

СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ

И. Олихов, Л. Косовский

Мобильная лазерная трехцветная навигационная система – надежность в экстремальных ситуациях.

Требования к современному навигационному оборудованию для ориентации летательных аппаратов, а также морских и речных судов очень высоки: оно должно быть надежным, эффективно обеспечивать ориентацию в любое время суток даже в экстремальных метеоусловиях и, что немаловажно, не причинять вреда здоровью людей. Разработчикам новой лазерной трехцветной навигационной системы удалось совместить в ней все эти достоинства благодаря импульсным полупроводниковым лазерам с электронной накачкой. Низкое энергопотребление, малый вес и габариты позволяют быстро разворачивать такие системы как дополнительное средство обеспечения безопасности посадки самолетов, проводки судов в сложных метеоусловиях или использовать их там, где нет стационарных систем навигации. Чтобы оценить актуальность таких систем для России, достаточно взглянуть на географическую карту. Хорошие перспективы открываются и для их продвижения на мировой рынок, чему в немалой степени способствует новизна и патентная чистота разработки.

Преимущества лазерных средств навигационного оборудования (ЛСНО) по сравнению с основанными на традиционных источниках света хорошо известны [1]: узкая спектральная полоса лазерного излучателя значительно увеличивает заметность излучения на фоне других огней и обеспечивает большую дальность видимости, особенно днем, в сумерках и при других неблагоприятных условиях. Благодаря узкой диаграмме направленности возрастает точность формирования глассад, створов и секторов. Существенно выше у них и КПД, поскольку ЛСНО не нуждаются в цветовых узкополосных фильтрах.

Однако подобные системы имеют и серьезные недостатки, которые, в основном, объясняются использованием в большинстве из них газовых лазеров. Так, КПД газовых лазеров очень низок (не более 0,1%), что требует применения источника питания мощностью в несколько киловатт. Весьма ограничен их цветовой диапазон, особенно в желто-красной области спектра. А чтобы избежать потери ориентации в темных зонах, образующихся при переходе от одной цветовой зоны к другой, приходится использовать прецизионные оптические и сканирующие системы, обеспечивающие непрерывность перехода. ЛСНО на основе газовых лазеров достаточно громоздки: их массогабаритные характеристики возрастают пропорционально числу цветовых зон (практически на каждую длину волны требуется свой лазерный источник или, при многоцветном источнике, своя система сканирования). К тому же они весьма чувствительны к внешним воздействиям и нуждаются в постоянном обслуживании. Еще один существенный недостаток газовых лазеров - вредное воздействие их излучения, обладающего высокой когерентностью, на глаза и организм человека в целом. Такое воздействие связано не только с оптической плотностью мощности излучения - даже маломощное излучение He-Ne-лазера ($\lambda=0,63$ МКМ) понижает свертываемость крови и вызывает другие неблагоприятные для здоровья последствия [2].

Все эти недостатки можно устранить, используя импульсные полупроводниковые лазеры с электронной накачкой (ИПЛЭН) [3]. По КПД (до 10%) они близки к высокоэффективным полупроводниковым инжекционным лазерам, а импульсная мощность их излучения достигает десятков мегаватт на любой длине волны в диапазоне от ближнего ультрафиолета (0,37 мкм) до ближней инфракрасной области спектра (1,1 мкм). Ширина спектра излучения ИПЛЭН (десятки ангстрем) много меньше, чем у обычного светового источника, но на четыре порядка выше, чем

у газового лазера - излучение не когерентно, хотя и высоко-хроматично. Благодаря этому навигационные системы, основанные на ИПЛЭН, обладают всеми преимуществами ЛСНО и безвредны, как обычные световые источники. К тому же, они имеют малые габариты и потребляемую мощность и не требуют систем охлаждения (рис. 1).

Как устроены ЛСНО на базе ИПЛЭН? Для формирования трех цветовых зон на мишени лазера размещают три пластины, обеспечивающие генерирование в трех диапазонах длин волн: 0,51-0,53 мкм (зеленый), 0,56-0,58 мкм (желтый) и 0,63-0,66 мкм (красный). Если на выходе лазера не устанавливать никаких оптических элементов, то в дальней зоне будет наблюдаться излучение белого цвета из-за классического смешения трех основных цветов. При размещении излучающей поверхности в фокусе объектива ее изображение переносится на бесконечность и смешения не происходит. Изменяя геометрию излучающих площадок, можно подбирать угол раствора лазерного луча, сохраняя при этом угловую энергетическую плотность излучения. Угловой размер каждого цветового спектра (определяется как $\text{tg}\Theta = I/F$, где I - размер мишени, F - фокусное расстояние объектива [4]).

Все функциональные узлы ЛСНО, кроме вынесенного аккумулятора (12 В) и индикатора дальномера, размещены в герметичном корпусе. Его габаритные размеры - 350x450x800 мм, вес - 35 кг. Блок-схема ЛСНО приведена на рис. 2. Первичный источник питания (1) преобразует напряжение питания (постоянное 12-27 В или переменное 220В, 50 Гц) в импульсное напряжение 7,5 кВ, которое подается на высоковольтный импульсный источник накачки (2), формирующий импульсы длительностью ~5 нс и напряжением 250 кВ. Блок управления (3) задает частоту повторения импульсов и режим работы: либо одиночные импульсы, либо пачки импульсов. С источника накачки импульсное напряжение подается на катод трехцветного ИПЛЭН (4).

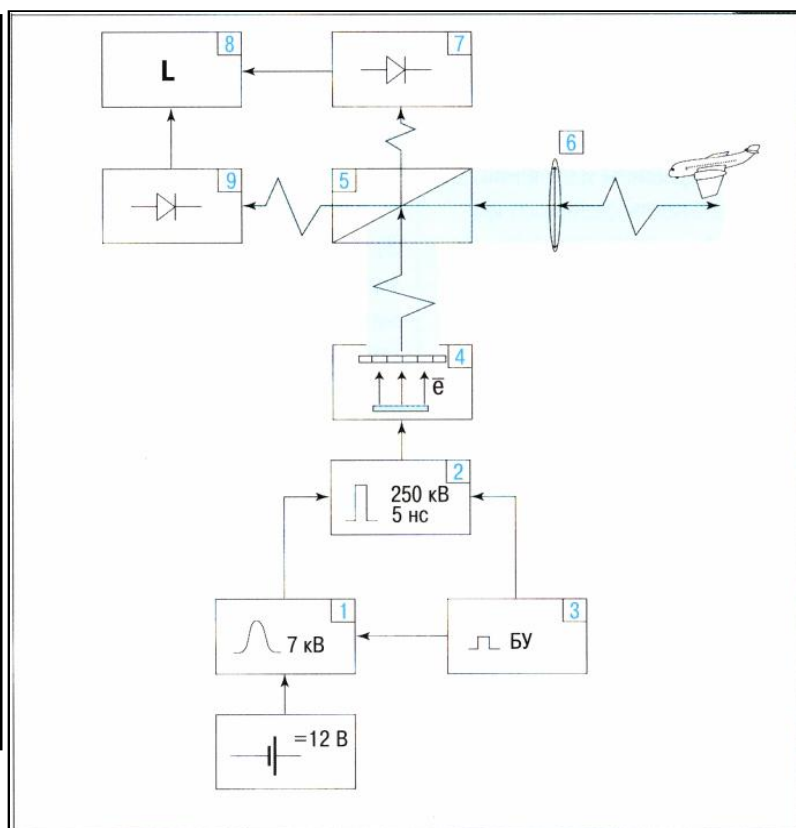
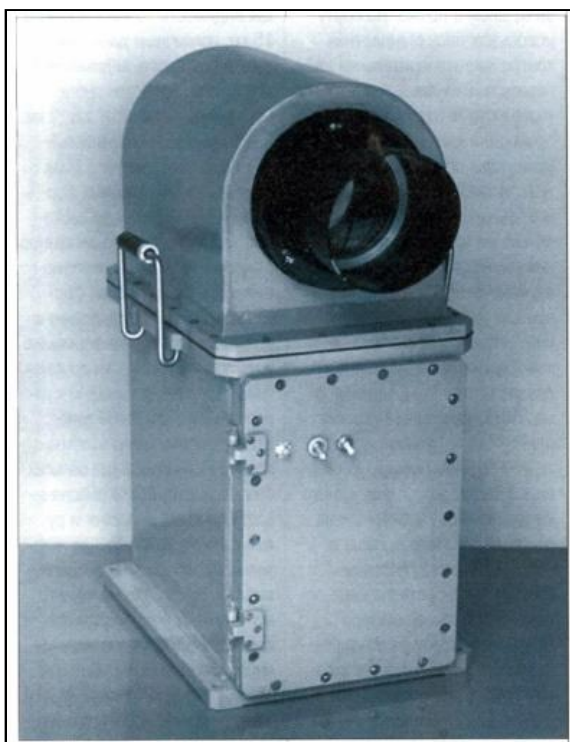


Рис. 1. Экспериментальный образец ЛСНО.

Рис. 2. Блок-схема ЛСНО

Излучение лазера поступает на оптический блок (5) и затем выводится через объектив (6). Часть оптического излучения фиксируется фотоприемником блока встроенного контроля (7).

Импульсный режим работы ЛСНО позволяет определять расстояние до объекта. Фотоприемник блока встроенного контроля формирует опорный сигнал в момент излучения, который подается на блок измерения дальности (8). Отраженный от уголкового отражателя оптический сигнал, пройдя объектив, попадает на фотоприемник (9), электрический сигнал с которого также подается на блок измерения дальности. Устройство вычисляет временную задержку между моментом излучения и моментом приема сигнала t_c , а также расстояние до объекта $L=(t_c-t_0)c/2$. Погрешность измерения ΔL зависит от длительности переднего фронта импульса (при $t=1$ нс $\Delta L=0,15$ м). Дальность действия дальномера определяется мощностью излучения, отражающегося от уголкового отражателя, и порогом чувствительности фотоприемного устройства. Как показывает оценка, при использовании в качестве фотодетектора быстродействующего фотодиода дальность действия на расстоянии до 10 км равна метеорологической дальности видимости (Двм)*, а свыше 10 км - Двм/2. Применение ФЭУ обеспечивает дальность действия 1,5-2 Двм.

* Метеорологическая дальность видимости - расстояние, на котором объект перестает восприниматься зрением при конкретном состоянии атмосферы.

Одна из основных характеристик ЛСНО - дальность видимости ее излучения. Ее величина определяется мощностью излучения на выходе ЛСНО, потерями сигнала в атмосфере (коэффициент пропускания атмосферы), угловой расходимостью излучения и пороговой чувствительностью зрения (минимальная освещенность, воспринимаемая глазом). Порог световой чувствительности глаза в первую очередь зависит от цвета (длины волны), яркости фона (фоновой засветки) и времени воздействия. Из-за инерционности зрения импульсный сигнал заметен с гораздо меньшей дистанции, чем постоянный источник света при той же плотности оптической мощности [6]:

$$E_{\text{ПИ}} = E_{\text{П}} (1 + t_{\text{ГЛ}}/t_{\text{И}})$$

где $E_{\text{ПИ}}$ - пороговая чувствительность глаза при импульсном излучении,

$E_{\text{П}}$ - пороговая чувствительность при непрерывном излучении,

$t_{\text{И}}$ - длительность светового импульса,

$t_{\text{ГЛ}}$ - инерционность глаза (ночью - 0,16 с, днем - 0,05 с).

Длительность светового импульса в ИПЛЭН составляет 3 нс., поэтому пороги чувствительности достаточно низки. Однако даже двух трехкратное повторение импульсов с периодом T , существенно меньшим инерционности глаза ($T < t_{\text{ГЛ}}$), равноценно увеличению длительности светового импульса до долей T ($t_{\text{И}} \sim 10^{-4}$ с). В результате порог чувствительности повышается на несколько порядков. Иными словами, дальность видимости ЛСНО на основе ИПЛЭН можно существенно повысить, формируя пачки из нескольких импульсов с интервалом между ними не менее 0,05 с.

Расчеты показывают (рис. 3), что в режиме одиночного импульса дальность обнаружения всех цветовых зон ночью составляет более 20 км. Лучшее всего видна желтая зона. Дальность ее видимости превышает метеорологическую (при Двм -0,25-5 км) днем в 1,1-2 и ночью - в 2-3,5 раза. Наихудшие показатели у красной цветовой зоны: днем максимальная дальность ее видимости превышает метеорологическую только при Двм < 2 км, а ночью достигает 20 км при Двм = 20 км. При работе пачками из трех импульсов максимальная дальность видимости всех цветов в любое время суток больше метеорологической, причем при очень плохих метеороусловиях (Двм = 0,05-1 км) - в четыре - шесть раз.

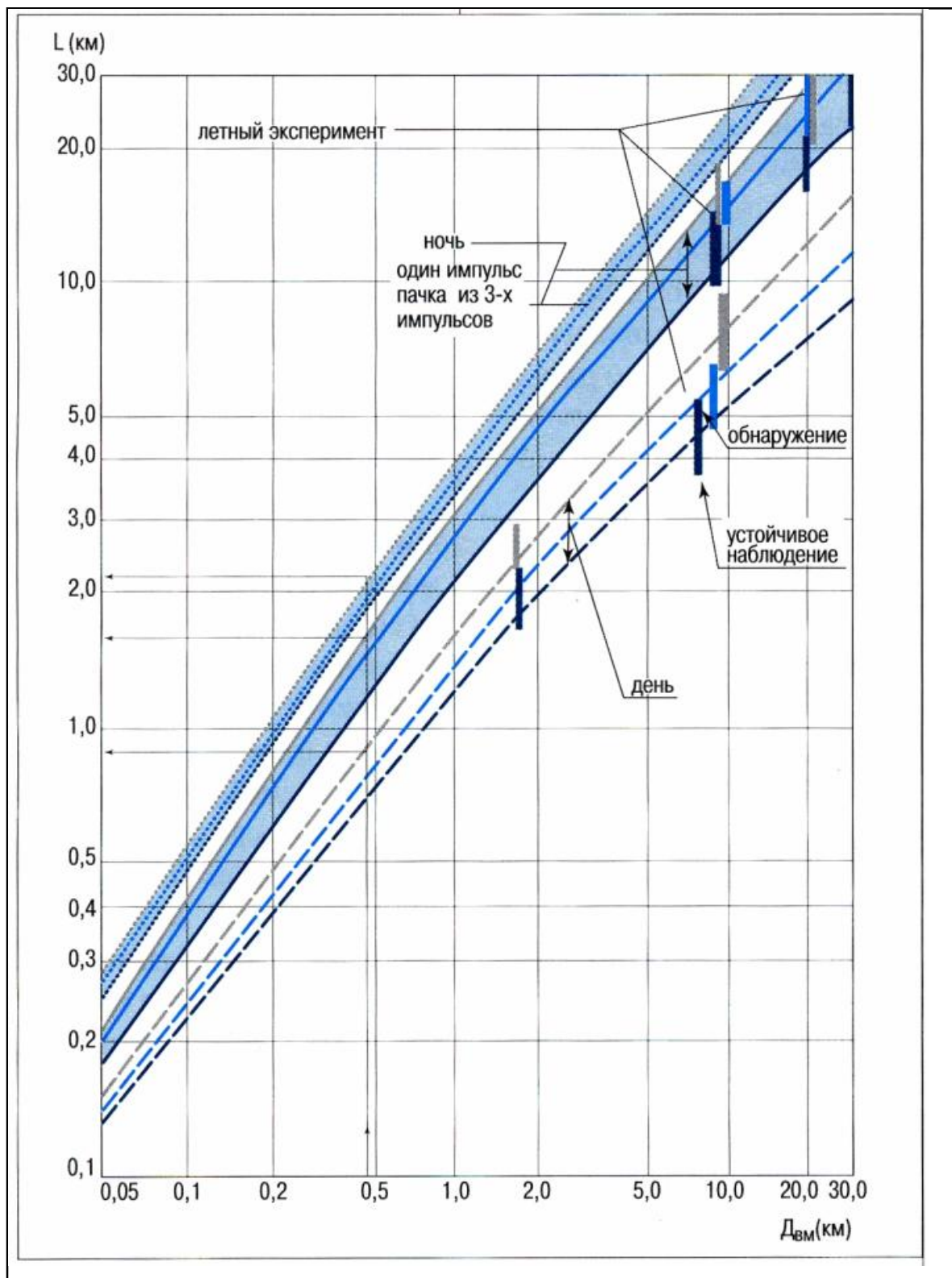


Рис. 3. Расчетная и экспериментальная дальность видимости излучения ЛСНО (L) при различных значениях метеорологической дальности видимости D_{вм}. Мощность излучения; зеленого (0,51 мкм) и желтого (0,57 мкм) - 1 МВт, красного (0,63 мкм) - 1,4 МВт. Углы расходимости в вертикальной плоскости - 5°, в горизонтальной: для зеленого и красного - 3°, для желтого - 1°. Расчет порогов чувствительности глаза проводился на основании [5, 6]. Вертикальными линиями отмечены экспериментальные данные. Начало отрезков - первое обнаружение излучения ЛСНО, конец отрезков - устойчивое наблюдение.

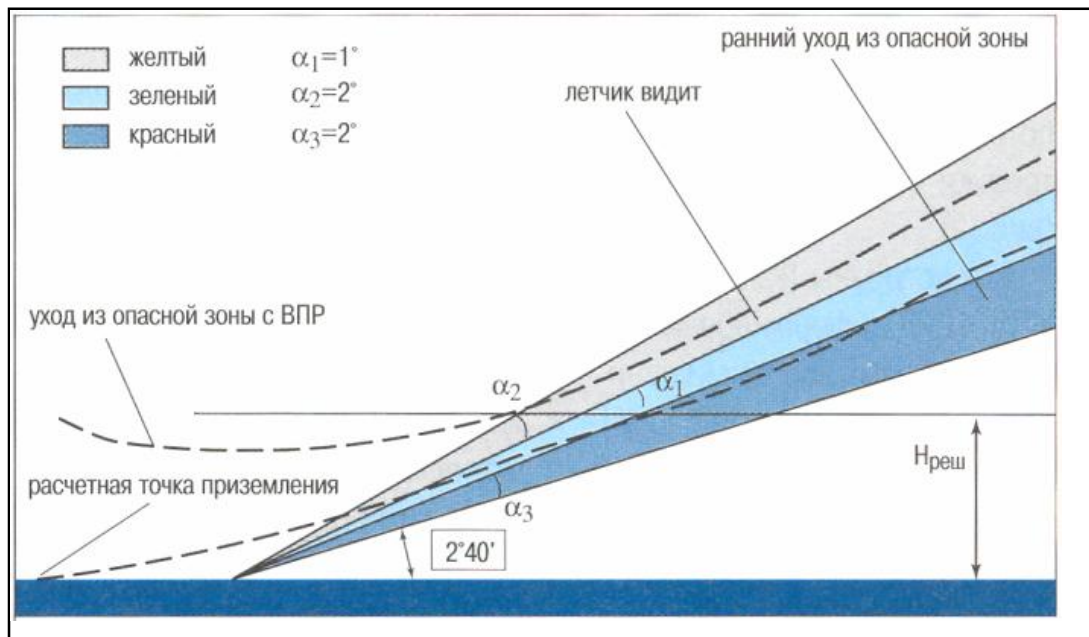


Рис. 4. Схема формирования глиссады.

Расчетные данные полностью подтверждены результатами летных испытаний, в ходе которых определялась дальность обнаружения лучевого коридора, создаваемого ИПЛЭН, при заходе летательного аппарата на посадку в простых и сложных метеоусловиях, днем и ночью. На борту использовалась стандартная контрольно-измерительная аппаратура. Визуальный контроль видимости источника света проводили инженеры-экспериментаторы совместно с экипажем летающей лаборатории. Наклонные дальности определялись по радиосистеме ближней навигации при первом обнаружении импульса света и при его устойчивом наблюдении. Значения метеорологической дальности видимости выдавала метеостанция аэродрома. ЛСНО работало в режиме одиночных импульсов на частоте 3-5 Гц. При посадке летчик видел светящуюся точку одного из трех цветов: зеленого - на глиссаде, желтого - выше и красного - ниже глиссады (рис. 4). Угол раствора центрального зеленого сектора ЛСНО на высоте принятия решения ($H_{реш}$) об уходе на второй круг соответствовал предельно допустимым линейным отклонениям от глиссады (на высоте $H_{реш}=12$ м $\alpha_1=40-60'$). Угол раствора лучей в горизонтальной плоскости составлял 5° , а угол наклона глиссады $-2^\circ 40'$.

По данным, полученным в ходе летного эксперимента (рис. 3, вертикальные линии на графике), дальность видимости излучения трех различных цветов примерно одинакова, хотя днем несколько больше дальность обнаружения зеленого, а ночью - красного. Средняя дальность устойчивого наблюдения ночью (метеорологическая видимость 10 км) составила 15 км, солнечным днем при дымке (дальность видимости 8 км) - 6 км, днем при снеге (дальность видимости 1,5-2 км, подстилающая поверхность - ровный белый снег) - 2,5 км. Таким образом, система формирует вдоль глиссады световые зоны трех различных цветов с заданными угловыми размерами и геометрической формой. Она выдает визуальную и инструментальную информацию о наклонной дальности до летательного аппарата и его местоположении в цветовой зоне. При установке вдоль взлетно-посадочной полосы (на полосах безопасности) ЛСНО обеспечивает безопасный пробег и рулежку после приземления летательного аппарата. Благодаря низкому энергопотреблению, малому весу и габаритам эта высокоэффективная навигационная система может быть быстро развернута в стационарных аэропортах как дополнительное средство посадки летательных аппаратов в экстремальных метеоусловиях и использоваться как основное средство на любых площадках, не оборудованных системами навигации.

Сфера применения ЛСНО на основе ИПЛЭН отнюдь не ограничивается авиацией. Такие системы могут с успехом использоваться как средство речной и морской навигации, в частности в

акваториях портов со сложным рельефом местности, при подходах к узостям, плохой видимости, мешающих посторонних засветках, а также в качестве резервных при выходе из строя энергосистем основных маяков.

Многоцветный полупроводниковый лазер позволяет устранить главную проблему светосигнальных маяков - увеличение центральной световой зоны при увеличении дистанции между маяком и судном, в результате чего возникает опасность отклонения последнего от оси створа. Созданный на его основе створный маяк (ЛСМ) формирует центральный створ в виде коридора заданной ширины [7]. Маяк состоит из двух двухцветных ЛСМ, разнесенных на ширину коридора (рис. 5). Один ЛСМ формирует секторы желтого и красного цветов, а другой - желтого и зеленого. При этом ЛСМ располагают так, что их желтые лучи пересекаются в створной полосе, а остальные проходят с внешних сторон коридора. Кроме того, если крайние лучи желтых зон параллельны крайним лучам зеленой и красной зон (см. рис. 5), боковые зоны также принимают форму коридоров постоянной ширины. Между красной (зеленой) и желтой цветовыми зонами образуются промежуточные зоны (секторы), где видны оба цвета - это дает дополнительную ориентировку. Чтобы избежать появления "мертвых" зон, маяки относят на небольшое расстояние в глубь материка. Мобильность и автономность питания ЛСМ позволяют развернуть несколько таких маяков на длинном и сложном фарватере.

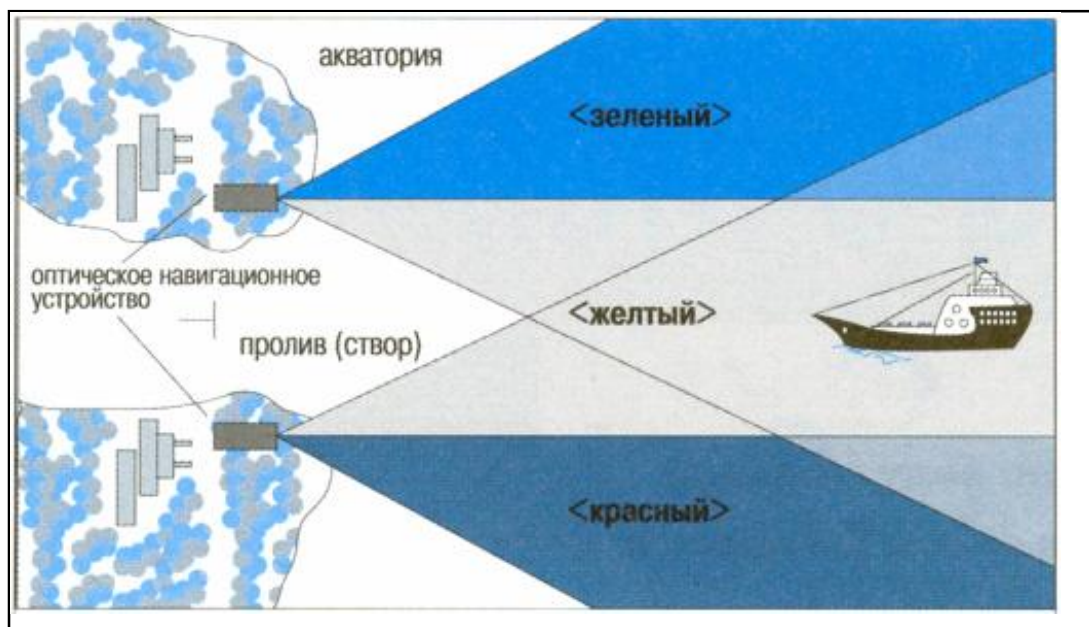


Рис. 5. Построение створного маяка на основе двухцветных ЛСНО.

Перспективно применение ЛСНО на основе ИПЛЭН и в качестве курсовых маяков (ЛКМ). Для этого формируются непересекающиеся зоны трех цветов, примыкающие друг к другу. Боковые зоны показывают направление отклонения судна от курса. Важное свойство импульсных ЛСНО - возможность определения расстояния между маяком и судном. Для измерения дальности достаточно установить на судне уголкового отражателя, а ЛСМ укомплектовать системой передачи информации по запросу. По запросу с судна могут включаться и сами маяки.

В целом, навигационное оборудование на базе ИПЛЭН имеет самые широкие перспективы применения для повышения безопасности проводки подвижных объектов, прежде всего летательных аппаратов, а также речных и морских судов, в сложных метеоусловиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В.Е., Фадеев В.Е. Лазерные навигационные устройства. -М.: Радио и связь, 1987.
2. Лазеры в медицине. - М.: Наука, 1998.
3. Олихов И.М. ИПЛЭН. Новое поколение приборов квантовой электроники. - Электроника: НТБ, 1998, №3-4.
4. Патент РФ № 2 063 097 на изобретение "Лазер", приоритет от 22.03.1994 г.
5. Луизов А.В. Глаз и свет. - Л.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Басов Ю.Г. Светосигнальные устройства. - М.: Транспорт, 1993.
7. Патент РФ № 2 083 444 на изобретение "Оптическое навигационное устройство", приоритет от 22.03.1994 г.

Контакты – НПП «Гамма»

www.nppgamma.com

E-mail:

info@nppgamma.com

gammaf@mail.ru