

## Глава 6 ИНДИКАЦИЯ НА ЛОБОВОМ СТЕКЛЕ

Индикатор на лобовом стекле представляет собой проекционное устройство, экран которого размещается на линии визирования между пилотом и лобовым стеклом кабины (рис.6.1). Проецируемое изображение отражается от экрана в глаза пилота. Экран практически прозрачен, поэтому пилот видит индицируемую ему информацию на фоне окружающей обстановки, она словно парит в воздухе перед самолетом.

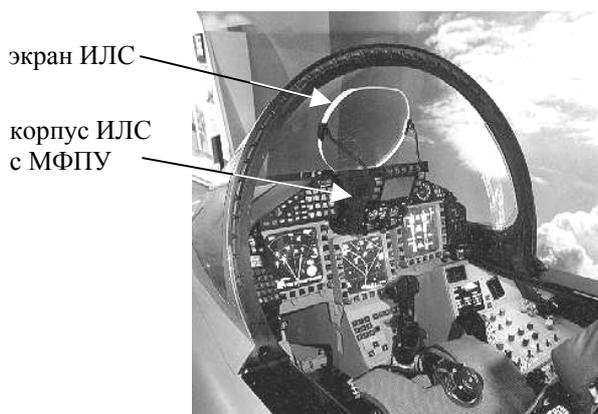


Рис.6.1. Кабина истребителя Eurofighter

Если бы изображение просто проецировалось на экран, то пилот, глядя в пространство, не мог бы ясно видеть информацию на экране, так как при этом его глаза фокусируются в бесконечность. Для того, чтобы увидеть, что же ему показывают, пилоту нужно было бы перефокусировать взгляд в плоскость экрана. Чтобы исключить необходимость аккомодации глаз изображение *коллимируют* - с помощью оптики пучок лучей от проектора разворачивается так, что все лучи становятся параллельны (лат. collineo – направляю по прямой линии). Другими словами, ИЛС проецирует изображение в бесконечность. В результате пилот видит это изображение, словно оно находится на большом удалении, поэтому аккомодация глаз не требуется и глаза меньше утомляются. Отсюда еще одно принятое для индикаторов данного типа название - *коллиматорный индикатор*.

Кроме того, что коллимация позволяет снизить утомление, она имеет еще одно достоинство. В условиях вибрации индикатор дрожит и изображение на сетчатке расплывается. Коллимация значительно ослабляет этот эффект.

Вынесение индикации с приборной доски на уровень глаз пилота имеет большое значение. Так как она постоянно находится перед глазами, не нужно отвлекаться от управления ЛА, чтобы на нее посмотреть. В напряженных ситуациях, например, в воздушном бою или при посадке, это жизненно важно. Пилот может больше времени находиться с поднятой головой (отсюда принятое за рубежом название ИЛС – “Head-Up Display”, то есть индикатор для

работы с поднятой головой), это повышает безопасность полета, снижает утомление пилота.

Первоначально ИЛС появились на боевых самолетах. Их появление позволило ускорить и упростить прицеливание оружия. Поэтому первые отечественные ИЛС назывались *авиационно-стрелковыми прицелами*. Пилот видит перед глазами прицельную метку, которую ему нужно совместить с целью путем разворота носа ЛА в сторону цели, после чего можно осуществлять пуск ракет или снарядов. Кроме прицельной информации на ИЛС индицируют основные параметры полета, состояние оружия (рис.6.2). Также на ИЛС выводят изображение от сенсоров, которые обеспечивают пилоту “искусственное зрение” тогда, когда его собственное зрение неэффективно – ночью или в условиях плохой видимости. Различные типы ИЛС, их характеристики, функции и состав систем индикации на лобовом стекле военных ЛА рассмотрены в разделе 6.1.



Рис.6.2. Вид индикации на ИЛС военного самолета

В последнее время ИЛС стали применять и на гражданских самолетах. Здесь первоочередной задачей является “искусственное зрение”, позволяющее взлетать и садиться в сложных метеорологических условиях. Также системы индикации на лобовом стекле пассажирских самолетов обеспечивают индикацию пилотажной и другой информации. Функции, состав, особенности и характеристики этих систем рассмотрены в разделе 6.2.

Новой областью применения ИЛС стало управление движением самолета по аэродрому. Решающие эту задачу системы рассматриваются в разделе 6.3.

## 6.1. Системы индикации на лобовом стекле для военных ЛА

Система индикации на лобовом стекле военного самолета или вертолета отображает пилотажную, навигационную и прицельную информацию. Чтобы не мешать пилоту наблюдать за окружающим пространством, индикация ограничена основными параметрами и имеет очень лаконичный вид (рис.6.2). Ночью на ИЛС индицируется изображение от инфракрасной системы переднего обзора.

Система состоит, как правило, из двух блоков (рис. 6.3): собственно ИЛС и генератора символов, осуществляющего прием информации от других систем ЛА, ее обработку и формирование изображения.



Рис.6.3. Система индикации на лобовом стекле: генератор символов (слева) и индикатор (справа)

Источником изображения в ИЛС служит проекционная ЭЛТ (рис.6.4), что обуславливает большие размеры индикатора, прежде всего – длину (500-650 мм).

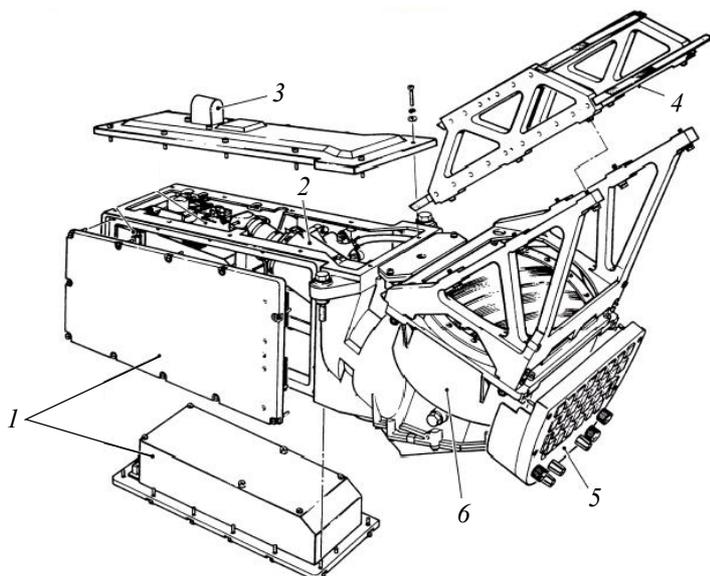


Рис.6.4. Конструкция индикатора на лобовом стекле:

1 – электронные модули, 2 – ЭЛТ, 3 – датчик освещенности, 4 – двойной комбайнер, 5 – многофункциональный пульт управления, 6 – оптическая система

Схема работы ИЛС самого распространенного *рефрактивного типа* показана на рис.6.5. Экран ЭЛТ 1 совмещен с передней фокальной поверхностью оптической системы. Оптическая система содержит зеркало 2, разворачивающее изображение, и линзовый объектив 3, проецирующий изображение с экрана ЭЛТ в бесконечность. Оптическая система проецирует изображение в направлении плоского прозрачного экрана 4, который является оптическим светоделителем: он пропускает лучи света от внешнего пространства и отражает в направлении пилота лучи света от проецируемого изображения. Этот экран принято называть *комбайнером* (combiner), так как он соединяет (комбинирует) для пилота изображение от ЭЛТ с изображением от внешнего мира. В описанном типе ИЛС комбайнер не обладает оптической силой, он только поворачивает лучи от оптической системы в направлении

пилота. Индикатор размещают над приборной доской так, чтобы выступающий вверх комбайнер оказался на уровне глаз пилота 5. При этом торец ИЛС вынужденно находится перед лицом пилота (рис.6.1). Чтобы драгоценное пространство приборной доски не пропадало, на этом торце часто размещают многофункциональный пульт (поз.6 на рис.6.4) для управления как самим ИЛС, так и другими задачами: навигацией, оружием и т.д. Иногда эту площадь используют и для индикации каких-либо параметров.

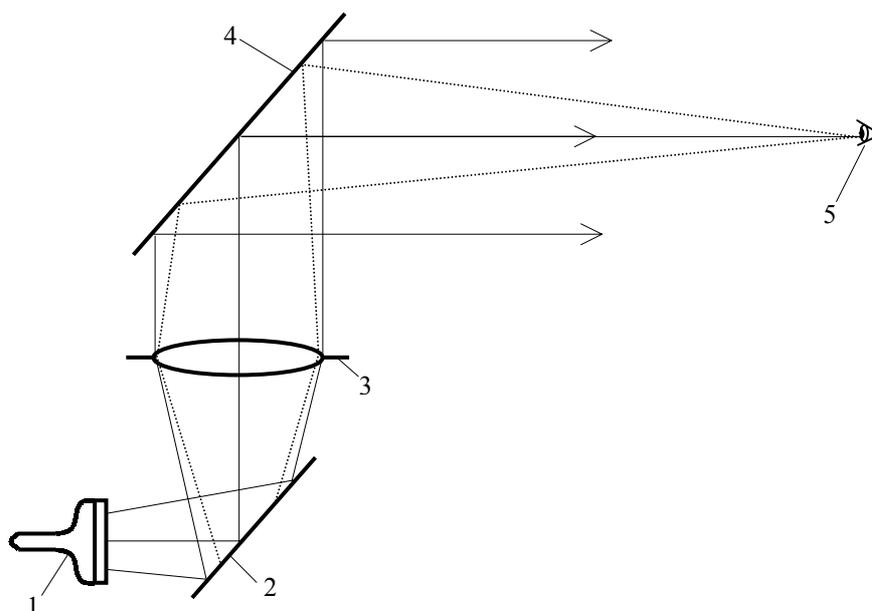


Рис.6.5. Схема работы рефрактивного индикатора:

1 - ЭЛТ, 2 - зеркало, 3 - объектив, 4 - комбайнер, 5 – расчетная точка наблюдения

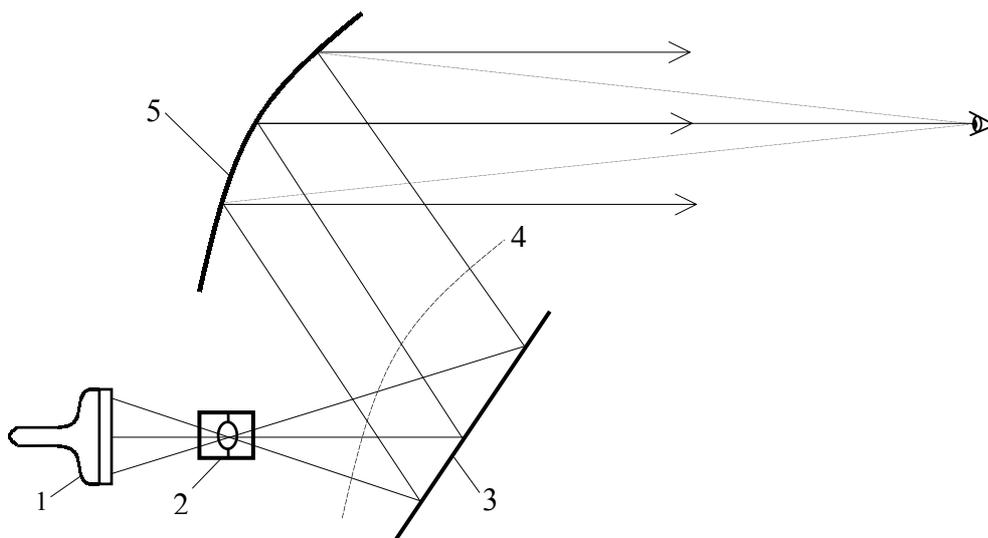
На верхнюю поверхность ИЛС часто устанавливают видеокамеру, фиксирующую все, что видит пилот (в том числе индицируемое на ИЛС изображение) для послеполетного анализа. Сигнал с видеокамеры поступает в регистрирующее устройство, которое находится в кабине, иногда – внутри того же ИЛС.

В новом поколении систем внутри ИЛС удастся разместить и генератор символов, при этом отпадает необходимость в отдельном электронном блоке и система превращается в моноблок.

Кроме ИЛС описанного рефрактивного типа используются индикаторы, относящиеся к *катадиоптрическому типу*. Такой ИЛС (рис.6.6) содержит не плоский, а искривленный комбайнер. Его называют *силовым комбайнером* (power combiner), так как в отличие от плоского комбайнера (plano combainer) он обладает оптической силой: не просто отражает, но и преломляет падающие на него лучи. Если форма силового комбайнера параболическая, то падающие на него лучи после отражения окажутся параллельными, т.е. изображение станет сколлимированным. Так как параболическую поверхность сложно изготовить, обычно ее заменяют сферической. Около оптической оси такая

поверхность почти совпадает с параболической, но при удалении от оси появляется искажение (*сферическая аберрация*).

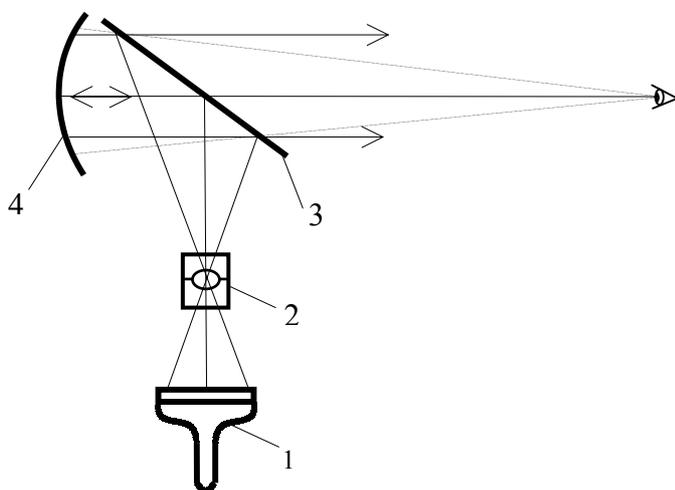
Как показано на рис.6.6, линзовый объектив 2 проецирует промежуточное несконструированное изображение с экрана ЭЛТ 1 в переднюю фокальную поверхность 4 силового комбайнера 5, который проецирует это изображение в бесконечность, направляя сконструированные пучки лучей в глаза пилота. Как и в рефрактивном ИЛС используется плоское зеркало 3, которое служит для излома оси.



**Рис.6.6. Схема работы катадиоптрического индикатора:**

*1 - ЭЛТ, 2 - объектив, 3 - зеркало, 4 – фокальная поверхность, 5 – силовой комбайнер*

Иногда вместо зеркала используют еще один плоский комбайнер (рис.6.7). Лучи отражаются плоским комбайнером 3 в сторону силового комбайнера 4, возвращаются от последнего уже сконструированными, снова проходят через плоский комбайнер 3 и попадают в глаза пилота.



**Рис.6.7. Катадиоптрический ИЛС с двумя комбайнерами:**

*1 - ЭЛТ, 2 - объектив, 3 – плоский комбайнер, 4 – силовой комбайнер*

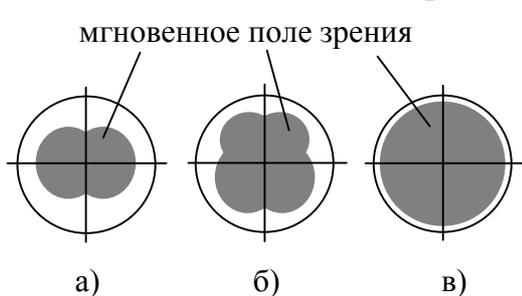
Основными характеристиками ИЛС являются: полное и мгновенное поле зрения; размер рабочей зоны; прозрачность (коэффициент пропускания); яркость изображения; равномерность яркости; контраст; ширина линии; погрешность положения символа, величина искажений размера и формы символов; способность индцировать растровое и смешанное символьно/растровое изображение, размер растрового изображения; совместимость с очками ночного видения; наличие автоматической регулировки яркости; габариты; масса; потребляемая мощность; наработка на неисправность.

*Мгновенное поле зрения* – угловой размер области индикации ИЛС, которую пилот видит без перемещения головы (любым глазом). *Полное поле зрения* – максимальный угловой размер области индикации ИЛС, которую пилот может увидеть с учетом перемещения головы. Естественно, мгновенное поле зрения меньше полного или равно ему.

Чем больше поле зрения, тем лучше ИЛС. Однако для увеличения поля зрения требуется увеличение размеров оптической системы, а значит увеличиваются габариты и масса индикатора, кроме того, увеличивается размер площади, которую пилот должен обзреть. Поэтому в этом отношении необходим компромисс. Теоретически и экспериментально установлено, что для символьной информации требуется полное поле зрения не менее  $30^\circ$  по азимуту и  $22-24^\circ$  по углу места, а для пилотирования ЛА ночью требуется растровое изображение не менее  $30^\circ \times 20^\circ$ .

Потенциально оба типа ИЛС способны удовлетворить этим требованиям и могут обеспечить полное поле зрения  $\text{Ø}30^\circ$ . Однако в рефрактивном ИЛС для увеличения поля зрения необходимо увеличивать размер линзы. У современных индикаторов линза уже имеет диаметр 120-150 мм и дальнейшее увеличение ее размера проблематично, так как при этом увеличиваются общие габариты индикатора, а разместить в кабине такой индикатор сложно.

Мгновенное поле зрения рефрактивного ИЛС ограничивается апертурой



линзового объектива. Оправа объектива является диафрагмой, сквозь которую пилот смотрит на экран ЭЛТ (показано пунктиром на рис.6.5). Возникает «эффект замочной скважины»: чем дальше от нее находится наблюдатель, тем меньшую часть общей картины он способен увидеть. Поэтому мгновенное поле зрения рефрактивного ИЛС существенно меньше полного (рис.6.8,а) и составляет  $15-20^\circ$ . Недостающие части полного поля зрения пилот обзреть за счет движений головы.

Рис.6.8. Мгновенное и полное поле зрения ИЛС:

а - рефрактивного типа с одним комбайнером, б - рефрактивного типа с двойным комбайнером, в - катадиоптрического типа

Для увеличения мгновенного поля зрения нужно располагать ИЛС ближе к пилоту. Увеличить размер мгновенного поля зрения в вертикальном направлении можно также двойным комбайнером, состоящим из двух параллельных комбайнеров, расположенных один за другим (рис.6.3, рис.6.4). При этом мгновенное поле зрения имеет форму, показанную на рис.6.8,б. Катадиооптические ИЛС не имеют недостатков рефрактивных, при сопоставимых габаритах и массе они позволяют получить большее поле зрения (рис.6.8,в) и без хроматической аберрации. Как и в предыдущем случае, ширина пучков лучей ограничивается апертурой линзового объектива, однако силовой комбайнер увеличивает диафрагму и выходной зрачок оптической системы в районе глаз пилота оказывается настолько большим, что пилот может видеть все изображение без необходимости движения головы (рис.6.6). А размер объектива может быть гораздо меньше, чем в рефрактивных ИЛС. По этой причине данный тип ИЛС в последнее время используется чаще.

Предыдущее поколение ИЛС, эксплуатируемое в строю, имеет общее поле зрения  $\varnothing 20^\circ$ - $\varnothing 28^\circ$ . Лучшие ИЛС нового поколения имеют общее и мгновенное поле зрения  $30^\circ \times 25^\circ$ .

ИЛС проектируют исходя из расчетного положения глаз пилота. Однако необходимо учитывать разницу в антропометрических характеристиках пилотов. К тому же голова пилота не остается все время неподвижной. Поэтому важно обеспечить достаточно большой размер рабочей зоны – области пространства вокруг расчетного положения глаз из которой обеспечивается полное поле зрения изображения на ИЛС. Для примера выходной зрачок индикатора ШКАИ (ОКБ «Электроавтоматика») составляет  $100 \times 70$  мм, это означает, что пока зрачок пилота находится в пределах выходного зрачка оптики, т.е. в пределах прямоугольника указанного размера, он видит изображение целиком.

ИЛС должен быть достаточно прозрачен, чтобы не затруднять визуальную работу пилоту. Это означает, что коэффициент пропускания для дневного света (*фототипический*) должен быть не менее 70-80%. Значит только 20-30% света от источника изображения достигает глаз пилота, поэтому высокая прозрачность ИЛС требует очень высокой яркости проектора. Обеспечить требуемую яркость даже для монохромной ЭЛТ очень сложно. Решением проблемы стало применение специальных покрытий комбайнера, у которых коэффициент отражения зависит от длины волны падающего на его поверхность света. Используют ЭЛТ с узкополосным люминофором, который излучает монохромный свет (обычно из желто-зеленой области спектра) в очень узком диапазоне длин волн. А покрытие комбайнера имеет коэффициент отражения с явно выраженным пиком как раз в области длин волн люминофора. Тогда комбайнер эффективно отражает в глаза пилота изображение от ЭЛТ, в то же время пропускает без помех лучи от внешнего мира (такие комбайнеры называются *дихроическими*).

Из-за своего принципа действия современные ИЛС – монохромные индикаторы. Предпринимались попытки создания ИЛС с 2 и 3 пиками характеристики отражения для отражения света от люминофоров разных цветов, что позволило бы создать цветные ИЛС, однако до настоящего времени такие индикаторы еще не созданы.

Перспективным способом обеспечения избирательной отражающей способности ИЛС является применение отражающих голограмм. Такая голограмма записывается в фоточувствительной среде двумя когерентными лазерными пучками. Запись создает синусоидальное изменение коэффициента отражения по толщине слоев материала с периодом, равным половине длины волны света, который нужно отражать. Так как записывающий материал весьма хрупкий, его необходимо защищать от внешних механических воздействий, поэтому голографический комбайнер представляет собой сэндвич из двух слоев стекла, между которыми находится среда с записанной голограммой. Такой комбайнер получается толстым и тяжелым. К тому же голограмма является высокоэффективным отражателем только для света, падающего под определенным углом, при отклонении угла падения света от оптимального, отражающая способность комбайнера резко падает, а для лучей, углы падения которых отличаются от расчетных более чем на  $8-10^\circ$ , голографический комбайнер практически прозрачен.

Последние достижения в технологии диэлектрических покрытий позволили создать ИЛС с синтезированной голограммой. Такая голограмма представляет собой ряд слоев прозрачного диэлектрика с разными коэффициентами отражения. Когда коэффициент отражения изменяется от слоя к слою по синусоидальному закону, такое покрытие ведет себя как голограмма, отражая только свет выбранной длины волны. Так как диэлектрики являются прочными материалами, они не требуют дополнительной защиты и могут быть нанесены на внешнюю поверхность субстрата. Это позволяет уменьшить массу комбайнера и наносить покрытие как на стекло, так и на легкий поликарбонат, что тоже приводит к снижению массы. Синтезированная голограмма имеет более высокий коэффициент отражения, что позволяет получить эффективное отражение в более широком диапазоне углов падения света. Следствием является лучшая равномерность яркости в пределах рабочей зоны и более высокая прозрачность. Голографический комбайнер имеет коэффициент отражения в узком рабочем спектральном диапазоне ЭЛТ 85-90% и одновременно обеспечивает коэффициент пропускания света от внешнего пространства до 80-90%.

Яркость изображения должна быть очень высокой, так как оно должно быть видно при любой освещенности, включая прямой солнечный свет (на большой высоте – до 100000 лк). Современные ИЛС обеспечивают яркость 5000-9000 кд/м<sup>2</sup>. Символьная информация рисуется в функциональном режиме, это обеспечивает необходимую днем высокую яркость изображения. Изображение от инфракрасной системы рисуется в растровом (телевизионном)

режиме. Может быть и совмещенный формат изображения, когда на растровое изображение накладывается символьная информация, она прорисовывается во время обратного хода луча. Так как при этом символы приходится рисовать с гораздо более высокой скоростью (100000-150000°/с против 15000-20000°/с), их яркость понижена, но ночью этой яркости вполне достаточно. Например, индикатор Type 1502 (*Smith Industries*) имеет яркость символов 5000 кд/м<sup>2</sup>, яркость растрового изображения 250 кд/м<sup>2</sup>, при совмещенном формате символы, индицируемые на растре, имеют яркость 840 кд/м<sup>2</sup>.

Неравномерность яркости изображения по полю экрана должна быть не более 40% в пределах рабочей зоны.

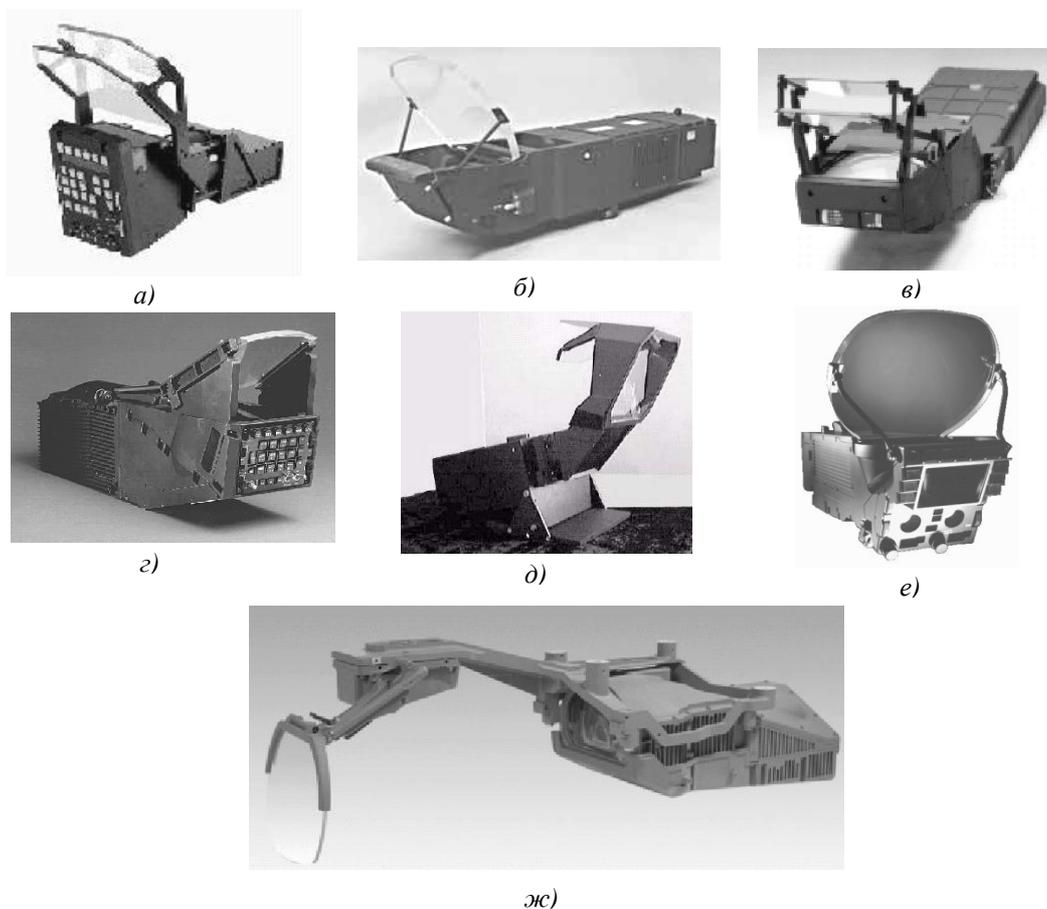


Рис.6.9. Индикаторы на лобовом стекле военных самолетов:

*а* - Sparrow Hawk (*Flight Visions*), *б* - индикатор истребителя Gripen (*Kaiser*), *в* - индикатор самолета C-17 (*BAE*), *г* - Model 967 (*ElOp*), *д* - ШКАИ (*ОКБ «Электроавтоматика»*), *е* - индикатор истребителя Eurofighter (*BAE*), *ж* - индикатор задней кабины Eurofighter (*BAE*)

Коэффициент контрастности ИЛС должен быть не менее 1,25 (ему соответствует яркостный контраст > 0,2).

Ширина линий у символов должна быть 0,9-1,5 мрад, погрешность положения символа (погрешность прицеливания), величина искажений размера

и формы символов должны быть не более 1-2 мрад. Указанные величины измеряются из точки расчетного положения глаз пилота.

Частота обновления символьной информации на экране ИЛС составляет обычно 50 Гц. Задержка индикации не должна превышать 100 мс.

Характеристики современных ИЛС военных ЛА приведены в таблицах 6.1, 6.2. Внешний вид некоторых из этих индикаторов показан на рис.6.9.

Таблица 6.1

**Характеристики отечественных индикаторов на лобовом стекле**

| Фирма,<br>тип ИЛС  | РПКБ,<br>ИКШ                                | Гефест и Т,<br>КАИ-24П        | Электроав-<br>томатика,<br>ИЛС-31 | Электроав-<br>томатика,<br>ШКАИ | Арсенал,<br>СКИ-77 <sup>(1)</sup> |
|--|---|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Применение   |   | Су-24                         | МиГ-29,<br>Су-27                  |                                 | Ан-70                             |
| Общее поле зрения (НхV)  | Ø30°  | Ø24,5°                        | Ø24°                              | 30°x22°                         |                                   |
| Мгновенное поле зрения   | 25°x21°                                     | 18°x12°                       |                                   |                                 | 30°x20°                           |
| Выходной зрачок, мм  |   |                               |                                   | 100x70                          | 45x90                             |
| Коэфф. пропускания, %  |   |                               |                                   |                                 | 75                                |
| Символы:<br>- макс. яркость, кд/м <sup>2</sup><br>- мин. коэф. контрастности<br>- ширина линии, мрад<br>- погрешность, мрад<br>- скорость рисования, %/с | +<br><br>1,54:1 <sup>(2)</sup><br><br>0,9-3 | +<br><br>1,2:1 <sup>(3)</sup> | +<br><br>                         | +<br><br>                       | +<br><br>1,25:1 <sup>(3)</sup>    |
| Растр:   | + <sup>(4)</sup>                            | +                             | +                                 | +                               | -                                 |
| Символы/растр  | +   | +                             | +                                 | +                               | -                                 |
| Встроенный ГС  | +   | -                             |                                   |                                 | +                                 |
| МФПУ   | +   | -                             |                                   |                                 | -                                 |
| Видеокамера  | +   |                               |                                   |                                 |                                   |
| Совместимость с ОНВ  |   |                               |                                   |                                 |                                   |
| Авт. регулировка яркости   | +   |                               |                                   |                                 | +                                 |
| Габариты, мм   | 220x375x600                                 | 220x460x480                   |                                   |                                 |                                   |
| Масса, кг  | 19,5  | 18                            |                                   |                                 | 31,5                              |
| Электропитание;<br>потребляемая мощность, Вт   | ~115,=27;<br>120                            | 52                            |                                   |                                 | ~115,=27;<br>310                  |
| Наработка на отказ,ч   |   |                               |                                   |                                 |                                   |

Примечания. <sup>(1)</sup> ИЛС верхнего расположения (под потолком кабины); <sup>(2)</sup> При яркости фона 35000 кд/м<sup>2</sup>; <sup>(3)</sup> При яркости фона 30000 кд/м<sup>2</sup>; <sup>(4)</sup> Размер растрового изображения 24°x18° или 21°x21°.

Сокращения: ОНВ – очки ночного видения; ГС – вычислитель/генератор символов

Таблица составлена по данным фирм-разработчиков

**6.2. Системы индикации на лобовом стекле для гражданских самолетов**

Потенциальные достоинства применения ИЛС в гражданской авиации были ясны уже давно. Пилотирование самолета по информации ИЛС позволяет не опускать взгляд в кабину, а значит пилот ни на секунду не теряет контроль над положением самолета относительно земли и над воздушным движением вокруг него. При этом не требуется перефокусировка глаз, а значит пилот

Таблица 6.2

## Характеристики зарубежных индикаторов на лобовом стекле для военных самолетов

| Фирма,<br>тип ИЛС  | Smith<br>Industries,<br>Type 1502                        | Flight Vision,<br>Sparrow<br>Hawk     | Flight Vision,<br>Night Hawk | BAE System,<br>HUD | BAE System,<br>FD-4500 | Thales<br>Avionics,<br>Smart HUD | Thales<br>Avionics,<br>VEH3022 | ElOp,<br>Model 967    |
|--|--|---------------------------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Применение   | F-5E/F,<br>Hawk 100                                      | F-14B, Kfir,<br>L159, PC-9            | X-35                         | Eurofighter        |                        | AlfaJet, A4<br>Skyhawk...        | Rafale                         | F-4, Су-30            |
| Общее поле зрения (HxV)  | Ø25°   | Ø25°                                  | Ø30°                         | 35°x25°            | Ø24°                   | Ø26°                             | 30x22°                         | Ø28°                  |
| Мгновенное поле зрения   | 21°x17°  |                                       |                              | 30°x20°            |                        |                                  |                                |                       |
| Выходной зрачок, мм  |  |                                       |                              |                    |                        |                                  |                                |                       |
| Коэфф. пропускания, %  | 70   | 80                                    |                              |                    |                        |                                  | 80                             |                       |
| Символы:<br>- макс. яркость, кд/м <sup>2</sup><br>- мин. коэф. контрастности<br>- ширина линии, мрад<br>- погрешность, мрад<br>- скорость рисования, °/с | +<br>5000<br>1,2:1<br>0,8 <sup>(1)</sup><br>1-2<br>16800 | +<br><br>1,3:1<br><br>0,5-2<br>135000 | +<br><br><br><br>135000      | +<br><br><br><br>  | +<br><br><br><br>10200 | +<br><br><br><br>10000           | +<br><br><br><br>              | +<br><br><br><br>8650 |
| Растр:   | + <sup>(2)</sup>   | +                                     | +                            | +                  | +                      | +                                | +                              | +                     |
| Символы/растр  | + <sup>(3)</sup>   | +                                     | +                            | +                  | +                      | +                                | +                              | +                     |
| Встроенный ГС  |  | -                                     |                              |                    | -                      | +                                |                                |                       |
| МФПУ   | +  | + <sup>(4)</sup>                      |                              | +                  | +                      | +                                |                                | +                     |
| Видеокамера  | +  | + <sup>(4)(5)</sup>                   | + <sup>(4)(5)</sup>          |                    | +                      | +                                |                                | +                     |
| Совместимость с ОНВ  | +  | +                                     | +                            |                    |                        | +                                |                                | +                     |
| Авт. регулировка яркости   |  | +                                     | +                            |                    |                        |                                  | +                              | +                     |
| Габариты, мм   | 171x301x489  |                                       | 135x ? x587                  |                    |                        | 150x520x390                      |                                |                       |
| Масса, кг  | 11,3   | 7,8                                   | 12,6                         |                    | 11,8 <sup>(6)</sup>    | 12                               |                                | 21                    |
| Электропитание;<br>потребляемая мощность, Вт   | =28 и =5,4;<br>129                                       | =28;<br>45                            |                              |                    |                        | ~115<br>150                      |                                | ~115,=28;             |
| Наработка на отказ,ч   | 2000   | 3500                                  | 2500                         |                    |                        | 2000                             |                                |                       |

Примечания. <sup>(1)</sup> При яркости 400 кд/м<sup>2</sup>; <sup>(2)</sup> Растровое изображение имеет размер 24°x18°, яркость 250 кд/м<sup>2</sup>, частота кадров 25/50 или 30/60 Гц; <sup>(3)</sup> При совмещенной индикации скорость рисования символов 100000°/с, яркость 840 кд/м<sup>2</sup>; <sup>(4)</sup> Возможна комплектация по желанию заказчика; <sup>(5)</sup> С регистрирующим устройством; <sup>(6)</sup> При яркости фона 25000-30000 кд/м<sup>2</sup>; <sup>(8)</sup> Требуется отдельный блок питания и отдельный ГС (13,6 кг).  
Сокращения: ОНВ – очки ночного видения; ГС – вычислитель/генератор символов

Таблица составлена по данным фирм-разработчиков

меньше утомляется. Все это позволяет повысить безопасность полетов, что также важно для пассажирских самолетов.

Кроме того, как показывают исследования фирмы GEC-Marconi, в задымленной кабине (например, вследствие короткого замыкания в проводке) индикация на ИЛС видна на 11 минут дольше, чем на приборной доске.

Практически пригодные ИЛС для военных самолетов существуют уже не один десяток лет и их адаптация к гражданскому сектору не представляла большой проблемы. Основное препятствия к внедрению этого типа индикаторов состояло только в финансовой стороне вопроса: авиакомпаниям необходимы были ясные доказательства того, что затраты на дополнительное оборудование окупятся. Активное внедрение систем индикации на лобовом стекле в гражданской авиации началось только в последние годы. И это связано в первую очередь с их способностью обеспечить пилота “искусственным зрением”. Это их качество позволяет различать визуальные ориентиры на высоте принятия решения и выполнять заход на посадку в условиях ограниченной видимости (туман, дождь, снег и т.п.). Система индикации на лобовом стекле позволяет также взлетать в условиях плохой видимости. Следовательно, установка на борт такой системы позволяет снизить требования по минимально допустимой для данного типа ЛА видимости. Тем самым меньше вероятность срывов рейсов и связанных с этим экономических потерь. Кроме того, применение системы позволяет осуществлять посадку по категории II или III на ВПП, оборудованную только для посадки по категории I.

Сенсорами самолета, обеспечивающими «искусственное зрение» (enhanced vision), являются инфракрасная система переднего обзора (ИСПО) и радар миллиметрового диапазона (РМД). ИСПО обеспечивает детальное видеоизображение с хорошей глубиной резкости и почти не требует обработки изображения перед его индикацией. Однако существующие ИСПО плохо видят сквозь туман. Сейчас ведется разработка ИСПО, работающих в диапазоне 2-6 микрон (вместо 3-5 микрон у существующих систем), с их появлением способности системы улучшатся. Что касается РМД, он позволяет получить только довольно зернистое видеоизображение с малой глубиной резкости и это изображение требует дополнительной обработки. Но у такого радара есть два преимущества перед ИСПО: он способен хорошо видеть в тумане и имеет гораздо больший диапазон дальности. Авиационные РМД работают на частоте 35 ГГц или 94 ГГц.

Возможна также индикация на ИЛС синтезированного изображения, построенного на основе базы данных о рельефе пролетаемой местности.

Другой важной функцией систем индикации на лобовом стекле является отображение пилотажной информации. При наличии такой системы на борту, она, как правило, сертифицируется в качестве основного пилотажного индикатора. Пилотажная информация может индцироваться сама по себе, а может накладываться на растровое изображение от ИСПО или РДМ. Вид изображения пилотажной информации напоминает традиционный пилотажный



Рис.6.10. Индикация системы HGS на посадке

формат на приборной доске (рис. 6.10). В ее составе индицируются основные пилотажные параметры (воздушная и путевая скорость, тангаж, крен, высота, вертикальная скорость, курс ЛА, скорость и направление ветра), символ ВПП, директорный индекс, показывающий требуемую траекторию движения, указывается начало торможения, длина ВПП и другая необходимая информация. Часто на ИЛС дополнительно выводят сигнализацию - от системы предупреждения столкновений, о недостаточной скорости, о сдвиге ветра. Во время отрыва самолета от ВПП система

может использоваться для контроля взлетного угла и предотвращения опасности задевания поверхности ВПП хвостом самолета. На земле система может использоваться и для контроля руления (раздел 6.3).

В общем случае система включает следующие блоки: проектор, комбайнер, БЦВМ, генератор символов, панель сигнализации, пульт управления (рис.6.11).

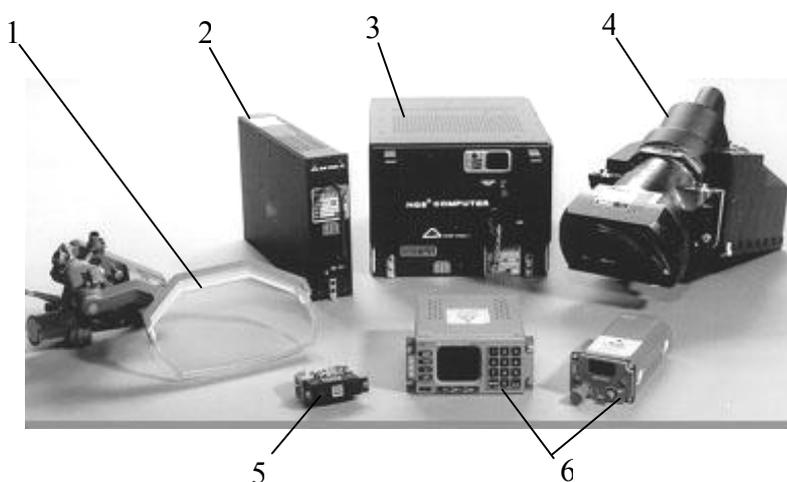


Рис.6.11. Состав системы HGS:  
1- комбайнер, 2 - генератор символов, 3 - БЦВМ, 4 - проектор, 5 - панель сигнализации, 6 - пульты управления

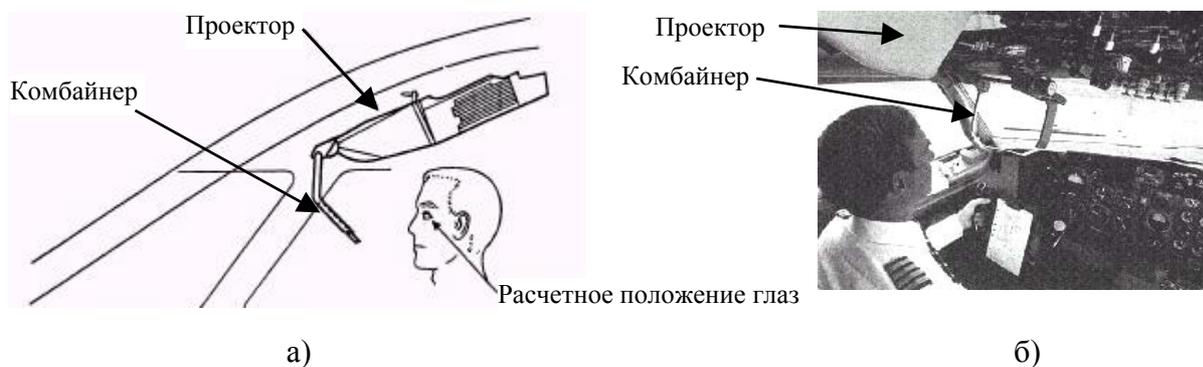
БЦВМ, находящаяся в техотсеке, принимает сигналы от сенсоров и оборудования самолета, оценивает их достоверность, обрабатывает эту информацию, производит точный расчет параметров захода и определяет соответствующее состояние и положение символов (элементов изображения) на экране. Эту результирующую информацию БЦВМ передает в генератор символов. Проектор содержит ЭЛТ, на экране которой создается изображение, и электронику, которая формирует изображение, регулирует его яркость. Управляющие сигналы поступают в проектор из генератора символов, который рисует изображение на ЭЛТ в соответствии с информацией от БЦВМ. Изображение с экрана ЭЛТ проецируется на комбайнер. Пульт управления

позволяет пилоту вводить данные, необходимые для работы системы (например, длину ВПП, угол наклона глиссады) и управлять ее работой. Панель сигнализации располагается на приборной доске перед командиром корабля. Она индицирует состояние системы и выдает предупреждающую сигнализацию во время посадки по категории IIIa и во время взлета.

БЦВМ и генератор символов располагаются в техотсеке, остальные блоки размещены в кабине экипажа.

Состав системы может отличаться от приведенного. БЦВМ, пульт управления и панель сигнализации могут интегрироваться с соответствующим оборудованием других бортовых систем и тогда они не входят в состав системы ИЛС. Генератор символов может быть совмещен с БЦВМ. Оба этих блока могут образовывать с проектором и комбайнером моноблок, особенно если ИЛС устанавливается не на потолке, а над приборной доской - как на военных ЛА. Наконец, система может содержать два набора блоков: один предназначается для командира корабля, другой обеспечивает индикацией ИЛС второго пилота.

Применение ИЛС на гражданских самолетах имеет ряд особенностей. На боевых самолетах стремятся обеспечить пилоту круговой обзор и предусматривают возможность катапультирования, поэтому над головой пилота нет ничего, кроме прозрачного фонаря кабины, а ИЛС размещают над приборной доской. В пассажирских самолетах кабина имеет потолок, что позволяет расположить ИЛС в более удобном месте – над головой пилота (рис.6.12).



**Рис.6.12. Расположение ИЛС в кабине пассажирского самолета:**  
*а – схема установки, б – фотография кабины с установленной системой HGS*

Так как пилот пользуется ИЛС в основном только на взлете и посадке, комбайнер делают поворотным, чтобы пилот мог убрать его вверх или в сторону, когда он не нужен.

Военные ИЛС должны обеспечивать высокую точность, которая нужна для применения неуправляемого оружия – пушек, НУРС. На гражданских ЛА такой задачи нет, поэтому требования к точности индикации скромнее, хотя и того же порядка: погрешность индикации по линии визирования пилота должна

быть не более 5 мрад, в пределах поля зрения  $10^\circ$  - не более 7,5 мрад, в пределах поля зрения  $30^\circ$  - не более 10 мрад. Зато на пассажирских самолетах требуется более высокая надежность системы индикации: для того, чтобы можно было использовать ИЛС в качестве главного средства пилотирования, вероятность индикации ошибочной информации за час полета должна быть не более  $10^{-9}$ . К военным ИЛС такое требование не предъявляют. Чтобы его обеспечить, используют обширные встроенные средства контроля, а для критических символов выполняют двойной расчет требуемого положения на экране (или обратный расчет: вычисляют значение параметра по положению символа) с последующим сравнением результатов.

От ИЛС гражданских самолетов требуется более высокий уровень яркости растрового изображения. Это связано с тем, что нужно обеспечить взлет и посадку с помощью «искусственного зрения» ИЛС не только ночью, но и в дневное время, когда туман, дождь или снег не позволяют пилоту ясно видеть полосу. Так как освещенность днем гораздо выше, чем ночью, растровое изображение на ИЛС должно иметь яркость не менее  $2100 \text{ кд/м}^2$ .

Остальные требования к ИЛС для гражданских самолетов такие же, как и для военных (см. раздел 6.1).

За рубежом для пассажирских самолетов разработаны и серийно выпускаются несколько систем индикации на лобовом стекле: Head-Up Guidance System – HGS (*Flight Dynamics*), FV-2000 (*Flight Vision*), Head-Up Flight Display System – HFDS (*Thales Avionics*), HUD 2020 и HUD 2022 (*BAE Systems* вместе с *Honeywell*), Best Innovative Reliable Display – BIRD (*ElOp*).

Характеристики этих систем приведены в таблице 6.3.

Требования к ИЛС пассажирских и транспортных самолетов устанавливают стандарты ARINC 764, SAE AS8055, SAE ARP 5288.

### **6.3. Системы управления движением на аэродроме**

По мере того, как возрастает загруженность аэропортов, все более острой становится проблема управления движением самолетов на земле. Современный аэродром имеет сложную топологию и содержит несколько ВПП и рулежных дорожек. По его территории и в воздушном пространстве над ним порой перемещаются в разных направлениях десятки самолетов, одни из которых готовятся к взлету, другие взлетают, третьи садятся, а четвертые движутся к пассажирским терминалам. В последнее время возросло количество столкновений самолетов между собой и с наземной техникой. Пилоты допускают ошибки: занимают не свою ВПП, при рулении или на посадке выкатываются за пределы полос. По данным Федеральной авиационной администрации США количество подобных происшествий в американских аэропортах за последние 10 лет увеличилось более, чем вдвое. Поэтому активно ведутся работы по созданию систем, которые могут облегчить пилоту создание

Таблица 6.3

## Характеристики систем индикации на лобовом стекле пассажирских самолетов

| Фирма,<br>тип системы   | Thales<br>Avionics,<br>TMV 1451 | Thales<br>Avionics,<br>Electronic<br>HUD | Thales<br>Avionics,<br>HFDS                       | Thales<br>Avionics, D-<br>HUDS | Flight<br>Visions,<br>FV-2000E               | Flight<br>Dynamics,<br>HGS                        | BAE и<br>Honeywell<br>HUD2020 | Elop,<br>BIRD              |
|---|---------------------------------|--|---|--------------------------------|--|---|-------------------------------|----------------------------|
| Применение  | A320                            | A330,<br>A340                            | A330/340,<br>MD-82,<br>B 737/777<br>и др.         |                                | G III/IV,<br>Bell 210,<br>Falcon 50<br>и др. | C-130J,<br>Dash 8,<br>ERJ-145<br>и др.            | G IV/V,<br>B 737-800          |                            |
| Функции:<br>- визуализация<br>- пилотирование<br>- контроль руления<br>- сигнализация сдвига ветра<br>- сигнализация СПС<br>- сигнализация СППЗ | -<br>+                          | -<br>+                                   | +<br>+<br>+<br>+                                  |                                | +<br>+                                       | +<br>+<br>+<br>+<br>+                             | +<br>+<br>+                   | + <sup>(2)</sup><br>+<br>+ |
| Источник изображения  | ЭЛТ                             | ЭЛТ                                      | ЭЛТ   | ЖКИ                            | ЭЛТ  | ЭЛТ   | ЭЛТ                           | ЭЛТ                        |
| Полное поле зрения  | 24°x15°                         | 30°x24°                                  | 40°x26°   | 35°x26°                        | Ø30°   | 30°x26° <sup>(1)</sup>                            | 30x25°                        |                            |
| Разрешающая способность   |                                 |  |   | 1280x1024                      |  |   |                               |                            |
| Яркость символов/растра   |                                 |  |   | 10000/                         |  | 7600/3400   |                               |                            |
| Авт.регулировка яркости   | +                               | +  | +   |                                |  |   |                               |                            |
| Коэф.контрастности, не менее  |                                 |  |   | 1,3:1                          |  |   |                               |                            |
| Тип оптической системы  |                                 |  | катадиопт-<br>рический,<br>голограф.<br>комбайнер |                                |  | катадиопт-<br>рический,<br>голограф.<br>комбайнер | рефрак-<br>тивный             | рефрак-<br>тивный.         |
| Масса, кг   | 15,5                            | 15,5                                     | 32,7  | 23                             | 10-14,25                                     | 27  |                               |                            |
| Наработка на отказ, ч   | ИЛС- 5000,<br>ГС- 13000         |  |   |                                |  |   |                               |                            |
| Потребляемая мощность, Вт   |                                 |  | 160   | 160                            |  |   |                               |                            |

Примечания. <sup>(1)</sup> Растровое изображение имеет размер 30°x24°; <sup>(2)</sup> По желанию заказчика

Сокращения: ГС- генератор символов, ЖКИ – жидкокристаллический индикатор, СПС – система предупреждения столкновений, СППЗ – система предупреждения приближения земли, ЭЛТ – электронно-лучевая трубка

По материалам фирм-разработчиков

мысленной модели ситуации, обеспечивая его информацией о собственном положении («где я?»), о движении на аэродроме и над ним («где другие?»), о требуемом направлении движения («куда следовать?»), предупреждающих о возможных конфликтах с другими ЛА и транспортными средствами, об отклонении от нужного маршрута движения и об опасном приближении к краю полосы. Ценность таких систем еще и в том, что они способны помочь пилоту в условиях плохой видимости – ночью, в тумане и т.п.

Важная роль при этом отводится индикации на лобовом стекле. Так как при рулении, взлете и посадке пилот осуществляет визуальный контроль движения самолета, индикация на приборной доске не удобна и не так эффективна, как на ИЛС. По мнению аэрокосмического агентства NASA, система управления движением на аэродроме (СУДА) должна в будущем стать стандартным оборудованием самолета, таким же, каким сегодня стала система предупреждения столкновений в воздухе.

СУДА выполняет следующие функции:

- предотвращает попадание не на свою полосу;
- предупреждает о поворотах;
- управляет рулением;
- обеспечивает «искусственное зрение» (раздел 6.2);
- информирует о движении на аэродроме, о занятости полос;
- передает инструкции служб УВД.

Основные элементы СУДА:

- система индикации на лобовом стекле,
- система самолетовождения;
- многорежимный приемник;
- система зависящего наблюдения ADS-B;
- база данных аэропортов.

Как видно из этого перечня, только база данных аэропортов является дополнением существующей авионики, все остальные системы уже устанавливаются на борту, их использование в СУДА является расширением их функций.

Во время передвижения самолета по рулежным и взлетно-посадочным полосам аэропорта система индицирует пилоту указания, исходя из базы данных аэропорта и инструкций служб УВД, полученных по цифровому каналу передачи данных. Информация системы отображается на индикаторе на лобовом стекле. От терминала до точки отрыва (и наоборот) пилоту индицируется траектория движения, которую нужно выдерживать (рис.6.13). Формат изображения содержит осевую линию и границы ВПП, директорный индекс, расстояние до поворота, цифровые счетчики заданной и фактической скоростей, курса, сигнализацию опасности столкновения.

Местоположение самолета определяется по информации спутниковой навигационной системы GPS (или инерциальной навигационной системы, сопряженной с GPS ). Для того, чтобы обеспечить точность позиционирования

не хуже 1 м, используется дифференциальный режим GPS. Сведения о данном аэропорте (расположении рулежек, взлетно-посадочных полос и т.п.) берутся системой из базы данных аэропортов мира.

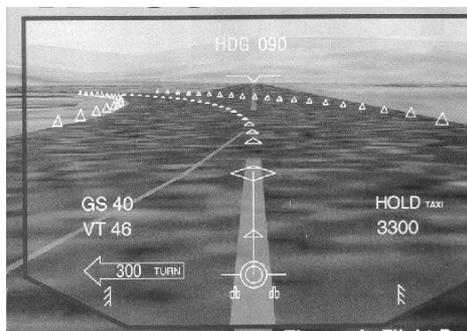


Рис.6.13. Вид индикации на ИЛС при движении по полосе

Для информирования пилотов о положении других ЛА на аэродроме, о занятости полос и возможных конфликтах используются данные, получаемые от системы зависящего наблюдения ADS-B. Эти сведения, а также инструкции УВД поступают по цифровой беспроводной связи через многорежимный приемник в систему самолетовождения, которая передает их в систему индикации на лобовом стекле. В свою очередь текущее положение данного самолета непрерывно передается по цифровому каналу для информирования УВД и других участников движения на аэродроме.

Важным достоинством системы управления движением на аэродроме является то, что она позволяет безопасно рулить, взлетать и садиться даже в условиях плохой видимости.

Подобные системы уже разработаны и эксплуатируются, это Surface Guidance System (*Flight Dynamics*) и Visual Guidance System (*BAE Systems*). Аналогичная система Runway Inursion Prevention System (RIPs) создана в рамках проводимых агентством NASA исследований. Информация выводится на ИЛС, а также на индикатор на приборной доске, который показывает движущуюся карту аэродрома (рис.6.14), на которой отмечено текущее положение данного самолета, другие подвижные объекты (символы в виде треугольника), а красным цветом выделены занятые ВПП и рулежные дорожки.

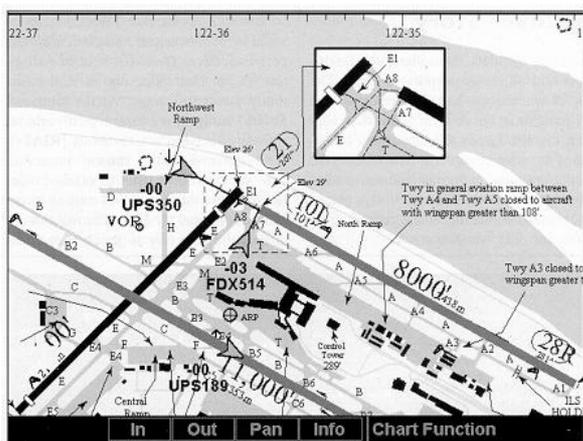


Рис.6.14. Индикация карты аэропорта

## 6.4. Перспективы ИЛС

В качестве источника изображения в ИЛС применяется электронно-лучевая трубка, что обуславливает большие габариты и массу индикатора. Также ЭЛТ имеет небольшой ресурс: со временем ее яркость уменьшается и примерно через 500 ч необходимо производить замену ЭЛТ (при том, что остальные части ИЛС имеют наработку на неисправность более 4000 ч). До недавнего времени никаких реальных альтернатив проекционным ЭЛТ не было, использовать в качестве источника изображения плоские матричные индикационные панели не удавалось из-за недостаточной яркости и разрешающей способности изображения. Но сейчас уже появились ИЛС, использующие в качестве источника изображения жидкокристаллические панели. Также проводятся работы по применению в ИЛС проекционных устройств, используемых в бытовых проекторах.

ЖКИ, которые могут использоваться в ИЛС, в зависимости от положения источника света разделяются на трансмиссионные и отражающие. В трансмиссионных ЖКИ (раздел 5.8) источник света находится за жидкокристаллической панелью, которая выполняет функции светоклапанного прибора. Свет проецируется на комбайнер через жидкокристаллическую матрицу, каждый пиксель которой в зависимости от управляющего сигнала либо пропускает, либо не пропускает свет. В результате на экране (комбайнере) создается нужное изображение. В отражающих ЖКИ источник света располагают так, чтобы свет отражался от жидкокристаллической панели на экран, при этом каждый пиксель либо отражает, либо не отражает (пропускает) свет. Важным преимуществом отражающих ЖКИ является более высокая разрешающая способность, так как пиксели могут быть расположены ближе друг к другу, чем в трансмиссионных ЖКИ. Оба типа ЖКИ по сравнению с ЭЛТ обещают значительно повышение надежности, габаритно-массовых характеристик с одновременным улучшением качества изображения.

Микрозеркальные индикаторы (раздел 11.2) содержат матрицу микроскопических зеркал, каждое из которых отвечает за свой пиксель экрана и либо проецирует на него свет от источника света, либо нет. Такие индикаторы имеют очень маленькое время переключения – порядка 15 мкс, это примерно в 1000 раз меньше, чем у ЖКИ. Соответственно меньше задержка изменения изображения. Далее, контраст и стойкость к внешним воздействующим факторам у микрозеркальных индикаторов больше, чем у ЖКИ. Недостатком является необходимость использовать только точечный источник света, обычные флуоресцирующие лампы не подходят. Сравнение характеристик альтернативных технологий создания изображения на ИЛС приведено в таблице 6.4 [78].

И ЖКИ, и микрозеркальные индикаторы существуют довольно давно. Что делало ЭЛТ незаменимой для бортовых ИЛС – так это то, что она является одновременно и модулятором изображения, и источником света. Если в

качестве модулятора света ЭЛТ уступает своим конкурентам, то замены ей как источнику света пока нет. В бытовых проекторах в качестве источников света используют дуговые лампы, но существует ряд препятствий к применению этих ламп в авиации. Например, при ускорениях дуга искажается, что приводит к уменьшению количества света. Лазер слишком дорог и громоздок, есть проблемы в отношении охлаждения и обеспечения безопасности глаз. Другие источники света (светоизлучающие диоды, высокочастотное флуоресцентное излучение и т.д.) не обеспечивали необходимых яркости и контраста из-за расхождения лучей. Однако в последнее в этой области удалось добиться прогресса.

Таблица 6.4

**Характеристики ИЛС на базе перспективных технологий индикации**

| <i>Характеристика</i>            | <b>Микрзеркальные индикаторы</b> | <b>Трансмиссионные ЖКИ</b> | <b>Отражающие ЖКИ</b> |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <i>Срок службы, ч</i>            | 70000                            | 40000                      | 40000                 |
| <i>Яркость, кд/м<sup>2</sup></i> | до 20000                         | 7500                       | 6000                  |
| <i>Коэф.контрастности</i>        | 350:1                            | 200:1                      | 50:1                  |
| <i>Частота обновления, Гц</i>    | 77                               | 60                         | 60                    |
| <i>Габариты, мм</i>              | 170x150x500                      | 170x150x500                | 140x150x300           |
| <i>Масса, кг</i>                 | 7,5                              | 6,3                        | 4,5                   |

Говоря о перспективах ИЛС, следует отметить, что с появлением нашлемных индикаторов, о которых пойдет речь в следующей главе, ИЛС сдают свои позиции и, видимо, со временем будут просто вытеснены с борта – по крайней мере на военных ЛА, где пилот вынужденно летает в защитном шлеме. Пока они сохраняются только потому, что нашлемные индикаторы не обеспечивали достаточную точность прицеливания. Однако нашлемные системы индикации прогрессируют и уже появились системы, точность которых близка к точности ИЛС.

На пассажирских же самолетах экспансия ИЛС только начинается и позиции индикаторов этого типа в ближайшее время будут только укрепляться.

Следует отметить, что обладая несомненными достоинствами, индикация на лобовом стекле не лишена и принципиальных недостатков. Индицируемая информация постоянно загораживает пилоту часть внешнего пространства в самой важной области – прямо по направлению полета. Чтобы как можно меньше мешать пилоту наблюдать окружающую среду, индикацию делают предельно простой и лаконичной. Приходится искать компромисс между качественным изображением и возможностью наблюдения. В результате страдают оба этих компонента. Далее, ИЛС все-таки не совсем прозрачен, к тому же отражающие покрытия окрашивают изображение от внешнего мира в розоватый цвет. Что еще хуже, индицируемая символика не только загораживает собой находящиеся за ней области пространства, ее влияние

выражается в перераспределении внимания пилота, из-за этого возможно маскирование событий и объектов во внешней среде: яркая символьная индикация «притягивает» взгляд пилот, вследствие чего он не всегда видит, что происходит даже в незакрытых областях пространства. Также имеются сведения, что при пользовании ИЛС зрительную систему человека не удастся обмануть путем фокусирования изображения в бесконечность, она по некоторым слабоуловимым признакам определяет обман и встает в тупик, в итоге у пилота на расстоянии вытянутой руки образуется так называемый «темный фокус», приводящий к неправильной аккомодации глаз и, как следствие, к неправильной оценке дистанции.

Следует также сказать и о том, что размещение ИЛС над приборной доской неудобно и с точки зрения компоновки кабины, и с точки зрения наблюдения передней полусферы, т.к. корпус индикатора увеличивает высоту приборной доски и соответственно уменьшает зону наблюдения, особенно важную для пилота вблизи земли.