



ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ В КУРСО-ГЛИССАДНОЙ СИСТЕМЕ ПОСАДКИ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

А.Миряха, М.Свердлов, к.ф.-м.н., sverdlov@kantegir.ru, ЗАО "Кантегир", Саратов;
Г.Жуков, ЗАО "Глиссада", Самара

Разработана лазерная система посадки воздушного судна, которая задает пилоту курс посадки, глиссаду снижения, положение горизонта и одновременно позволяет установить уверенный визуальный контакт с Землей существенно раньше, чем пилот начинает различать ориентиры аэродрома. Лазерная система не подвержена воздействию электромагнитного излучения и полностью совместима с любыми радиотехническими системами посадки.

При посадке воздушных судов (ВС) на начальном этапе радиомаячные системы задают курс и глиссаду снижения судна, затем на заключительном этапе наземные ориентиры аэропорта (системы светосигнального оборудования), с которым экипаж входит в визуальный контакт, завершают посадку. Такой принцип заложен в основе технических решений, традиционно используемых в мировой практике при посадке ВС.

Однако, только около 20% аэропортов гражданской авиации РФ и приблизительно 30% аэропортов зарубежных стран оборудованы указанными системами. Причина подобных ограничений кроется в стоимости систем светосигнального оборудования, а она выражается достаточно солидными суммами. Эксплуатация остальных аэродромов, остающихся за пределами этих цифр, а также вертодромов и вертолетных площадок ограничена светлым временем суток и метеословиями. Но существует известное решение, ему уже около 30 лет, использование которого позволяет решить многие проблемы при посадке ВС – это известная "Глиссада", разработка Самарского (Куйбышевского) конструкторского бюро автоматических систем (КБАС). Впервые лазерная курсо-глиссадная система посадки самолетов (ЛСП) была анонсирована еще в 1978 году [1]. Лазерная курсо-глиссадная система

навигации "Глиссада" использует для визуальной посадки ВС видимое лазерное излучение.

В мире разработано несколько типов систем ближней навигации для воздушного и морского применения, в которых применяют лазерное излучение [2, 3]. В частности, известны разработки визуальных систем посадки ВС на основе видимого лазерного излучения [4]. Эти системы построены на разных принципах взаимосвязи физических и геометрических параметров лазерного излучения с навигационными координатами. Работа системы посадки самолетов, описанной в [1], основана на принципах проективной геометрии и эффекте рассеяния лазерного излучения в атмосфере. В то время в изготовленных образцах системы использовались газовые He-Ne-лазеры. Они имели невысокий КПД и не обладали необходимой надежностью. К тому же, для повышения эффективности рассеяния излучения (и, следовательно, для улучшения видимости лучей) применяли специальную оптику, увеличивающую исходно малое сечение луча газовых лазеров. Однако с появлением достаточно мощных полупроводниковых лазеров – надежных, эффективных и малогабаритных – возник новый интерес к данной системе. Конечно, задача посадки ВС в свою очередь вызвала необходимость разработать полупроводниковые лазерные

Параметры лазерных излучателей

| Параметр | Тип лазерного диода | |
|------------------------------|---------------------|-------------|
| | ЛИ-635-150 | ЛИ-635-300 |
| Длина волны излучения, нм | 640 | 640 |
| Мощность излучения, мВт | >150 | >300 |
| Расходимость излучения, мрад | <0,8 | <0,8 |
| Сечение луча на выходе, мм | 45×30 | 45×45 |
| Рабочая температура, °С | -40...45 | -40...45 |
| Мощность потребления, Вт | <800 | <800 |
| Габариты, мм | 375×156×140 | 375×156×140 |

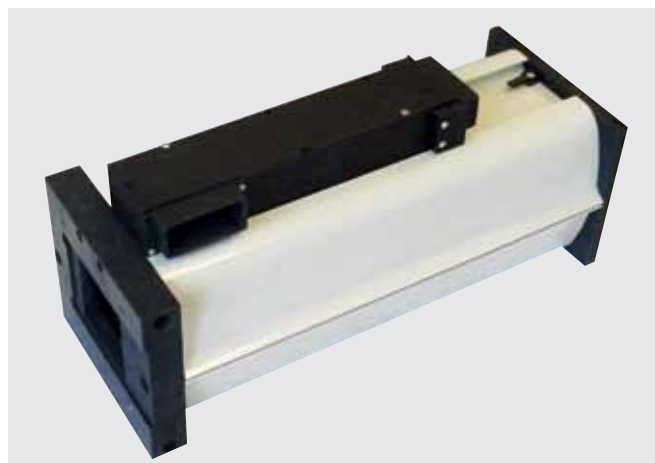


Рис.1. Лазерный излучатель ЛИ-635-150/300

излучатели с параметрами, подходящими для их использования в такой системе.

Технические характеристики полупроводниковых инжекционных лазеров (лазерных диодов) хорошо известны: максимальная мощность излучения с длиной волны 635–645 нм, снимаемая с резонаторной грани лазерного кристалла, составляет около 80 мВт в одномодовом режиме работы и около 500 мВт – в многомодовом режиме [5].

На основе одномодовых лазерных диодов в ЗАО "Кантегир" разработаны два варианта лазерных излучателей [6, 7], их параметры приведены в таблице.

В корпусе лазерного излучателя (рис.1) расположены: блок лазерных модулей с закрепленными на нем нагревательными элементами и термодатчиками, блок управления со схемой питания и управления лазерными модулями и блок термоконтроля со схемой питания и управления нагревательными элементами. В передней крышке корпуса герметично под углом к направлению излучения закреплено защитное стекло с просветляющими покрытиями. На задней крышке установлены разъемы для подачи напряжения питания и вывода управляющих сигналов. Снаружи к корпусу излучателя крепится радиатор. Источником излучения служит блок лазерных модулей, представляющий собой матрицу из отдельных лазерных модулей с высококоллимированным излучением. Лазерный излучатель с такой конструкцией основного узла обладает явным преимуществом – высокой надежностью. Ведь выход из строя только одного из лазерных источников приведет к потере только той доли мощности излучения, которую отдельный источник вносит в суммарную мощность, и не повлечет за собой полный отказ лазерного

излучателя. Кроме этого, матричная конструкция имеет размер излучающей площадки в несколько квадратных сантиметров, а это позволяет получать довольно "толстый" луч, визуально обнаруживаемый при рассеянии в атмосфере с больших расстояний (до 15 км). Специально разработанная технология юстировки блока обеспечивает малую расходимость суммарного пучка излучения при небольших габаритах всего устройства по сравнению с вариантом создания источника на одном мощном многомодовом лазерном диоде. Лазерные модули расположены в блоке с максимально плотной упаковкой, которую ограничивают только условия обеспечения охлаждения, необходимого для отвода тепла от лазерных модулей.

Существуют разные варианты увеличения мощности лазерного излучателя: либо увеличить мощность самих лазерных модулей, либо увеличить число модулей в конструкции, либо пойти по пути комбинации обоих вариантов. Блок термоконтроля поддерживает рабочую температуру внутри корпуса (на блоке лазерных модулей и на защитном стекле)



Рис.2. Сечение лазерного луча излучателя наблюдается на расстоянии 4,5 км

на уровне 7–8°C. Если за счет влияния окружающей среды температура внутри корпуса опустится ниже этого уровня, автоматическое включение нагревательных элементов обеспечит стабильность температурного диапазона. Напротив, при повышении температуры окружающей среды или в случае превышения температурой внутри корпуса уровня 40°C включится внешний вентилятор для обдува радиатора. Работа модулей организована таким образом, что лазерные излучатели при пониженной температуре окружающей среды самостоятельно не включаются до тех пор, пока внутри корпуса температура не достигнет рабочего уровня. Наоборот, в тот момент, когда температура на блоке лазерных модулей станет равной 45°C, отключится их питание. Излучатели могут работать как от постоянного напряжения 12 В (в автономном режиме от аккумулятора), так и от переменного напряжения 220 В с внешним блоком питания. Потребляемая мощность лазерного излучателя при выключенном нагреве не превышает 10 Вт.



Рис.3. Зависимость средней плотности мощности излучения ЛИ-635-150 от расстояния до источника

В дальнем поле излучения создается суперпозиция лазерных лучей с повышенной плотностью мощности, определяемой количеством лазерных модулей и степенью перекрытия сечений лучей от каждого модуля. Степень перекрытия сечений лучей зависит в свою очередь от угла расходимости излучения каждого модуля и угла расположения модулей (их оптических осей) относительно друг друга. В нашем случае, если принять угол расходимости излучения от отдельного модуля не более 0,3 мрад, то диаметр сечения луча на расстоянии, например, 1 км, будет равен 0,3 м. А считая приблизительно, что лучи в пучке распространяются практически параллельно, и учтя размер их суммарного сечения на выходе излучателя 45×45 мм, получаем, что сечения лучей на таких больших расстояниях практически накладываются друг на друга (рис.2). Полная расходимость лазерного пучка измерялась методом двух сечений.

При опоре на вышеперечисленные данные и значения предельно допустимого уровня мощности излучения ($P_{\text{пду}} < 500 \text{ мкВт/см}^2$ согласно СанПин № 5804-91 от 31.07.1991 года) была проведена оценка размера лазерной опасной зоны. Из зависимости плотности мощности излучения в пучке от расстояния до излучателя (рис.3) следует, что размер лазерной опасной зоны для времени воздействия 0,25 с составляет не более 250 метров.

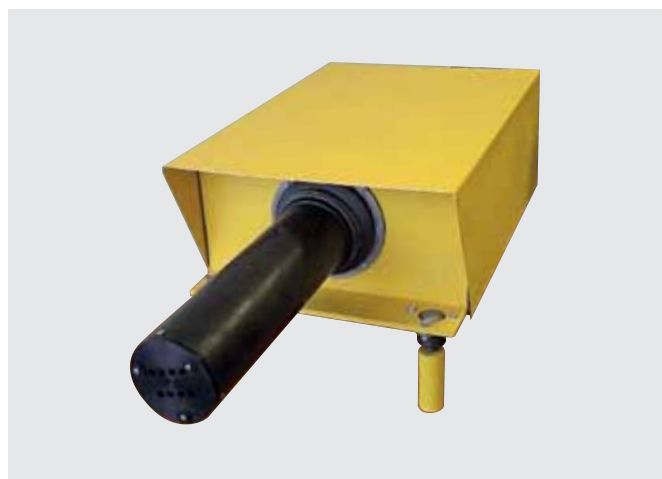


Рис.4. Лазерный маяк ЛСП "Глиссада-М"

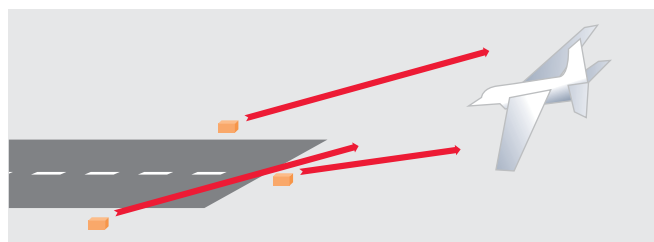


Рис.5. Расположение маяков на взлетно-посадочной полосе

Взяв за основу излучатель ЛИ-635-150, ЗАО "Кантегир" совместно с ЗАО "Глиссада" создали два образца лазерной системы посадки (ЛСП) воздушных судов "Глиссада-М" [8]. В конструкции каждый излучатель установили в корпус маяка (рис.4), устройство которого обеспечивало регулировку направления лазерного луча по курсу и по глиссаде. Кроме того, в корпус маяка установили блок питания и вентилятор для обдува радиатора лазерного излучателя.

Образцы ЛСП, каждый из которых включает в себя три маяка, расположенных в начале взлетно-посадочной полосы (рис.5, 6), были установлены в Международном аэропорту "Курумоч" города Самара и аэропорту "Центральный" города Саратов. Применение ЛСП стало особенно эффективно во время сумерек и ночью. И в Самаре, и в Саратове были проведены летные испытания системы в ночное время летчиками-испытателями ФГУП ГосНИИ ГА на самолете-лаборатории ЯК-40. Получены положительные результаты. Летные испытания ЛСП в условиях пурги прошли на аэродроме станции "Новолазаревская" в Антарктиде (рис.7), где временно был установлен один из образцов ЛСП



Рис.6. Лазерные лучи трех маяков, установленных на взлетно-посадочной полосе (вид с Земли)

с аккумуляторным питанием. На самолете модели Twinotter начальник ЛИЦ ГосНИИ ГА Р.Есаян выполнил три захода на посадку и совершил одну посадку. Испытатели отметили, что в условиях пурги лучевой посадочный символ наблюдается четко.

Как описано в [1] и [2], проекции лазерных лучей создают в поле зрения экипажа пространственные ориентиры курса посадки и плоскости глиссады. Экипаж ВС при заходе на посадку наблюдает эти ориентиры в виде определенного визуального символа. Изменение положения ВС относительно заданной посадочной траектории приводит к изменению формы этого символа. Причем форма символа очень чувствительна к положению ВС относительно курса и глиссады ($\Delta < 50$ см). Пилотирование воздушного судна сводится к удержанию в поле зрения летчика правильной формы "посадочного" символа. Важным эксплуатационным параметром системы при этом является величина боковой видимости лазерных лучей. Измерения значений боковой видимости проводили при различных метеоусловиях и временах суток. Результаты этих измерений представлены на рис.8. Видно, что в темное время суток величина боковой видимости существенно превышает дневные значения. Рост мощности излучения значительно увеличивает боковую видимость даже в светлое время суток.

По результатам проведенных исследований и летных испытаний ЛСП "Глиссада-М", созданной на основе полупроводниковых излучателей, сделаны выводы об уникальных свойствах системы.

- **Ранний визуальный контакт с Землей:** ЛСП задает пилоту курс посадки, глиссаду снижения, положение горизонта и одновременно позволяет установить уверенный визуальный контакт с Землей существенно раньше, чем пилот начинает различать ориентиры аэродрома.
- **Высокая точность пилотирования:** ЛСП обеспечивает высокую точность пилотирования

и возможность прогнозировать изменение положения ВС за счет индикации динамики положения ВС относительно курса и глиссады.

- **Высокая точность индикации:** ЛСП обеспечивает самую высокую, в сравнении с другими известными системами, точность индикации и определения положения воздушного судна относительно курса и глиссады ($\Delta < 50$ см).
- **Эффективность работы в сложных метеорологических условиях:** ЛСП эффективна в сумерки и ночью; в простых и сложных метеорологических условиях; ее использование снижает ограничения по метеорологическим условиям (в среднем приблизительно две дальности метеовидимости).
- **Не требует дополнительного оборудования:** ЛСП – визуальная система, ее использование не требует установки на борту ВС дополнительного оборудования.
- **Защита от воздействия электромагнитного излучения:** ЛСП не подвержена воздействию электромагнитного излучения и полностью совместима с любыми радиотехническими системами посадки.
- **Низкое энергопотребление:** ЛСП имеет очень низкое энергопотребление (< 10 Вт при нормальных условиях и < 700 Вт при пониженной температуре), что обеспечивает возможность ее



Рис.7. Антарктида, аэродром станции "Новолазаревская"

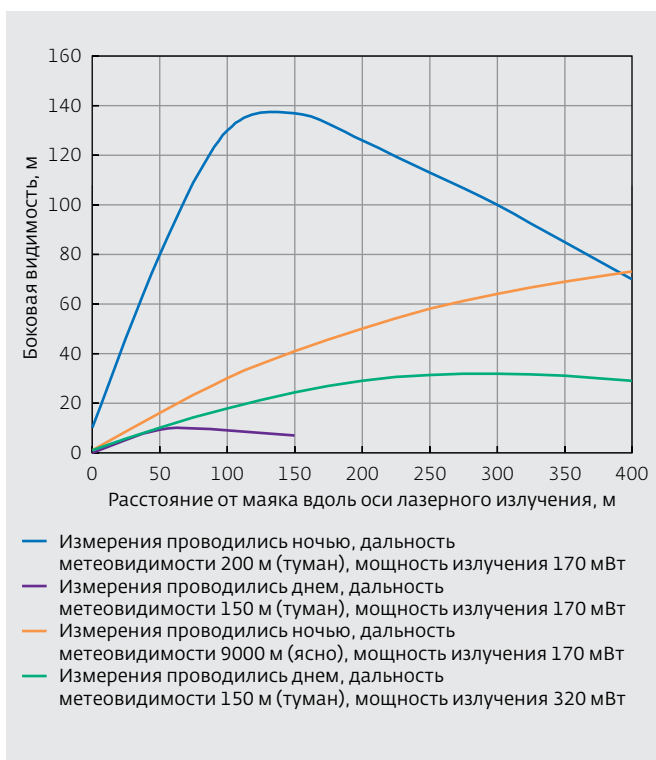


Рис.8. Боковая видимость лазерного луча маяка ЛСП "Глиссада-М"



работы в автономном режиме с аккумуляторным питанием.

За счет своих характеристик ЛСП "Глиссада-М" существенно повышает безопасность самого критичного этапа полета ВС – его посадки.

Авторы выражают благодарность начальнику ЛИЦ ГосНИИ ГА Р.Есяяну за проведение летных испытаний, генеральному директору ОАО "Международный аэропорт "Курумоч" Л.Шварцу и генеральному директору ОАО "Саравиа" А.Бокову за помощь и поддержку в организации летных испытаний в Самаре и в Саратове, коллегам Д.Дубовицкому и С.Гусеву за поддержку работы по созданию ЛСП "Глиссада-М", а также безвременно ушедшему А.Турчину и его коллегам В.Кирьянову, В.Пляченко и О.Сахарову за помощь и поддержку в организации летных испытаний на станции "Новолазаревская" в Антарктиде.

В части разработки лазерных излучателей работа была поддержана Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазерная система посадки самолетов "Глиссада". – Квантовая электроника, 1978, т.5, №6, с.1399.
2. **Зуев В.Е., Фадеев В.Я.** Лазерные навигационные устройства. – М.: Радио и связь, 1987.
3. Патент РФ №2302357. Способ проводки речных и морских судов по заданной траектории, МПК В63В 51/02/ Савельев В.Г. и др.; опубл. 07.10.2007.
4. United States Patent NoUS 6,320,516 B1. Airport and runway laser lighting method, Int.Cl. G08G 5/00/ Richard E. Reason, Date of Patent Nov.20, 2001.
5. <http://lasers.rpmclasers.com/>.
6. Патент РФ №2316864. Лазерный излучатель, МПК H01S 5/022/ Свердлов М.И.; опубл. 10.02.2008..
7. Патент РФ №2315405. Лазерный излучатель, МПК H01S 5/022/ Свердлов М.И. и др.; опубл. 20.01.2008.
8. Патент РФ №2369532. Лазерная система посадки воздушных судов, МПК В64F 1/18/ Свердлов М.И. и др.; опубл. 10.10.2009.