

УДК 623.74.094

**Состояние и перспективы развития современных пилотажных очков ночного
видения**

П.С. Альков⁽¹⁾, И.В. Воронин⁽²⁾, А.Д. Левкович⁽³⁾

¹*Студент, кафедра "Лазерные и оптико-электронные системы"*

²*Аспирант, кафедра "Инженерный бизнес и менеджмент"*

³*Аспирант, кафедра "Лазерные и оптико-электронные системы"*

*Научный руководитель: Грузевич Ю.К., к.т.н., профессор кафедры «Лазерные и оптико-
электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана.*

МГТУ им. Н.Э. Баумана, ОАО "НПО Геофизика-НВ"

pavel_alkov@mail.ru

Пилотирование вертолетов в ночное время, осложнено рядом факторов: отсутствие зрительной ориентации в пространстве, отсутствие наблюдаемой линии горизонта, невозможность различия неосвещенных объектов и ориентиров, таких как линии электропередач, деревья, постройки и т.д. Что накладывает серьезные ограничения на режимы маневренного низковысотного полета. Для преодоления данных ограничений и расширения функциональных возможностей вертолета в ночное время используются современные пилотажные очки ночного видения (ОНВ) (Рис. 1) на основе электронно-оптических преобразователей (ЭОП) III и последующих поколений. ОНВ обеспечивают экипажу возможность наблюдения закабинного пространства вертолета, в условиях естественной ночной освещенности на местности и выполнения уверенного низковысотного (до 50 м) полета и посадки на неподготовленных площадках.



Рис. 1. Пилотажные очки ночного видения, закрепленные на пилотажном шлеме

Для пилотирования вертолета экипажу необходимо производить управление вертолетом и осуществлять визуальный контроль закабинного пространства. Для управления вертолетом в кабине установлено большое количество сигнальных табло, пультов, щитков управления и другого внутрикабинного приборного светотехнического оборудования (СТО). Для обеспечения группового полета вертолет оснащается внешнем светосигнальным оборудованием.

Основная проблема использования ОНВ в кабине вертолета со стандартным (красным) освещением СТО заключается в том, что пилотажные очки, созданные на основе ЭОП III поколения, обладающих высокой чувствительностью в спектральном диапазоне 530-930 нм (Рис. 2), имеют коэффициент усиления яркости $\sim 20000-50000$, поэтому использование таких очков в кабине вертолета, оборудованной стандартными приборами индикации, излучающими в красной области спектра и в ближнем ИК диапазонах, приведет к возникновению сильной фоновой засветки и потере контраста изображения закабинного пространства. В результате, наблюдается резкое уменьшение дальность действия ОНВ, что приводит к необходимости увеличения высоты безопасного полета вертолета.

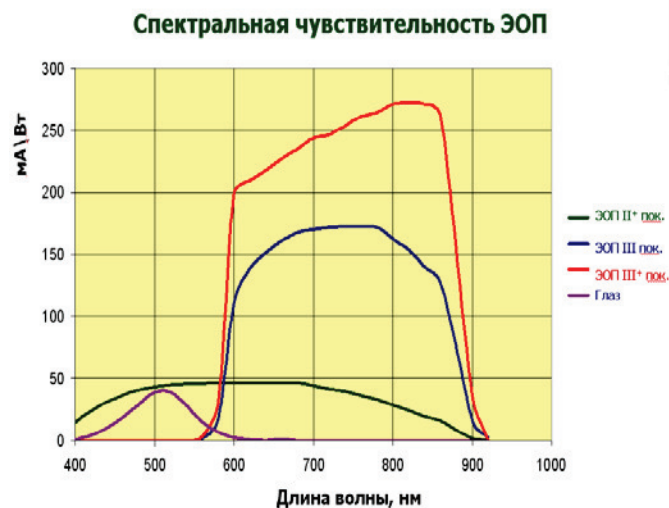


Рис. 2. Спектральная чувствительность ЭОП

Для обеспечения пилотирования вертолетов в ночное время суток с применением ОНВ необходимо откорректировать спектральный состав ОНВ и СТО, уменьшив практически до нуля составляющие излучения в «красной» и ближней ИК области спектра, в которой ЭОП III поколения наиболее чувствителен. При осуществлении такой корректировки излучения СТО в видимой области спектра необходимо удовлетворять психофизиологическим требованиям к индикации (зеленый цвет - информационный, желтый цвет - внимание, красный цвет - опасность), т.е. сохранять видимое излучение информационных табло, панелей и индикаторов СПО, расположенных в кабине и обеспечить условия безопасности полета. Поскольку при использовании ОНВ должна сохраниться возможность экипажем считывать показания приборов, дисплеев, сигнализаторов и др., мимо окуляров (невооруженным глазом). При этом спектр излучения адаптированных компонентов СТО также должен быть оптимизирован под кривую видности глаза. Человеческий глаз чувствителен к оптическому излучению диапазона длин волн от 400 нм до 700 нм, что соответствует диапазону уверенного цветоразличения. Концептуальный подход обеспечения требований совместимости компонентов СТО с ОНВ иллюстрируется на (Рис. 3).

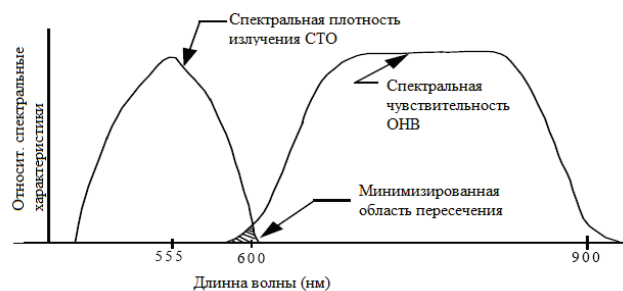


Рис. 3. Совместимость компонентов СТО с ОНВ

В сумерках и при лунном свете максимум спектральной характеристики излучения яркости ночного неба находится около 500 нм. При этом освещенность ночного неба достаточно высока и применение высокочувствительных ЭОП III поколения в таких условиях неэффективно, т.к. нет существенного выигрыша по дальности действия. Если же ночь безлунная, то, максимум спектральной яркости ночного неба находится в спектральном диапазоне 900 - 1000 нм, а в диапазоне 500 - 650 нм спектральная яркость ночного неба не высока. Более того, эта спектральная область является областью инверсии контраста большинства искусственных объектов на фоне растительности (Рис. 4).

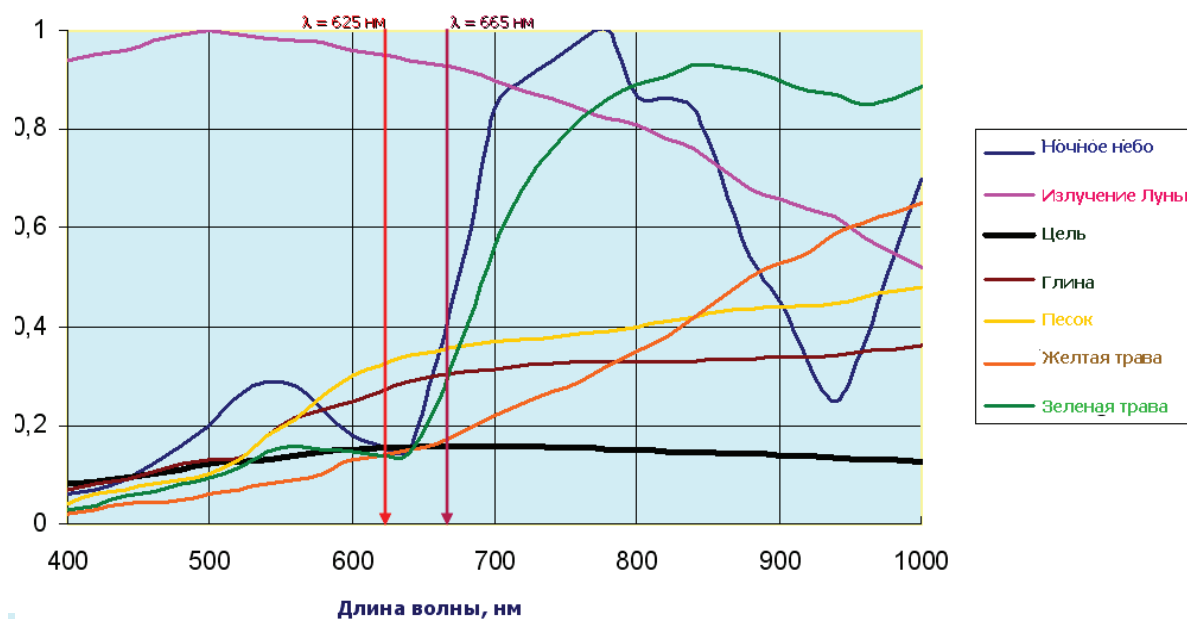


Рис. 4. Спектральные характеристики отражения и излучения фонов

Анализ спектров отражения объектов и окружающих их фонов показывает, что без заметного снижения дальности действия ОНВ на ЭОП III поколения можно ограничить спектральную характеристику очков в коротковолновой области спектра с длины волны ~ 650 нм.

Таким образом, решение проблемы полетов вертолетов в ночное время в очках ночного видения обеспечивается согласованием по спектральному составу освещения внутрикабинного приборного оборудования вертолетов и ОНВ на основе ЭОП III поколения. Для такого согласования необходимо ввести в состав СТО специальные цветные светофильтры, спектр пропускания которых имеет максимальное значение в зеленой, желтой и красной области спектра и минимальное значение — в спектральной области максимальной фоточувствительности ЭОП III поколения (в спектральном диапазоне от 650 нм до 950 нм), а в состав объективов ОНВ ввести отрезающий интерференционный светофильтр (с длинами волн более 650 нм).

Для использования в авиационном приборном оборудовании специальные цветные светофильтры в составе адаптированного СТО должны удовлетворять критериям применимости цветных источников излучения, цветовые координаты которых в равноконтрастной системе U' и V' должны находиться внутри “цветового круга” на спектральном локусе (Рис. 5). Данная диаграмма была принята Международной комиссией по освещенности вместо диаграммы, принятой МКО в 1931 году (МКО, 1931). Она представляет собой относительно однородное цветовое пространство, в котором одинаковые расстояния соответствуют равным цветовым различиям.

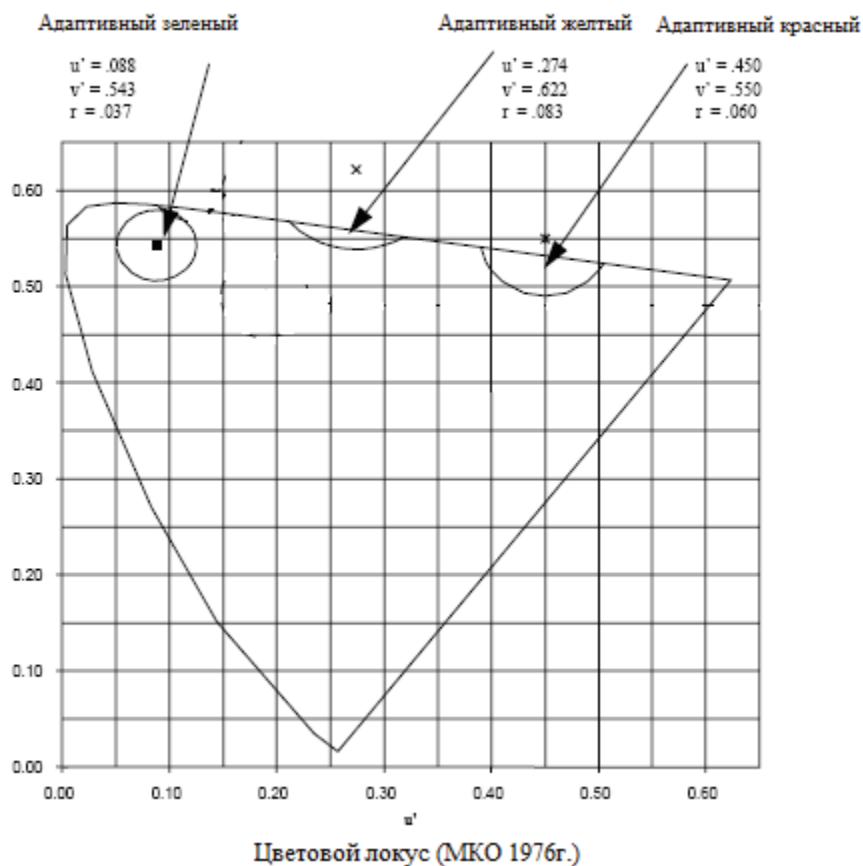


Рис. 5. Диаграмма равноконтрастной системы ($u'v'$)

Для количественной оценки качества адаптации элементов СТО вертолета используется важный коэффициент адаптации K_a , определяемый как, безразмерный коэффициент, пропорциональный отношению энергетической светимости СТО, редуцированной к чувствительности ОНВ на основе ЭОП, к энергетической светимости СТО, редуцированной к глазу.

$$K_a = \frac{\int_{380}^{950} \tau_{\phi}(\lambda) \cdot M_{e,\lambda}^{0,omn}(\lambda, T_y) \cdot S_{ПНВ}^{omn}(\lambda) d\lambda}{\int_{380}^{950} \tau_{\phi}(\lambda) \cdot M_{e,\lambda}^{0,omn}(\lambda, T_y) \cdot V(\lambda) d\lambda} \cdot 100\%$$

где: $\tau_{\phi}(\lambda)$ - спектральное распределение коэффициента пропускания дополнительного светофильтра;

$M_{\epsilon\lambda}^{T_{\text{ц}} \text{отн}}(\lambda,)$ - относительное спектральное распределение энергетической светимости черного тела с цветовой температурой $T_{\text{ц}}$;

$S_{\text{ПНВ}}^{\text{отн}}(\lambda)$ - относительная спектральная чувствительность ОНВ;

$V(\lambda)$ - относительное спектральное распределение световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения.

На рис. 6 приведены спектры пропускания специальных цветных светофильтров, которые удовлетворяют вышеуказанным требованиям и в настоящее время используются для адаптации СТО «ночных» вертолетов.

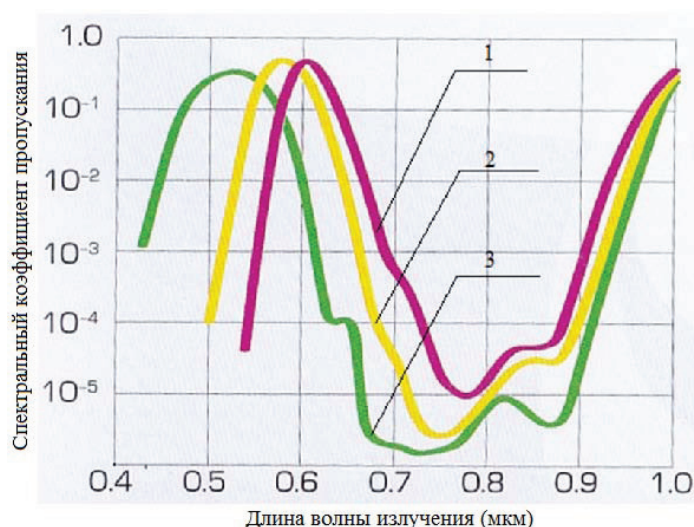


Рис. 6. Зависимости спектрального коэффициента пропускания от длины волны, для красного (1), желтого (2), зеленого (3) светофильтров

При использовании ОНВ для пилотирования вертолетов в ночных условиях возникла еще одна проблема, которую необходимо было решить для повышения эффективности применения «ночных» вертолетов. При пилотировании вертолета летчики должны вести наблюдение за кабиной пространства и переводить направление взгляда на приборную доску вертолета, сопровождающейся частой сменой точки аккомодации и воспринимаемой яркости фона адаптации. При этом дополнительно возникал дискомфорт наблюдения, связанный с необходимостью разворота глазного яблока, обеспечивающего визирование показаний приборов в обход оправы окуляров ОНВ. Перечисленные причины способствуют дополнительному утомлению летчика и отрицательно сказываются на здоровье зрительного аппарата.

Для эффективного решения данной проблемы целесообразно отображать в угловом поле ОНВ основную полетную информацию, необходимую для пилотирования вертолета.

Аппаратная реализация экспериментального образца должна обеспечивать оперативное изменение программ формирования элементов отображаемой информации и расположение этой информации в поле зрения летчика, что позволит эффективно оптимизировать вид и состав информационного кадра.

В качестве системы формирования информации включена навигационная система позволяющая формировать адекватную перемещению вертолета полетной информации, отображаемой в угловом поле ОНВ. Такое построение системы позволяет избежать (на первом этапе) проблем информационного взаимодействия бортового вычислителя вертолета и создаваемых ОНВ. В дальнейшем, при создании промышленного образца, отображаемая полетная информация должна формироваться бортовым вычислителем вертолета.

При формировании информационного кадра, отображаемого в угловом поле ОНВ, необходимо учитывать две противоположных тенденции:

- с одной стороны, для управления ЛА, пилоту необходимо знать достаточное количество параметров полета (высота полета, скорость путевая, скорость сноса и т.п.);
- с другой стороны, большое количество отображаемой информации оказывает мешающее воздействие при наблюдении внекабинного пространства.

Разработанные ОНВ обеспечивают отображение полетной информации в угловом поле правого канала ОНВ. Состав отображаемой информации представлен в таблице.

№	Наименование	Единица измерения	Диапазон	Способ отображения
1.	Магнитный азимут		от 0^0 до 360^0	Подвижная шкала
2.	Воздушная скорость	км/час	от 0 до 1000	Число (три знака)
3.	Барометрическая высота	м	от 0 до 10000	Число (четыре знака)
4.	Угол тангажа		от 90^0 до минус 90^0	Подвижная шкала
5.	Угол крена		от 90^0 до минус 90^0	Поворотная марка с числовым отображением угла
6.	Вертикальная скорость	м/с	от минус 100 до 100	Вертикальная шкала с числовым отображением

				скорости
7.	Скорость сноса	м/с	от 0 до 100	Горизонтальная шкала с числовым отображением скорости

В информационном кадре (Рис. 7), формируемом в угловом поле ОНВ, можно выделить следующие группы символов, предназначенные для отображения параметров движения ЛА:

- группа 1 - воздушная скорость ЛА;
- группа 2 - шкала магнитного азимута;
- группа 3 - барометрическая высота полета ЛА;
- группа 4 - шкала угла тангажа;
- группа 5 - угол крена (центральная марка);
- группа 6 - скорость сноса;
- группа 7 - вертикальная скорость.

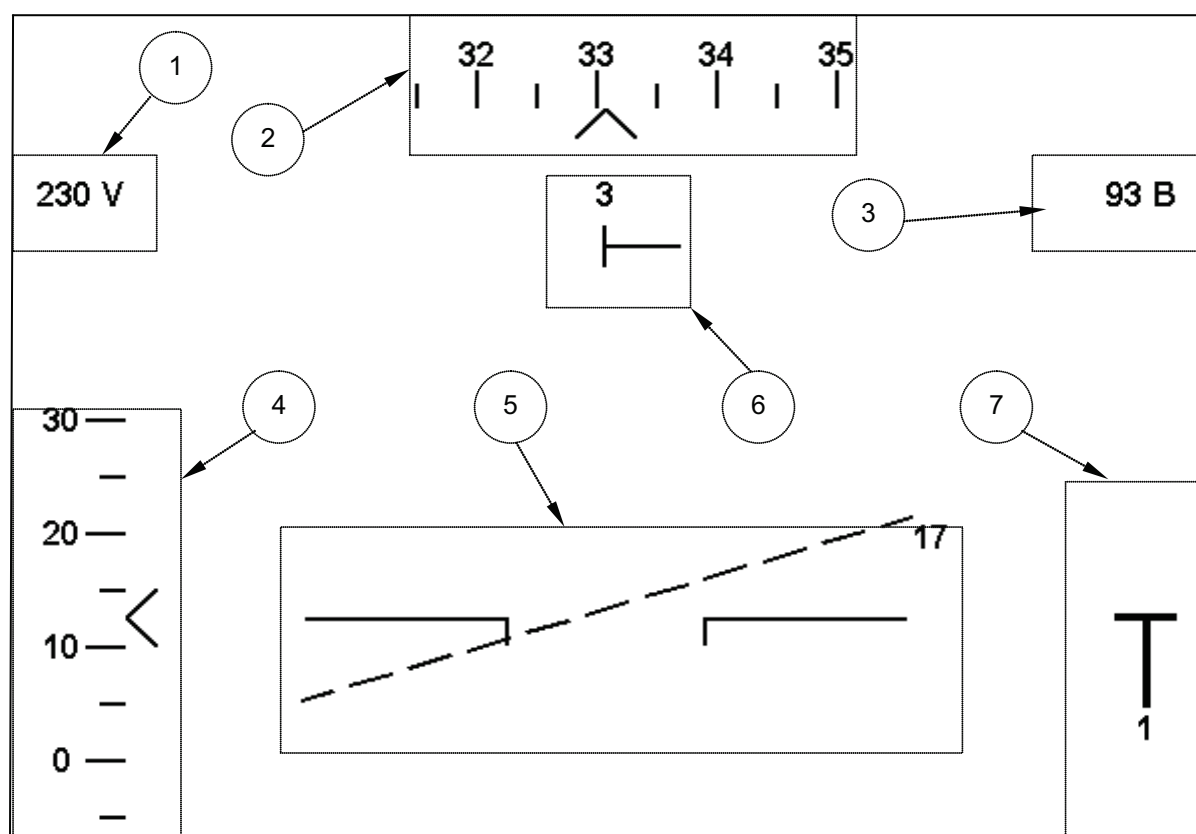


Рис. 7. Информационный кадр в угловом поле ОНВ.

Структурная схема ОНВ приведена на рис. 8.

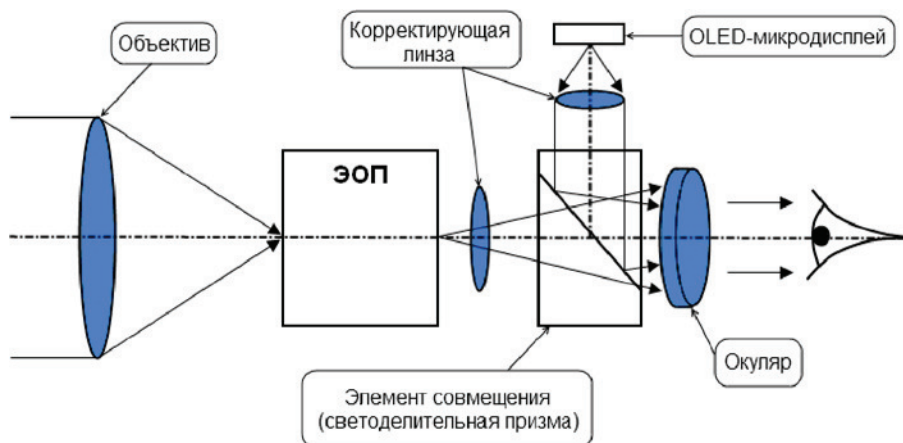


Рис. 8. Структурная схема ОНВ

Разработанные ОНВ состоят из четырех основных частей:

- бинокляр ОНВ, который представляет собой биноклярную оптическую систему, каждый канал которой содержит объектив, ЭОП и окуляр; окуляр одного из каналов содержит микродисплей и элемент совмещения изображений;
- пульт управления, который позволяет управлять отображением информации в поле зрения пилота вертолета (переключение режимов, регулировка яркости, отключение отображения);
- блок формирования изображения (БФИ), который обеспечивает прием и обработку полетной информации, формирует информационный кадр и передает соответствующий информационный сигнал на микродисплей;
- интегрированная бесплатформенная инерциально-спутниковая навигационная система (ИБИНС), которая обеспечивает формирование полетной информации, отображаемой в угловом поле ОНВ.

Фотография макета ОНВ с пультом управления и микродисплеем, встроенным в угловое поле правого канала очков, приведена на рис. 9.



Рис. 9. Макет ОНВ с пультом управления и системой ввода информации

Для формирования видеосигнала, выводимого в ОНВ используется бортовой компьютер, к которому подключается малогабаритная интегрированная бесплатформенная инерциально-спутниковая навигационная система (далее – ИБИНС). Бортовой компьютер формирует изображение в формате VGA, которое затем передается на драйвер OLED микродисплея, который управляет его работой. Конструктивно драйвер микродисплея может входить в состав ОНВ или бортового компьютера. Структурная схема комплекса представлена на рис. 10.

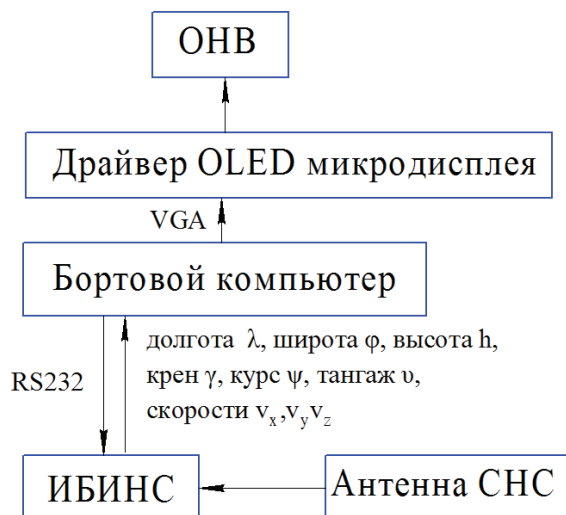


Рис. 10. Структурная схема комплекса

Навигационная система ИБИНС предназначена для определения координат местоположения, параметров движения и углов ориентации подвижного объекта. Система представляет собой комбинацию бесплатформенного инерциального блока (далее – БИБ) на базе микроэлектромеханических (МЭМС) инерциальных датчиков (гироскопов и акселерометров), приёмника спутниковой навигационной системы (СНС), магнитометра и альтиметра на основе МЭМС, размещённых в общем корпусе. Антенна СНС подключается через специальный разъем на корпусе ИБИНС.

Конструктивно ИБИНС должна быть выполнена в виде отдельного блока в герметичном корпусе. Связь прибора с остальными устройствами должна осуществляться через разъём. ИБИНС крепится на объекте жёстко или с использованием специального амортизирующего устройства, обеспечивающего защиту прибора от внешних воздействий в процессе эксплуатации. Жёсткость элементов конструкции прибора и узла крепления должны обеспечивать отсутствие механических резонансов на частотах выше 2 кГц.

Структурная схема одного из вариантов бесплатформенной инерциальной навигационной системы представлена на рис. 11.

Микромеханический бесплатформенный инерциальный блок БИБ должен обеспечивать измерение проекций вектора линейного ускорения и угловой скорости на оси чувствительности микромеханических акселерометров и гироскопов и выдачу этих параметров в осях приборной системы координат.

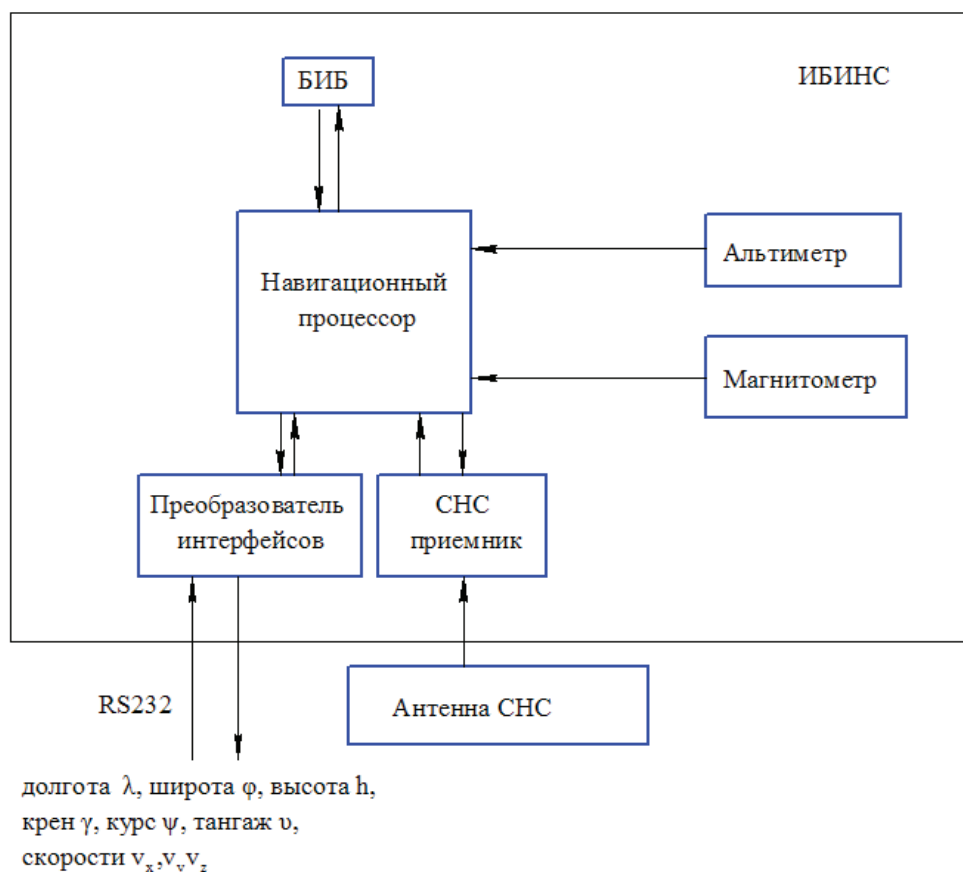


Рис. 11. Структурная схема ИБИНС

Микромеханические бесплатформенные инерциальные блоки, как правило, содержат блок измерителей угловой скорости и линейного ускорения на базе МЭМС, датчики температуры и напряжения питания, электронные схемы обработки сигнала и сигнальный микропроцессор, который осуществляет обработку первичной информации: проекций угловой скорости и линейного ускорения на оси чувствительности. Алгоритм работы БИБ предусматривает компенсацию температурных погрешностей и устранение систематических погрешностей (достигается калибровкой на специализированной стенде). Микромеханические гироскопы и акселерометры являются основными элементами БИБ и предназначены для измерения линейного ускорения и угловой скорости. Принцип действия микромеханических акселерометров основан на законах механики относительного движения. Акселерометры измеряют кажущееся ускорение

(разность между абсолютным ускорением объекта и ускорением свободного падения). Информацию об угловой скорости объекта можно получить, измеряя ускорение Кориолиса.

Блок–схема бесплатформенного инерциального блока, приведена на рис. 12.

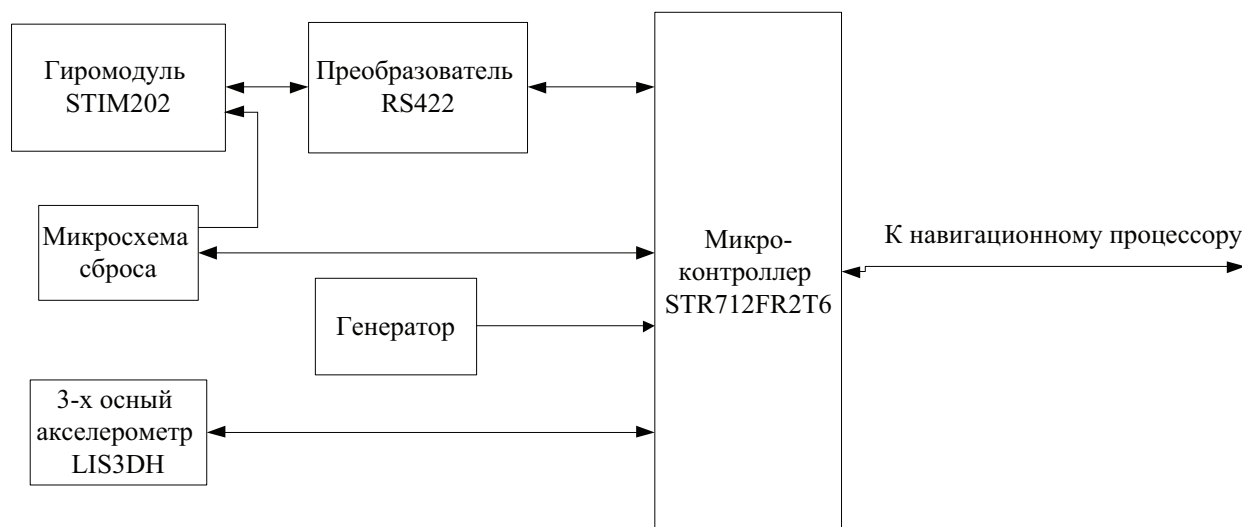


Рис. 12. Блок схема БИБ

Данные измерений передаются в виде пакетов данных фиксированного формата с заданным интервалом, соответствующим частоте опроса.

Программное управление асинхронным портом обеспечивает выдачу сообщений выходной информации в потоковом режиме с частотой 250 Гц.

Предварительная обработка информации обеспечивает компенсацию систематических составляющих измерительных каналов в соответствии с моделями их погрешностей.

Можно выделить следующие основные этапы в работе ИБИНС:

- 1) начальная выставка инерциальной системы;
- 2) вычисление значений проекций угловых скоростей и линейного ускорения на основе выходных напряжений датчиков (гироскопов и акселерометров);
- 3) вычисление значений приращений углов и кажущихся скоростей;
- 4) вычисление пространственного положения в географической системе координат (углы тангажа, крена и курса);
- 5) корректировка значений параметров пространственного положения посредством корректирующих алгоритмов;
- 6) выдача потребителю навигационных параметров: долгота λ , широта φ , высота h , крен γ , курс ψ , тангаж ν .

Поскольку реализуются перечисленные процедуры в различных модулях, то в течение работы ИБИНС должно быть обеспечено взаимодействие вычислителей из различных модулей.

Таким образом, в процессе работы ИБИНС приёмник СНС осуществляет определение текущих координат местоположения объекта. БИБ определяет параметры углового и линейного движения объекта, на основании которых высокоскоростной вычислитель осуществляет расчет углов ориентации (курса, крена и тангажа), коррекцию координат местоположения и выдает информацию бортовому компьютеру.

Схема размещения компонентов системы на борту вертолета осуществляется следующим образом: Антенна СНС крепится на стекле кабины пилота таким образом, чтобы обеспечить максимальный обзор небесной полусферы. Бортовой компьютер располагается в кабине пилотов, чтобы уменьшить длину кабеля для связи с ОНВ.

Список литературы

1. Грузевич Ю.К., Поздняков В.В., Хорохоров А.М., Исследование влияния светотехнического оборудования кабины вертолета на дальность действия пилотажных очков ночного видения // Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение. 1999 №3 С. 76-88.
2. MIL-STD 3009. Department of defense interface standard: lighting, aircraft, night vision imaging system (nvis) compatible.
3. ОСТ 1 00599-87. Оборудование внешнее авиационное светосигнальное. Общие технические требования.