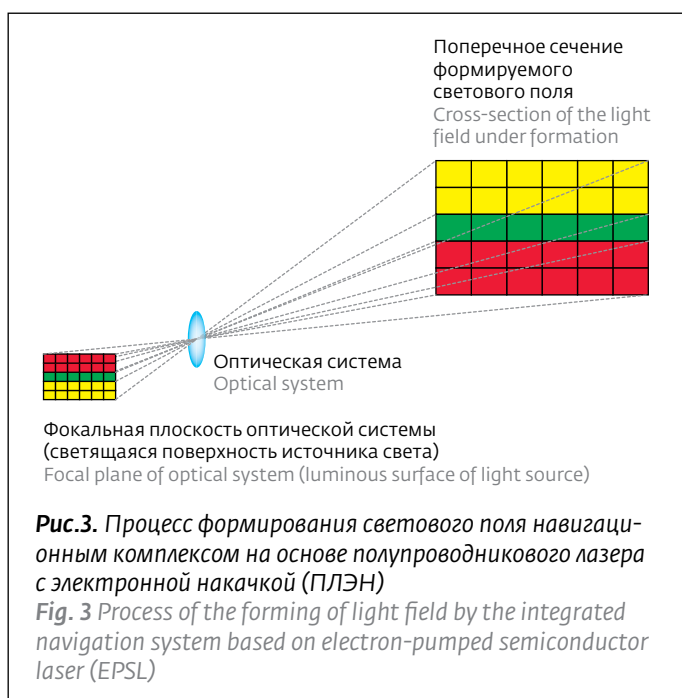
The second type of laser system continues the concept of application of direct vision landing systems with the high-intensity lights and different sectors generated by the color narrow-band filters; this laser system has proved to be reliable during many years of successful operation in Russia and abroad (PAPI, T VASI and AT VASI). It does not have any shortcomings which are attributable to the systems based on scattering effect.

Distinctive characteristic of the laser system is the direct vision of radiation of the laser light source sectors which are located in the objective focal plane (6). At the same time the transfer of image of light source luminous surface to the infinity is accomplished (Fig. 3).

When accomplishing the land approach pilot keeps the airplane (helicopter) in the color sector which corresponds to the position on glide path. Deviation from the glide path leads to the shift of aircraft to the different color sector. Control of the aircraft position in given sector can be performed at the expense of application of the flashing mode with various blinking frequency which is sufficient for its recognition (Fig. 4).

Such system practically replaces the runway lighting systems based on high-intensity lamps with color filters which are currently used.

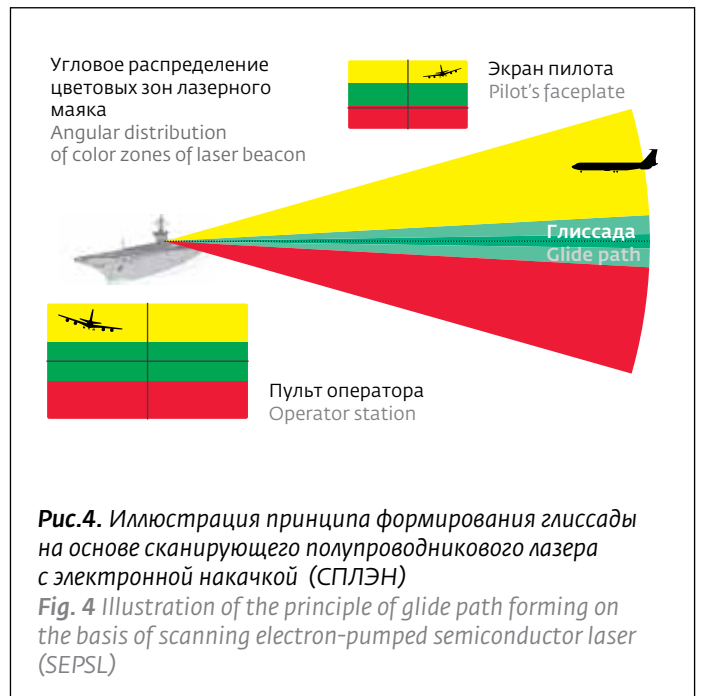
Figure 4 Illustration of the principle of glide path forming on the basis of scanning electron-pumped semiconductor laser (SEPSL)



минимуме погоды по II и III категориям* ИКАО днем и ночью.

Варианты размещения лазерных излучателей (рис.5), формирования цветных зон (рис.6) могут меняться, в зависимости от условий применения (типа ВС, класса аэродрома, характера местности и т.д.). Наиболее оптимальный состав системы и схема установки лазерных маяков в районе ВПП отрабатывается в процессе проведения летных испытаний лазерной системы. На рис.7 продемонстрированы виды, наблюдаемые из кабины самолета и на экране руководителя полетов аэродрома, оборудованного мобильным вариантом курсоглиссадной

* Категория III C – заход по схеме точного захода на посадку и посадка по приборам без ограничений по высоте принятия решения и дальности видимости на ВПП. Это есть посадка ВС при "нулевой" видимости на ВПП по вертикали и горизонтали. Для выполнения такой посадки ВС, экипаж и аэродром должны иметь допуск к этой категории. Такие посадки производят только в автоматическом режиме. Категории бывают I (первая) 60 м (относительная высота, на которой пилот установил необходимый визуальный контакт с наземными ориентирами ВПП) × 550 м (дальность видимости на ВПП), II (вторая) 30×300 м, III A (третья А) 15×175 м, III B (третья В) 0×50 м, III C (третья С) 0×0 м).



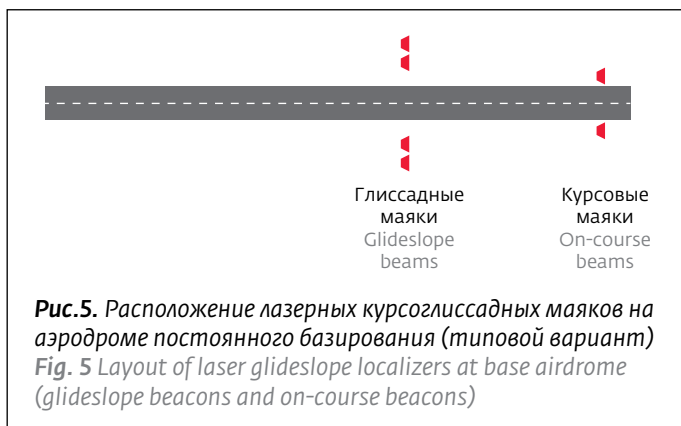
At base airdromes the laser landing system can be applied as the aircraft landing and takeoff lighting equipment under instrument meteorological conditions upon the weather minimum according to

системы, при различных положениях самолета относительно установленной на глиссады.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАКАЧКОЙ (ПЛЭН)

Основным элементом лазерной системы посадки прямого видения являются полупроводниковые лазеры с электронной накачкой (ПЛЭН), представляющие собой гибриды электронно-оптических систем и полупроводниковых лазерных мишеней. Работа таких источников излучения основана на эффекте преобразования полупроводниковым оптическим резонатором энергии модулированных или сканирующих электронных пучков накачки в модулированное или сканирующее когерентное излучение (рис.8).

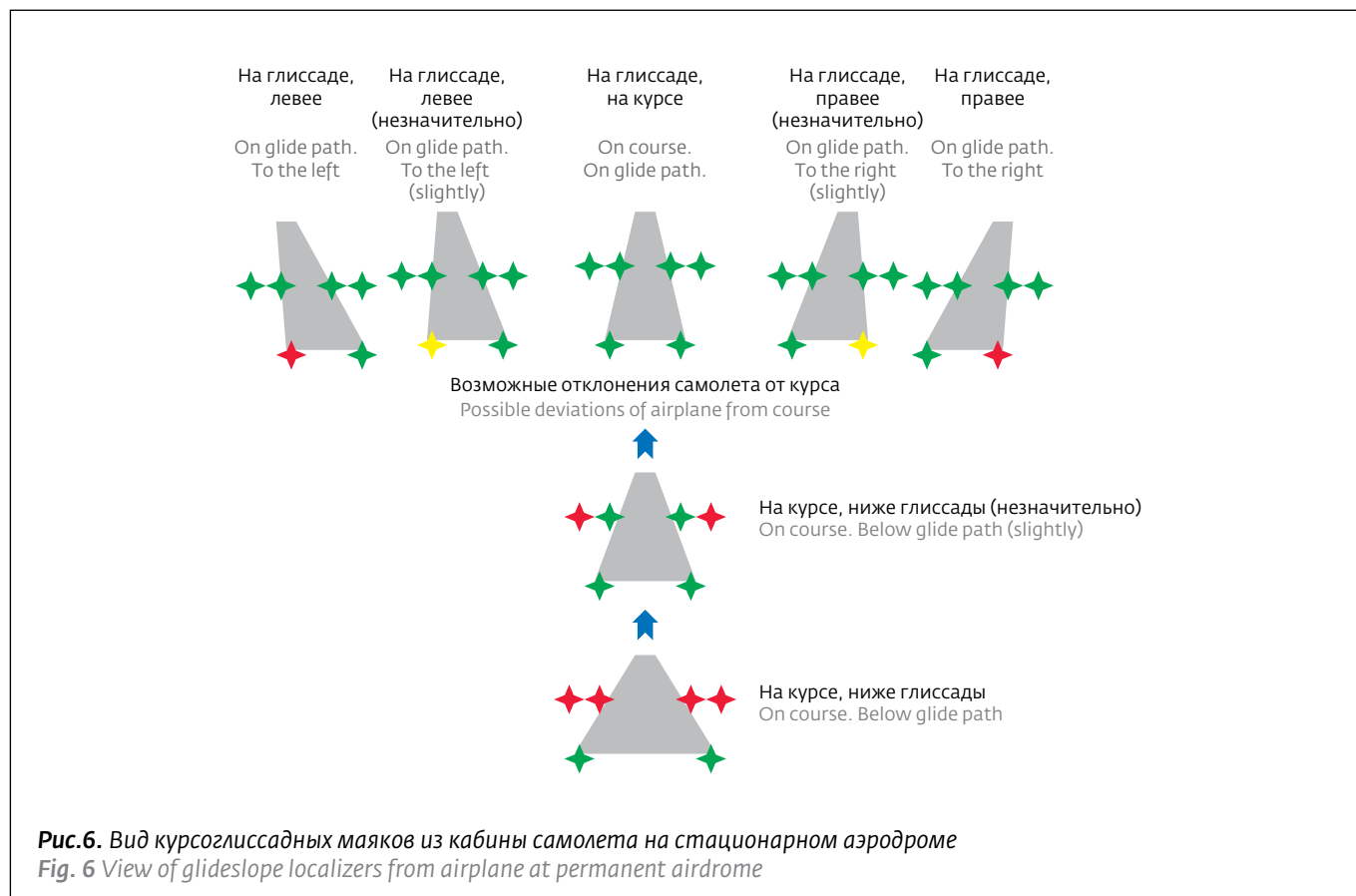
Работы по созданию полупроводниковых лазеров с электронно-лучевой накачкой ведутся в мире уже не одно десятилетие [7, 8]. Но идея создания такого лазера, как и разработка его промышленной технологии [9, 10], были впервые реализованы в России. Уникальные возможности ПЛЭН определяются характеристиками излучения, которые, в свою очередь, зависят как от характеристик



the 2nd and 3rd ICAO categories (International Civil Aviation Organization).

Variants of the laser emitters arrangement (Fig. 5), color zones forming (Fig. 6) can change depending on the application conditions (aircraft type, airdrome class, lie of the land etc.). The most optimal structure of the system and diagram of laser beacons installation in LS area is worked out during the process of flight tests of the laser system.

View from the airplane cabin and view on the faceplate of airdrome controller equipped with the



полупроводниковых монокристаллов – преобразователей энергии электронного потока в оптическое излучение, так и от технико-технологических возможностей формирования и модуляции электронных потоков и изготовления полупроводниковых оптических резонаторов.

Основным элементом полупроводникового лазера, определяющего уникальные технические характеристики излучения, является полупроводниковый оптический резонатор, который выполняет функцию преобразователя энергии электронного пучка в энергию возбуждения атомов и функцию среды, в которой происходит распространение и усиление излучения (рис.9).

В подобных приборах при энергии возбуждающих электронов, превышающей потенциал ионизации атомов кристаллической решетки полупроводникового материала (активной среды лазера), возникает лавинообразное размножение электронов. При переходе частиц из возбужденного состояния на нижние энергетические уровни (уровни рекомбинации) происходит последующее испускание кванта света, энергия которого примерно равна ширине запрещенной зоны полупроводникового материала. В результате отражения испускаемого света от зеркал резонатора возникает положительная обратная связь и создаются условия для генерирования когерентного излучения при достижении пороговой мощности. В этом случае суммарные потери как электронного пучка в процессе его термализации, так и оптического излучения в резонаторе, компенсируются усилением, связанным с индуцированными переходами.

Для развития этого процесса необходима энергия электронного пучка, равная по меньшей мере утроенной ширине запрещенной зоны полупроводникового материала. С увеличением энергии электронов выходная мощность излучения растет и выходит на насыщение с началом образования радиационных дефектов. Таким образом, чтобы обеспечить долговечность полупроводникового кристалла, энергия электронного потока не должна превышать энергию образования радиационных дефектов. Мощность излучения при заданной энергии пучка можно повысить, увеличивая плотность тока накачки и уменьшая ее пороговый уровень. Это достигается путем снижения рабочей температуры полупроводника и оптимизации его характеристик. Возможны два режима работы, при которых нагрев кристалла не превышает допустимого в нем уровня тепловых потерь, определяющих предельную энергию накачки:

mobile version of glideslope system in various airplane positions on glide path and on course are demonstrated in Figure 7.

ELECTRON-BEAM-PUMPED SEMICONDUCTOR LASERS (EPSL)

The main elements of direct vision laser landing system are the electron-pumped semiconductor lasers (EPSL) which represent the hybrids of electron optical systems and semiconductor laser targets.

Operation of such radiation sources is based on the transformation effect of the energy of

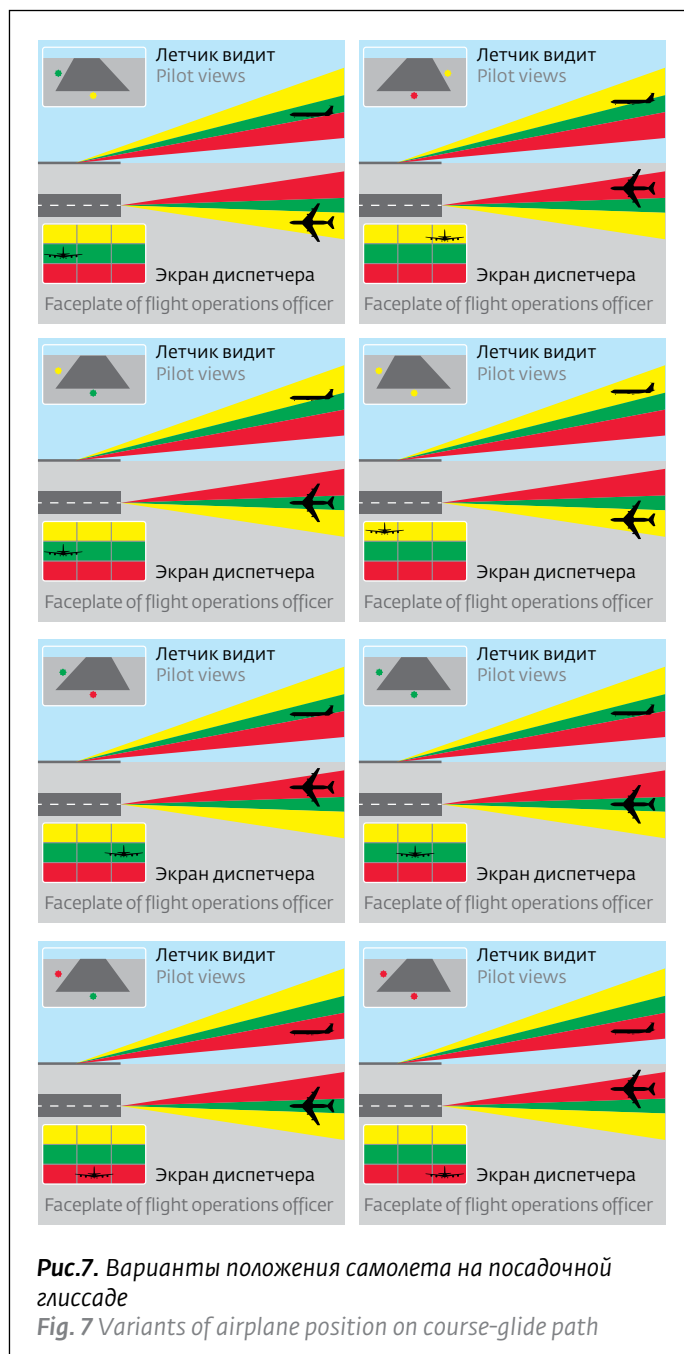


Рис.7. Варианты положения самолета на посадочной глиссаде
Fig. 7 Variants of airplane position on course-glide path



Характеристики излучения и накачки полупроводниковых лазеров
Characteristics of radiation and pumping of semiconductor lasers

Параметр Parameter	Импульсный лазер (ИПЛЭН) Pulse laser (PEPSL)	Сканирующий лазер (СПЛЭН) Scanning laser (SEPSL)
Длины волн излучения, нм Emission wave lengths, nm	320–1700	320–1700
Полуширина линии излучения, нм Half-breadth of emission line, nm	30–60	20–50
Диаметр излучающей ячейки, мк Diameter of radiating cell, μm	100–150	20–30
Диаметр излучающей поверхности, мм Diameter of radiating surface, mm	≤ 20	≤ 80
Число излучающих ячеек, шт. Number of radiating cells, pcs	$2-(10^3-10^4)$	$\leq 10^7$
Длина оптического резонатора, мк Length of optical resonator, μm	30–50	5–7
Напряжение накачки, кВ Pumping voltage, kV	150–250	40–50
Плотность тока накачки, А/см ² Pumping current density, A/cm ²	1000	100–200
Длительность импульса излучения, с Duration of radiation pulse, sec.	$(3-5)\times 10^{-9}$	30×10^{-9}
Мощность излучения мишени в импульсе, Вт Radiation power of target in pulse, W	$(5-10)\times 10^6$	2,5–5,0
Задержка излучения относительно импульса накачки, с Delay of radiation relative to pumping pulse, s	$< 10^{-11}$	$< 10^{-11}$
Расходимость излучения, град. Radiation divergence, grad.	15–25	10–20
КПД, % Coefficient of efficiency, %	5–8	3–5
Рабочая температура, °С Operating temperature, °C	≤ 20	-20

- "импульсный" (малая частота следования импульсов), при котором кристалл нагревается до предельно допустимой температуры за время импульса (пачки импульсов) и успевает остыть до первоначальной температуры в промежутке между импульсами. При отводе тепла с требуемой скоростью, определяемой теплопроводностью кристалла, мощность электронного пучка может достигать десятков мегаватт на один квадратный сантиметр;
- "непрерывный" (большая частота следования импульсов — режим сканирования), при котором кристалл нагревается до предельно допустимой температуры за время действия многих импульсов. В этом режиме мощность электронного пучка составляет сотни ватт на один квадратный сантиметр.

modulated or scanning pumping electron beams into the modulated or scanning coherent radiation by the semiconductor optical resonator (Fig. 8).

Works on creation of electron-beam-pumped semiconductor lasers have been carried out for several decades in the world [7, 8]. But the idea of creation of such laser and development of its manufacturing technologies [9, 10] were implemented in Russia for the first time.

Unique performance capabilities of EPSSL are determined by the radiation characteristics which in turn depend on characteristics of semiconductor single crystals – converters of the energy of electron flow into optical radiation, and technical and manufacturing capabilities of forming and modulation of electron flows and manufacturing of semiconductor optical resonators.



С учетом особенностей этих режимов были созданы два типа лазерных ЭЛТ — лазерный сканирующий источник излучения СПЛЭН (квантоскоп) [9, 10] (рис.10а) и лазерный импульсный источник излучения ИПЛЭН [11] (рис.10б).

ИПЛЭН представляет собой высоковольтный вакуумный прибор диодного типа. Он содержит многоэлементную полупроводниковую матричную мишень с оптическим резонатором (рис.10б), электронно-оптическую систему формирования электронного пучка нужной энергии, плотности, длительности и геометрической формы, теплоотвод, систему поддержания вакуума (включающую и вакуумную оболочку прибора). Жесткость конструкции всех элементов обеспечивает стойкость прибора к механическим воздействиям (рис.11).

Наиболее важный и сложный узел прибора — многоэлементная лазерная мишень. Она выполнена в виде п-матрицы лазерных излучателей, изготовленных на монокристаллической полупроводниковой пластине по групповой технологии (рис.9б). Для устранения поперечной оптической связи элементы матрицы разделены оптическими поглотителями. Матрица закреплена оптически прозрачным клеем на толстом лейкосапфировом диске, который одновременно служит теплоотводом.

The main element of semiconductor laser which determines the unique technical characteristics of radiation is the semiconductor optical resonator which acts as the converter of energy of the electron beam into the energy of atoms excitation and fulfils the function of medium where the radiation propagation and amplification occur (Fig. 9).

Avalanching multiplication of electrons occurs in similar devices when the energy of excited electrons exceeds the potential of ionization of crystal lattice atoms of semiconductor material (laser active medium). When particles change from excited state to the lower energy levels (recombination levels) the following light quantum emission takes place; its energy is approximately equal to the width of forbidden band of semiconductor material. As a result of reflection of the emitted light from resonator mirrors the positive feedback occurs and the conditions for generating of coherent radiation are formed upon the obtaining of threshold power. In this case the total loss of electron beam in the process of its thermalization and optical radiation in resonator are compensated through the amplification connected with induced transitions.

For the development of this process the energy of electron beam is needed which should be equal at least to threefold width of the forbidden band of

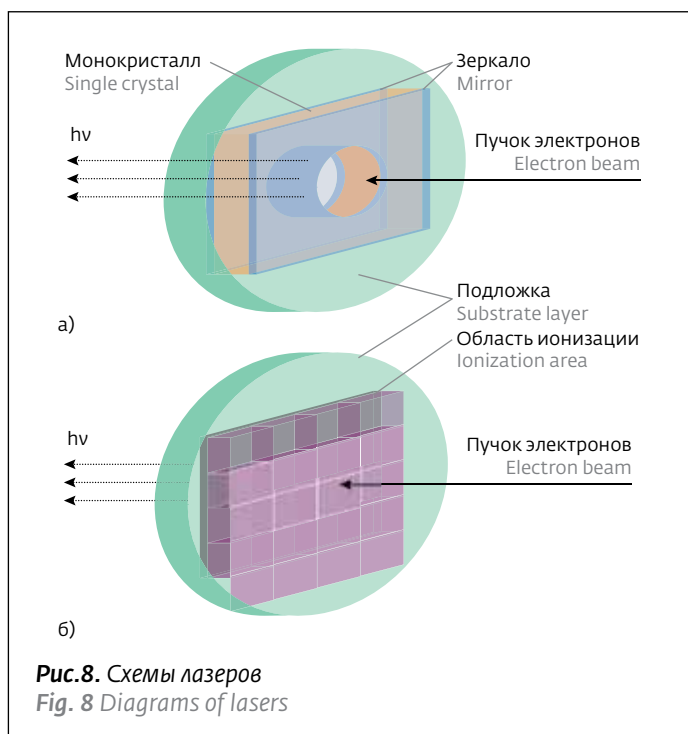


Рис. 8. Схемы лазеров
Fig. 8 Diagrams of lasers

Излучающая поверхность мишени может иметь любую форму: узкая щель, сектор, полоска, трехцветное осветительное кольцо для цветной интерферометрии, трехцветные полоски заданного размера для глицсады и т.п. Выходное зеркало узла — интерференционное, на заданную длину волны излучения. Металлодиэлектрическое сплошное (глухое) зеркало одновременно выполняет функцию снятия заряда со всей поверхности мишени. Длина волны излучения определяется материалом и температурой мишени. Благодаря применению нескольких полупроводниковых материалов для формирования лазеров можно одновременно получить излучение на нескольких длинах волн, разнесенное в плоскости мишени площадью до 10 см². В полупроводниковых лазерах положение спектральной линии излучения определяется шириной запрещенной зоны и температурой полупроводника. Для лазеров на полупроводниковых соединениях А³В⁵ длинноволновой температурный сдвиг составляет примерно 0,1 нм/град. Уже при небольшом превышении пороговой мощности происходит генерирование излучения в многомодовом режиме, что резко снижает когерентность. Другая причина уширения спектра излучения — нагрев кристалла за время воздействия импульса накачки. Экспериментальные значения полосы излучения составляют от 10 до нескольких десятков ангстрем (от единицы до нескольких нанометров).

Традиционные методы изготовления многоэлементных структур (фрезерование микрофрезой)

semiconductor material. Increasing of the electrons energy results the growth of radiation output power and attainment of saturation with the beginning of radiation defects forming. Thus, in order to ensure the longevity of semiconductor crystal the energy of electron flow should not exceed the energy of radiation defects forming. Radiation power upon the specified beam energy can be increased through the increasing of the pumping current density and reduction of its threshold level. It can be achieved on the basis of reduction of the operating temperature of semiconductor and optimization of its characteristics. Two operation modes are available when the crystal heating does not surpass the permissible level of heat loss which determines the ultimate pumping energy:

- "pulse" mode (low pulse repetition frequency) when crystal is heated to the maximum permissible temperature for the period of pulse (pulse packet) and has time to cool down to the initial temperature during the time between pulses. When removing the heat with required speed which is determined through the crystal heat conductivity the electron beam power can reach several tens of megawatts per 1 cm²;
- "continuous" mode (high pulse repetition frequency - scanning mode) when crystal is heated to the maximum permissible temperature for the period of operation of many pulses. In this mode the electron beam power is equal to several hundreds of watts per 1 cm².

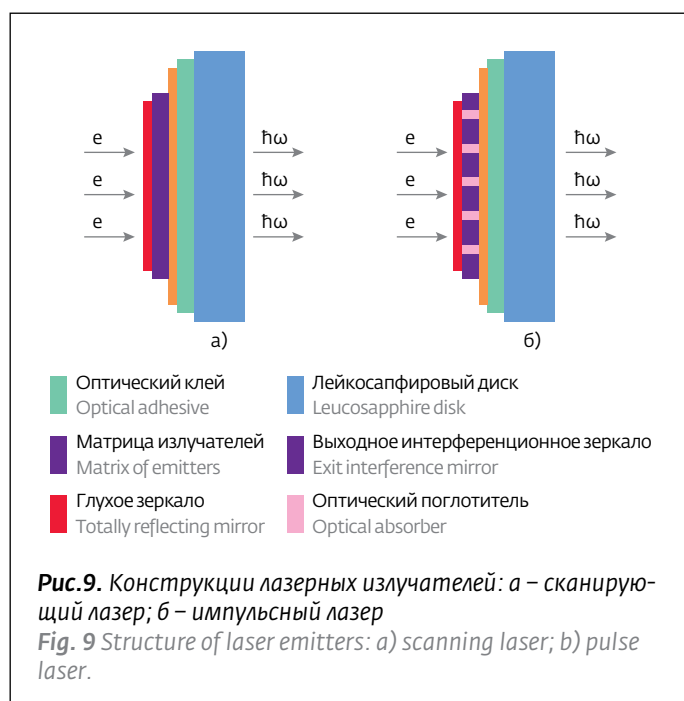


Рис. 9. Конструкции лазерных излучателей: а – сканирующий лазер; б – импульсный лазер
Fig. 9 Structure of laser emitters: a) scanning laser; b) pulse laser.

из-за наличия сколов не позволяют уменьшать отдельные элементы до размеров менее 150–200 мкм. В результате теряется эффективная площадь излучения. В то же время расстояние между зеркалами резонатора, определяемое глубиной проникновения электронного пучка составляет несколько десятков микрон (при энергии около 250 кэВ). В результате усиливается значительная часть оптического излучения в направлениях, не совпадающих с осью резонатора. Одновременно возбуждается большое число типов колебаний высшего порядка, максимумы которых в дальней зоне отклонены от оси резонатора. Наличие таких мод определяет широкую диаграмму направленности. Реальное значение диаграммы направленности при размере полупроводниковых чипов 150×150 мкм составляет 30–35 градусов. СПЛЭН конструктивно представляет собой электронно-лучевую трубку с лазерной мишенью вместо люминофорного экрана (рис.12).

В СПЛЭН используется электронная оптика ЭЛТ с повышенной плотностью тока катода, работающая при напряжениях до 50 кВ. Система фокусировки и развертки электронного луча аналогичны ЭЛТ. Лазерная мишень представляет собой сплошное излучающее зеркало с толщиной полупроводникового кристалла до 10 мкм, обеспечивающего накачку

Taking into account peculiarities of these modes two types of laser CRT were created: laser scanning radiation source SEPSL (quantoscope) [9, 10] (Fig. 10a) and laser pulse radiation source PEPSL [11] (Fig. 10b).

PEPSL represents the high-voltage vacuum tube of diode type. It contains the multiple-unit semiconductor matrix target with optical resonator (Fig. 10b), electron-optical system of the electron beam forming of required energy, density, duration and geometric shape, heat sink, system of vacuum maintenance (including vacuum envelope of device). Rigidity of construction of all elements provides with the resistance of device against mechanical effects (Fig. 11).

The most important and complex component of this device is the multiple-unit laser target. It is performed in the form of n-matrix of laser emitters made on the single-crystal semiconductor wafer on the basis of the batch technique (Fig. 9b). Matrix elements are divided by the optical absorbers for the removal of transverse optical communication. Matrix is secured with the optically transparent adhesive on thick leucosapphire disk which simultaneously serves as the heat sink. Radiating target surface can have any form – narrow gap, sector, strip, three-color lighting ring for the color interferometry, three-color



электронным потоком с энергией до 50 кВ. В отличие от матричной мишени с поглотителями мишень для СПЛЭН в них не нуждается, так как поперечное излучение из области накачки, равное диаметру электронного луча, поглощается невозбужденной частью мишени. Излучающая поверхность мишени также может иметь любую форму. Остальная конструкция аналогична лазерному излучателю ИПЛЭН. Реально достигнутые характеристики излучения, созданных в НИИ "Платан" промышленных образцов импульсных и сканирующих лазеров с продольной накачкой [12], приведены в таблице.

На ИПЛЭН был разработан и прошел летные испытания в 1988 году в ЛИИ им. М.М.Громова и в 1990 году в Крыму на комплексе "Нитка" экспериментальный образец визуальной лазерной системы посадки с целью определения днем и ночью дальности обнаружения лучевого коридора, создаваемого лазерным источником излучения на импульсном ПЛЭН, при заходе на посадку в простых и сложных метеоусловиях [6]. В 2003 году был разработан и прошел заводские испытания экспериментальный лазерный маяк на основе разработанного в НИИ "Платан" сканирующего полупроводникового лазера с электронной накачкой. В настоящее время выполняется опытно-конструкторская работа по созданию мобильного образца системы посадки.

Отличительные особенности излучателей на ПЛЭН и СПЛЭН, позволяющих достигать параметров систем, которые невозможно получить другими средствами:

- возможность одновременного излучения на нескольких длинах волн путем размещения на излучающей мишени полупроводниковых кристаллов с разной шириной запрещенной зоны;
- возможность формировать световые пучки заданной пространственной конфигурации путем преобразования оптической системой пространственного распределения излучения (заданного геометрией излучающих площадок) в угловое распределение;
- возможность в реальном масштабе времени управлять размерами и позиционированием цветовых зон в пространстве средствами телевизионной и цифровой техники, позволяющей осуществлять их автоматическую настройку;
- возможность модуляции любой части цветовой зоны, что является дополнительной информацией для пилота о местоположении ЛА внутри цветовой зоны;
- возможность осуществления оптической локализации ЛА (контроля за воздушным судном) внутри любой зоны с визуализацией ЛА на экране

strips of specified size for glide path etc. Exit mirror of the unit is interferential for the specified radiation wave length. Metal-dielectric monolithic (totally reflecting) mirror simultaneously fulfils the function of discharger from all target surface. The radiation wave length is determined through the material and target temperature. Due to the application of several semiconductor materials for the forming of lasers the simultaneous radiation on several wave lengths scattered in plane of target in area of 10 cm² can be obtained. In semiconductor lasers position of the radiation spectral line is determined through the forbidden band width and semiconductor temperature. For the lasers based on compound semiconductors A3B5 the long-wave temperature shift is about 0.1 nm/grad. Generating of radiation in multimode operation occurs when slightly increasing the threshold power; it sharply reduces the coherence. Other reason of the widening of radiation spectrum is the heating of crystal during the period of pumping pulse influence. Experimental values of radiation band are 10 to several tens of angstroms (one to several nanometers).

Traditional methods of the manufacturing of multi-unit structures (milling by micro milling cutter) do not make it possible to reduce the sizes of individual elements by less than 150–200 μm because of the presence of chips. As a result the efficient emitting area is lost. At the same time the distance between resonator mirrors which is determined through the depth of penetration of the electron beam is equal to several tens of microns (upon the approximate value of energy of 250 keV).

As a result the considerable part of optical radiation is amplified in the directions which do not lie in resonator axis. Large amount of higher order oscillation types simultaneously becomes excited; their peaks in far-field regions diverge from the resonator axis. The presence of such modes describes the large directional pattern. Real value of the directional pattern is 30–35 degrees upon the size of semiconductor chips of 150x150 μm.

Constructively SEPSL represents the electron-beam tube with the laser target instead of phosphor screen (Fig. 12).

The electron optics of CRT with the increased density of cathode current is used in SEPSL which works under the voltages up to 50 kV. The systems of electron beam focusing and sweep are analogous to the CRT. Laser target represents the monolithic radiating mirror with the thickness of semiconductor crystal up to 10 microns which ensures the pumping by electron flow with the energy up to 50 kV. As opposed to the matrix target with absorbents the SEPSL target does



оператора с получением информации об отклонении от глиссады, дальности, местоположения в цветовой зоне и скорости;

- возможность передачи информации о местоположении ЛА на борт ЛА по оптическому (глиссадному или курсовому) каналу, исключающему воздействие естественной или преднамеренной радиоэлектронной помехи;
- возможность управления яркостью излучения в реальном масштабе времени для обеспечения минимально-вредного воздействия на глаза пилота;
- возможность обнаружения лазерного излучения на фоне яркой подстилающей поверхности за счет высокой контрастности, определяемой узким спектральным диапазоном излучения для каждой рабочей длины волны, когда огни высокой интенсивности бесполезны ("тонут в море света") особенно при полетах в условиях заполярья;
- возможность работы лазерного модуля в системах посадки ЛА на авианесущие корабли и вертолетов на корабли одиночного базирования благодаря высокой устойчивости к ударным и вибрационным нагрузкам ;
- возможность использования лазерного модуля для обеспечения посадки ЛА на необорудованные

not need them because the broadside radiation from the pumping region which is equal to the electron beam diameter is absorbed by the unexcited target part. Radiating target surface also can have any form. Other construction is analogous to the PEPSL laser emitter.

Practically achieved radiation characteristics of production prototypes of pulse and scanning longitudinally pumped lasers which were created in Platan Research Institute are given in Table 1 (12).

Experimental sample of the visual laser landing system based on PEPSL was developed and underwent flight tests in 1988 in M.M. Gromov Flight Research Institute and in 1990 in Crimea in Nitka Complex for the purpose of determination of detection range of beam tunnel in the day and night time which is generated by the laser radiation source on pulse EPFL when approaching land under the visual and instrument meteorological conditions (6). In 2003 experimental laser beacon based on scanning electron-pumped semiconductor laser which was designed in Platan Research Institute was developed and underwent production tests. Currently research and development activities are carried out for the creation of mobile sample of landing system.



а)

б)

Рис.10. Полупроводниковые лазеры: а) – сканирующий; б) – импульсный

Fig. 10 Scanning (a) and pulse (b) semiconductor lasers

площадки и обеспечение десантирования благодаря автономному питанию, малым габаритам и весу.

- возможность круглосуточного применения системы для посадки в сложных метеоусловиях и по минимуму категорий ИКАО;
- исключительно низкая когерентность (на 4–5 порядков ниже твердотельных и газовых лазеров) и многомодовость резко снижает вредное воздействие излучения ПЛЭН на зрение летчиков и операторов аэродрома.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая состояние и перспективы развития курсоглиссадных систем посадки с применением различных лазерных источников света, можно сделать следующее заключение:

ВЛКГСП первого типа – на основе использования свойств рассеяния лазерного излучения инжекционных лазерах на неоднородностях атмосферы:

- могут эффективно применяться в качестве визуальной системы посадки ночью в ПМУ и СМУ под облаками в комплексе с РСРП;
- выполнение посадок в сложных метеоусловиях при низкой облачности, а также по метеоминимумам категории ИКАО система не обеспечивает;
- не могут применяться в дневных условиях, так как по физическим свойствам визуальные ориентиры плохо различимы днем, особенно при солнечной погоде, на фоне ярко освещенной поверхности земли из-за потери контрастности;
- не обеспечивают руководителя полетов информацией о величине отклонения по курсу и глиссаде относительно заданной траектории снижения;
- не исключают попадания прямого лазерного излучения на сетчатку глаз пилота при непреднамеренном пересечении ВС лазерных лучей.

ВЛКГСП второго типа – на основе прямого лазерного излучения полупроводниковых лазеров с электронной накачкой:

Distinguishing features of emitters based on EPSSL and SEPSL allowing to reach the parameters of systems which cannot be obtained through other means are the following:

- capability of simultaneous radiation on several wave lengths locating the semiconductor crystals with different width of forbidden band on the radiating target;
- capability to form the light beams of specified configuration transforming the optical system of radiation spatial distribution (which is specified by the geometry of radiating areas) into angular distribution;
- capability to control the dimensions and positioning of color zones in space on a real time basis by the means of television and digital technologies which allow to perform their automatic adjustment;
- capability of modulation of any part of color zone which represents the additional information of aircraft position inside the color zone for pilot;
- capability to accomplish the aircraft optical location (to control the aircraft) inside any zone with aircraft visualization on the controller faceplate and obtaining of the information of deviation from the glideslope, range, position in color zone and speed;
- capability to transfer the information of aircraft location on the aircraft board by the optical (glideslope or on-course) channel which excludes the influence of natural or intentional radio-electronic jamming;
- capability to control the radiation brightness on a real time basis for the ensuring of minimum harmful effect on pilot's eyes;
- capability to detect the laser radiation against the background of bright underlying surface

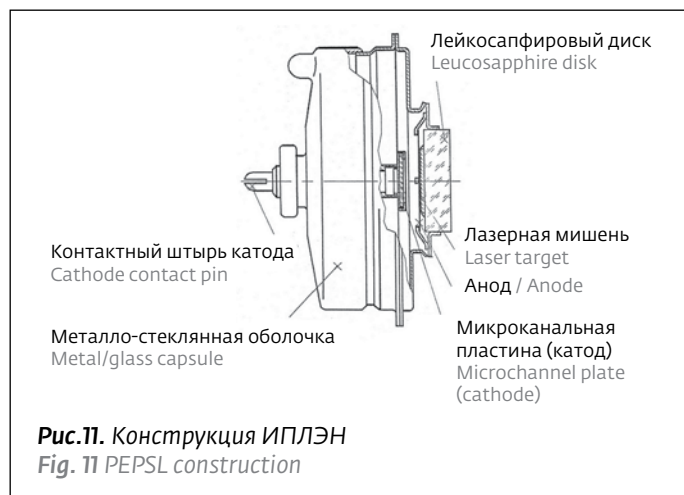


Рис.11. Конструкция ИПЛЭН
Fig. 11 PEPSL construction



- обеспечивает круглосуточное применение системы для посадки в сложных метеоусловиях и по минимуму категорий ИКАО;
 - высокая контрастность обеспечивает выполнение посадки при ослеплении яркой солнечной засветкой на фоне снежной подстилающей поверхности, когда огни высокой интенсивности бесполезны ("тонут в море света") особенно при полетах в условиях заполярья;
 - при мощности излучения меньше 2 Вт, достаточной для уверенной посадки при метеоминимумах по III категории ИКАО (МДВ ≤ 200 м) излучение СПЛЭН безопасно для летного экипажа во всем диапазоне дальностей;
 - обеспечивает контроль за воздушным судном на основе лазерной локации с визуализацией на экране руководителя полетов;
 - и получение информации об отклонении от глиссады, дальности и скорости;
 - обеспечивает передачу информации о местоположении на борт воздушного судна по оптическому каналу, исключая естественные и преднамеренные помехи;
 - позволяет включить лазерную систему такого типа в автоматизированную систему управления воздушным движением в районе аэроузла;
- at the expense of high contrast range which is determined through the narrow spectral radiation band for each operating wave length when the high-intensity lights are ineffective ("they get lost in the sea of light") especially when flying under the conditions of polar regions;
- capability of operation of the laser module in the systems of aircraft landing of aircrafts on the aircraft-capable ships and helicopters on the single-based ships due to high resistance against the impact and vibration loads;
 - capability to use the laser module for the ensuring of landing of aircraft on unequipped areas and the ensuring of airdrop due to self-contained power supply, small dimensions and weigh;
 - capability of twenty-four-hour usage of the system for landing under the instrument meteorological conditions and according to minimum of ICAO categories;
 - exceptionally low coherence (lower than the coherence of solid-state and gas lasers by 4-5 times) and multimode property sharply reduce the harmful effect of EPSL radiation on the sight of pilots and airdrome controllers.

- обеспечивает скрытность захода на посадку, не демаскируя расположения аэродрома (площадки).

ВЛКГСП, благодаря автономному питанию, малым габаритам, весу и отсутствию необходимости выполнения облета перед применением (в отличие от радиолокационных систем посадки) могут применяться:

- в труднодоступных районах, в тайге, на заполярных трассах и там, где нет электроснабжения;
- на прибрежных аэродромах, там, где невозможно размещение огней подхода и приближения (со стороны моря);
- для обеспечения полетов ВС в условиях корабельного базирования;
- на вертолетных площадках, расположенных на крышах зданий;
- как мобильное посадочное средство частными владельцами воздушных судов.

ЛИТЕРАТУРА

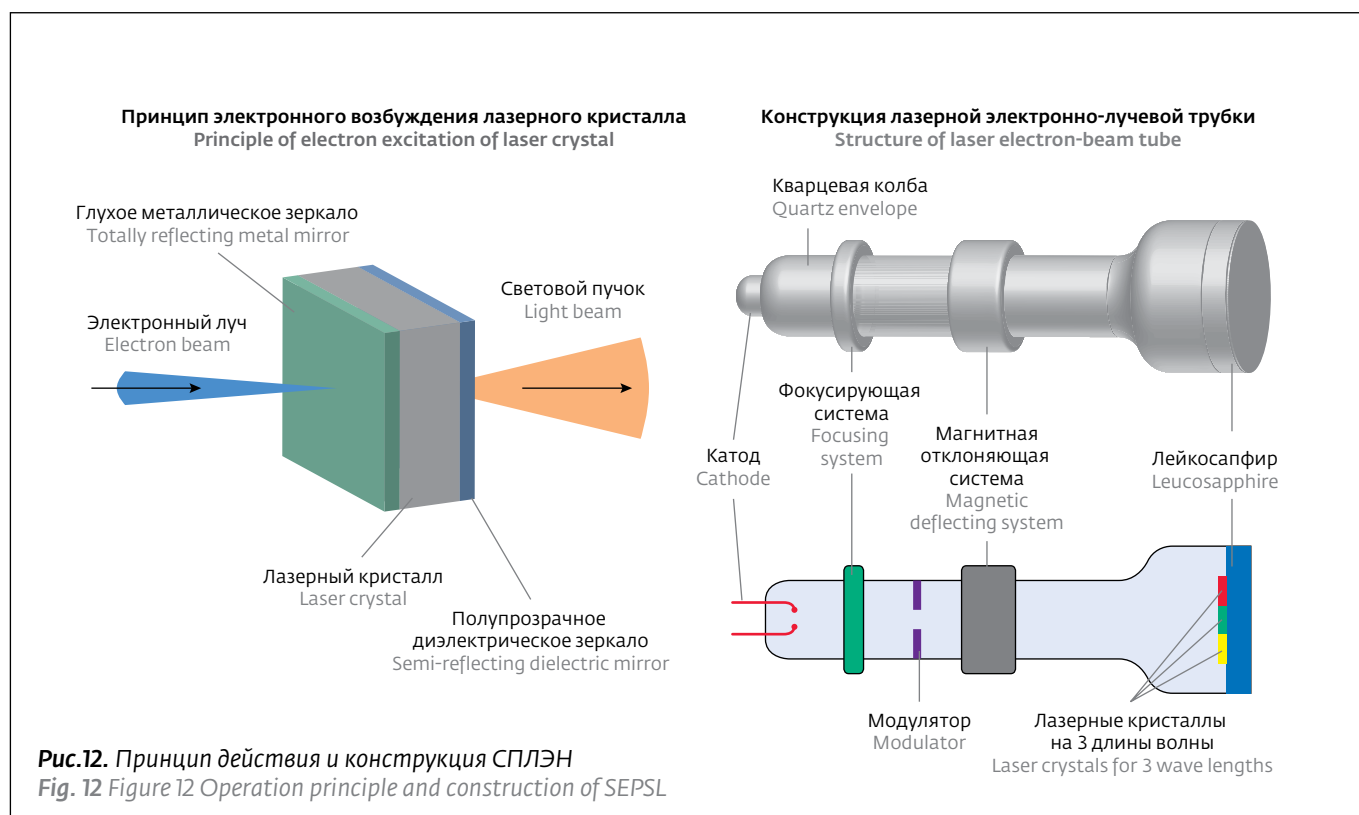
1. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства. – М.: Транспорт, 1993.
2. Олихов И., Столяров Г., Степанов В. Лазерные курсоглиссадные системы посадки воздушных судов. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2013, № 6, с.123–132.
3. Зуев В.Е., Фадеев В.Е. Лазерные навигацион-

CONCLUSION

Evaluating the state and development prospects of glideslope landing systems using the various laser light sources the following can be concluded:

VLLS (visual laser landing systems) of the first type based on the scattering properties of laser radiation of injection lasers on the atmospheric inhomogeneity:

- Can be effectively applied as visual landing systems under the instrument meteorological conditions and below clouds at the night time necessarily used in combination with approaching radar system;
- Systems do not ensure the accomplishing of landing under the instrument meteorological conditions upon low cloudiness and according to the meteorological minimums of ICAO category;
- Systems cannot be applied under day conditions because the visual cues are low observable in the day time according to their physical properties especially when the weather is sunny, against the background of luminous ground surface due to the contrast loss;
- Systems do not provide the flight executive officer with the information of deviation value on course and glide path in relation to the specified descent path of approaching aircraft;
- Systems do not exclude getting of the direct laser radiation on pilots' eyes retina when the



- ные устройства. – М.: Радио и связь, 1987.
4. Лазерная система посадки самолетов "Глиссада". – Квантовая электроника, 1978, т.5, №6, с.1399.
 5. **Мириях А., Свердлов М., Жуков Г.** Полупроводниковые лазерные излучатели в курсо-глиссадной системе посадки воздушных судов. – Фотоника, 2012, №3, с. 32–37.
 6. **Олихов И.М., Косовский Л.А.** Мобильная лазерная трехцветная навигационная система. Надежность в экстремальных ситуациях. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 1999, № 3, с. 46–49.
 7. **Королев С.В., Олихов И.М., Петров Д.М.** Электронное возбуждение полупроводниковых лазеров. – Электронная промышленность, 1973, №2, с. 21–34.
 8. **Богданкевич О.В.** Полупроводниковые лазеры с накачкой электронным пучком. Обзор. – Квантовая электроника, 212, 1994, №12, с. 1113–1134.
 9. **Уласюк В.Н.** Квантоскопы. – М.: Радио и связь, 1988.
 10. **Макиенко О.М.** Лазерные кинескопы нового поколения. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2000, №6, с. 54–56.
 11. **Олихов И.М.** ИПЛЭН. Новое поколение приборов квантовой электроники. – Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 1998, №3–4, с.25–29.
 12. **Зверев М.М., Иванов С.В., Олихов И.М.,** Полупроводниковые лазеры с электронно-лучевой накачкой. Применение и перспективы развития. – Электронная промышленность, 2007, №1, с. 3–14.
- unintentional crossing of aircraft laser beams occurs.
- VLLS of the second type based on the direct laser radiation of electron-pumped semiconductor lasers (Platan Research Institute OJSC and Gamma Research Manufacturing Enterprise):
- Systems ensure the twenty-four-hour usage of the system for landing under the instrument meteorological conditions and according to minimum of ICAO categories;
 - High contrast ensures accomplishing of landing upon the blinding by bright sun light flare against the background of snow underlying surface when the high-intensity lights are ineffective ("they get lost in the sea of light") especially when flying under the conditions of polar regions;
 - When the radiation power is less than 2 W which should be sufficient for the reliable landing upon meteorological minimums according to the 3rd ICAO category (meteorological range of visibility ≤ 200 m) the SEPSL radiation is safe for the flight crew over all range bracket;
 - Systems ensure the control of aircraft on the basis of laser location with visualization on controller faceplate and obtaining of information of the deviation from glideslope, range and speed;
 - Systems ensure the transfer of information of location on the aircraft board by the optical channel excluding the natural or intentional jamming;
 - Systems allow including of the laser system of such type to the automated system of air traffic control in the airline hub area;
 - Systems provide with the security of land approach not decamouflaging the airdrome (site) location.

ОДНОМОДОВЫЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫЕ ЛАЗЕРЫ

Nanoplus производит одномодовые квантово-каскадные лазеры (QCL) на основе лазерных структур с распределенной обратной связью. Решетка обратной связи выбирает определенную длину волны и подавляет все остальные конкурирующие лазерные моды. Квантово-каскадные лазеры – новейшие когерентные источники света в среднем ИК-диапазоне спектра. Устройства, использующие эти приборы в качестве газовых и жидкостных сенсоров, позволяют получать большой объем информации при



исследованиях сред. Одномодовые квантово-каскадные лазеры с большим числом возможных длин волн в диапазоне

от 5 до 14 мкм работают в импульсном режиме (длина импульса около 100 нс) и при температуре от -15°C (область термохолодильника Пельтье) до температуры несколько выше комнатной (35°C). Настройка длины волны, которая необходима в большинстве случаев, производится либо за счет индуцированного током нагревания в пределах лазерного импульса, либо за счет заметного изменения рабочей температуры при помощи термоэлемента.

www.nanoplus.com