

## СИСТЕМА ИНТЕРАКТИВНОГО АНАЛИЗА ЗОНЫ ОБЗОРА ЧЕРЕЗ ОСТЕКЛЕНИЕ КАБИНЫ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Борис Лейзерович АРТАМОНОВ родился в 1947 г. в городе Москве. Заместитель заведующего кафедрой МАИ. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Основные научные интересы — в области аэродинамики и проектирования летательных аппаратов вертикального взлета и посадки с винтовыми несущими системами. Автор 68 научных работ. E-mail: k102@mai.ru

Boris L. ARTAMONOV was born in 1947 in Moscow. Vice-head of «Designing of helicopters» Department MAI, Ph.d. His scientific interests are in helicopter aerodynamics and designing. He has published over 68 scientific publications. E-mail: k102@mai.ru

Евгений Иванович МОЙЗЫХ родился в 1959 г. в городе Смоленске. Старший преподаватель МАИ. Основные научные интересы — в области проектирования летательных аппаратов вертикального взлета и посадки с винтовыми несущими системами, CAD/CAM-технологий автоматизированного проектирования и конструирования. Автор более 20 научных работ E-mail: k102@mai.ru

Eugeny I. MOJZYH was born in 1959 in Smolensk. Senior teacher MAI. His scientific interests are in helicopter aerodynamics and CAD/CAM — technology. He has published over 20 scientific publications. E-mail: k102@mai.ru

*Рассматривается программное обеспечение, предназначенное для автоматизированного построения и сравнительного анализа зоны обзора внекабинного пространства с возможных мест расположения пилота летательного аппарата (ЛА). Основой для построения границ зоны обзора являются виртуальные параметрические модели кабины и рабочего места пилота, выполненные на базе системы твердотельного моделирования SolidWorks. Разработанная система позволяет в интерактивном режиме проводить анализ компоновочных и конструкторско-технологических решений облика кабины и остекления на всех проектно-конструкторских этапах жизненного цикла ЛА и обеспечить соответствие границ фактической зоны обзора внекабинного пространства нормативным требованиям авиационной эргономики.*

*The software intended for automated construction and the comparative analysis of a zone of the flight compartment view of space from the possible locations of the pilot of aircrafts is considered. A basis for construction of borders of a zone of the review are virtual parametrical models of a cabin and a workplace of the pilot, executed on the basis of system of solid-state modelling SolidWorks. The developed system allows to carry out in an interactive mode the analysis of layout and technological decisions of shape of a cabin and glazing at all design stages of life cycle of aircraft and to provide conformity of borders of an actual zone of the flight compartment view spaces to normative requirements of aviation ergonomics.*

**Ключевые слова:** летательный аппарат, кабина пилота, зоны обзора, математическая модель.

**Key words:** the aircraft, cabin of the pilot, zone of the view, mathematical model.

Кабины пилотов современных ЛА проектируются с учетом требований эргономики: удобства посадки пилота, работы с органами управления и приборами в кабине, а также наличия достаточных зон обзора внекабинного пространства, размер и положение которых регламентируются нормативными документами. Отраслевой стандарт [5] устанавливает три метода оценки обзора через остекление кабины с рабочего места пилота ЛА: расчетный, измерительный и экспертный.

*Измерительный метод* применяется при макетировании и летных испытаниях. Измерение углов обзора осуществляется с помощью угломерного инструмента и состоит из ряда трудоемких после-

довательных операций. Абсолютная погрешность метода составляет  $\pm 1^\circ$ .

*Экспертный метод* оценки углов обзора, также применяемый при макетировании и летных испытаниях, состоит в выявлении преобладающего мнения специалистов в обстановке, исключающей прямые дебаты и позволяющей взвешивать суждения с учетом доводов всех экспертов.

*Расчетный метод* применяется на этапах проектирования ЛА. Для этого на чертеже общего вида фонаря кабины должны быть заданы: система координат рабочего места летчика; координаты контурных точек границ остекления, назначенные с интервалом в  $5^\circ$ — $10^\circ$ ; координаты главной визир-

ной точки и визирных точек, образующих предельную траекторию движения головы летчика.

При определении границ конструктивного обзора принимается, что глаз летчика находится в главной визирной точке, зрение летчика монокулярно и обзор ограничен конструкцией кабины вертолета. Горизонтальный и вертикальный углы реального обзора рассчитываются между линией визирования и ее проекцией на главные визирные плоскости. На основе вычисленных значений углов обзора строится диаграмма обзора в прямоугольной системе координат. Расчет углов обзора для крайних боковых положений туловища и максимальных поворотов головы летчика производится с учетом поля зрения летчика при движении его глаз.

Из приведенного анализа видно, что традиционный расчетный метод оценки зон обзора требует наличия большого объема информации о координатах границ остекления и линии визирования. Применение математических методов обработки измерений на ЭВМ позволяет радикально ускорить получение результата, однако не обеспечивает возможности реальной оптимизации параметров остекления кабины и ее согласования с конструктивными ограничениями. Измерительный и экспериментальный методы оценки возможны только на натурном макете или при летных испытаниях и, следовательно, не могут быть применены на этапах предэскизного и эскизного проектирования ЛА.

Разработанный графический программный комплекс обеспечивает интерактивный анализ фактических зон обзора через остекление кабины на основе её виртуальной модели. Он построен по модульному принципу, что дает возможность сочетания интерактивного и традиционных методов анализа зон обзора для разных типов ЛА. Структурная схема графического комплекса (рис. 1) включает в себя три базовых модуля: основной — интерактивного анализа зон обзора внекабинного пространства и два вспомогательных — построения фактических и нормативных зон обзора. Последние присутствуют в модели в качестве фиксированных компонентов.

Кроме базовых модулей, в системе работают дополнительные модули, повышающие функциональные возможности графического программного комплекса:

- модуль разворачивания на плоскость фактических зон обзора;
- модуль, обеспечивающий формирование зон затенения элементами интерьера кабины;
- модуль формирования зон обзора земной поверхности;
- модуль формирования зон обзора задней полусферы через зеркала заднего вида.

Основой для построения и функционирования программного комплекса является электронный макет кабины ЛА, входящий в модуль построения фактических зон обзора. С помощью электронного макетирования, прорабатывая различные варианты расположения пилотов на рабочих местах, можно визуализировать реальные зоны обзора внекабинного пространства с рабочих мест пилотов, определить требуемые габариты и месторасположение лобовых стекол, уточнить форму носовой части кабины ЛА.

В качестве базовой платформы для создания электронного макета авторами была выбрана система 3D-моделирования *SolidWorks* [4]. В то же время принципы, заложенные в алгоритм решения задачи, успешно могут быть применены и в других системах 3D-моделирования.

### Построение обводов кабины ЛА

Построение электронного макета кабины начинается с создания модели её поверхности, которая обычно строится по базовому теоретическому чертежу обводов ЛА [3]. Этот прием обычно используется при построении модели поверхности уже существующего ЛА, а также на этапах предэскизного проектирования новых машин, когда их компоновочные решения еще не определены и в распоряжении конструктора имеются только его предварительные параметры и наброски общего вида.

Алгоритм построения модели поверхности кабины ЛА включает в себя несколько этапов:

- 1) построение базовой геометрии — осей, плоскостей и вспомогательных линий, определяющих основные размеры и взаимное положение основных элементов кабины;
- 2) построение поверхностей верхней и нижней обшивки кабины,
- 3) построение поверхности носовой части кабины;
- 4) формирование обводов остекления.

К базовым элементам, необходимым для построения модели, относятся (рис. 2): строительные оси аппарата; плоскости, определяющие границы кабины пилотов и пола; плоскость линии максимальной ширины корпуса ЛА; плоскости поперечного и продольного силового набора; вспомогательные линии, определяющие положение остекления. Правильно построенная базовая геометрия кабины существенно облегчает процесс построения поверхности ЛА. Кроме того, при наличии грамотно выполненной параметризации модель поверхности кабины можно легко трансформировать, что необходимо при анализе зон обзора. Например, если обнаружится несоответствие фактических зон об-

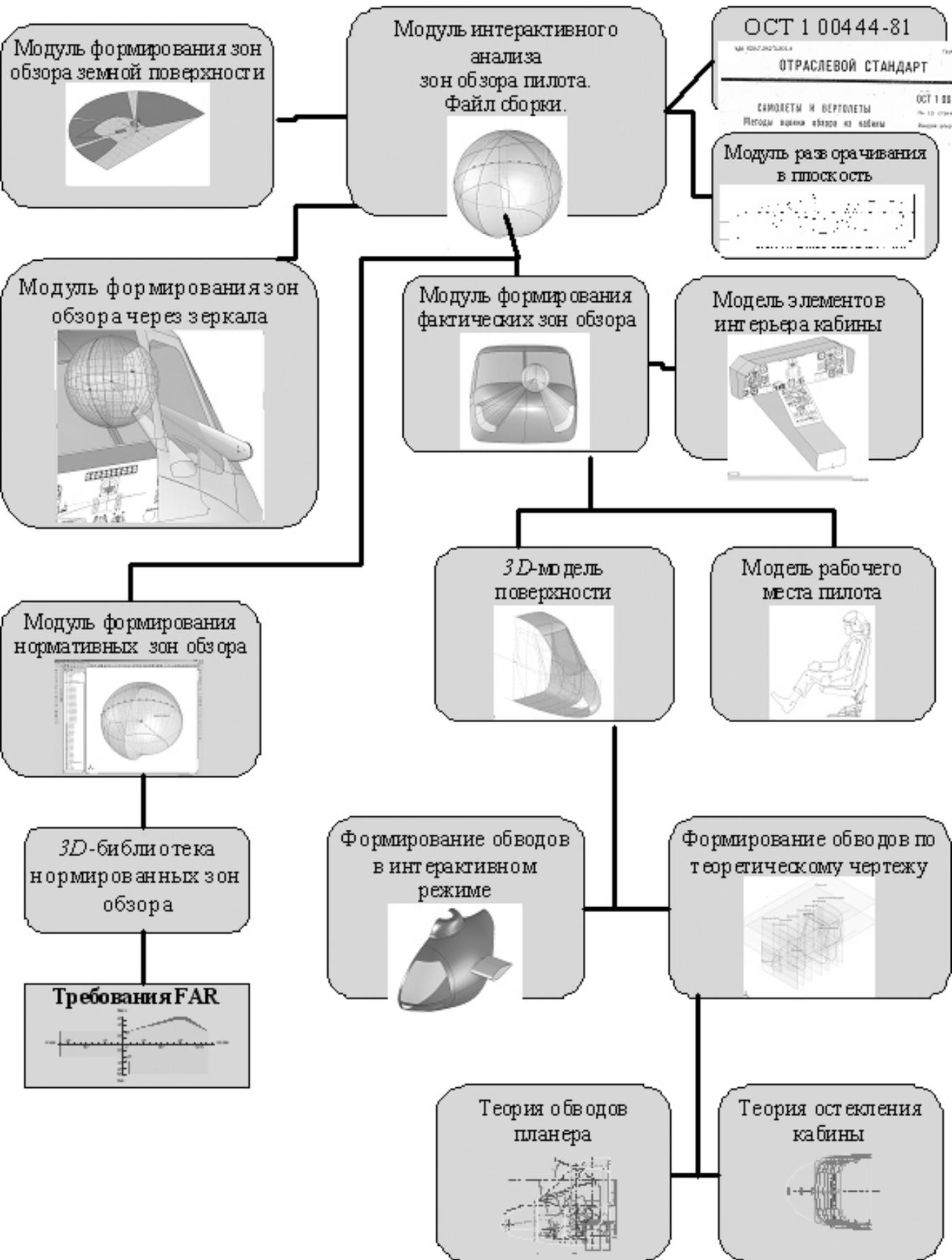


Рис. 1. Структурная схема системы интерактивного анализа зоны обзора через остекление кабины ЛА

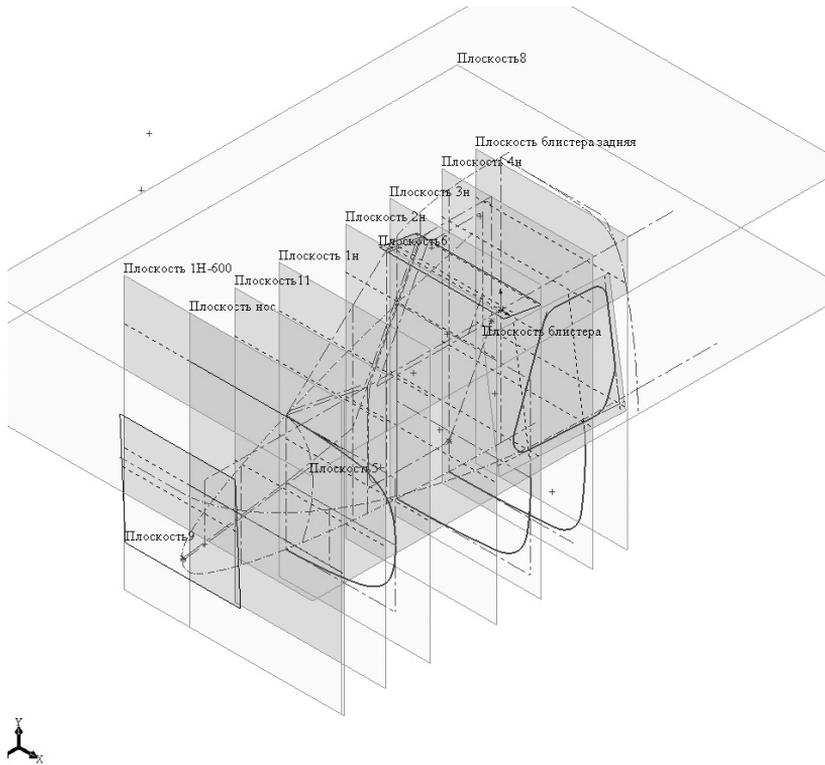


Рис. 2. Базовые элементы для построения модели поверхности кабины

взора нормативным требованиям, можно в интерактивном режиме привести геометрию оконных проёмов в соответствие требованиям, варьируя значения тех или иных параметров остекления.

По базовым элементам строится опорная геометрия кабины — верхний и нижний батоксы, горизонталь носовой части фюзеляжа в плоскости, проходящей через его центр. Далее выполняются эскизы опорных поперечных сечений носовой части фюзеляжа, на которые затем натягивается поверхность. Для выполнения условия гладкости — равенства производных по поверхности носовой части фюзеляжа производным по поверхности центральной части в точках их сопряжения — строится вспомогательная линейчатая поверхность, касательная к обеим частям фюзеляжа.

Моделирование остекления осуществляется следующим образом. На плоскости  $OXY$  выполняется эскиз лобового контура остекления. По нормали к плоскости  $OXY$  эскиз проецируется на поверхность носовой части фюзеляжа, где отображается линейной проекции. Затем поверхность фюзеляжа обрезается по линии проекции, освобождая место для остекления. Так как правая и левая части поверхности кабины ЛА симметричны, то вторая половина формируется с помощью зеркального отражения (рис. 3).

Для корректной работы программы к элементам, образующим контур остекления, предъявляются следующие требования:

- 1) контур должен быть описан трехмерным сплайном,
- 2) сплайн должен быть однородным и не иметь угловых перегибов,
- 3) сплайн должен быть замкнут (начальная и конечная точки совпадают).

Если сплайн контура остекления не соответствует указанным требованиям, то его необходимо

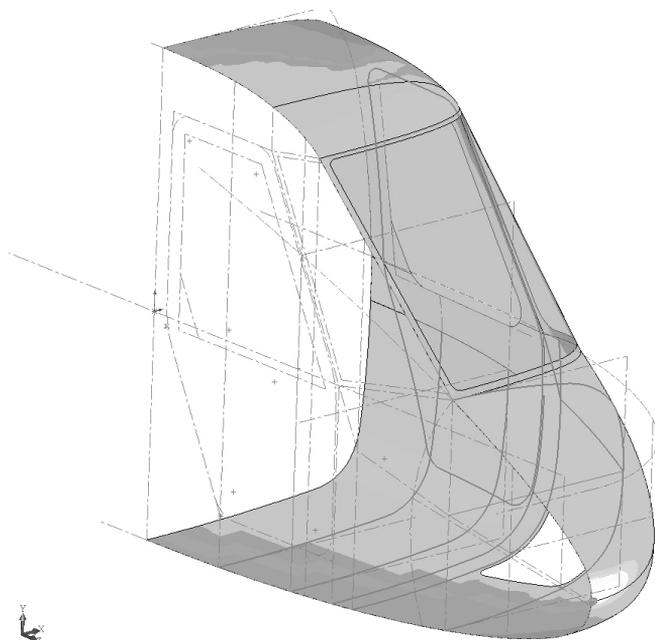


Рис. 3. Модель левой части поверхности кабины

доработать. Доработка сплайна может включать в себя следующие операции.

*Добавление и удаление управляющих точек.* Изменить форму созданного сплайна можно простой буксировкой одной из его вершин. Бывает, что для придания сплайну требуемой формы буксировки вершин недостаточно. Справиться с такой ситуацией позволяет увеличение числа управляющих точек, так как добавить новые управляющие точки проще, чем начинать построение сплайна контура остекления заново. В дальнейшем добавленные точки можно использовать для переопределения сплайна под новые контуры остекления. Добавление управляющей точки к сплайну осуществляется с помощью команды *Вставить точку сплайна*.

*Добавление условия касательности для сплайна.* Если в результате формирования сплайна контура остекления он распадается на отдельные кривые, которые не касательны друг к другу или между ними имеется разрыв, то можно построить линии и дуги, касающиеся сплайна. Для этого используется следующая процедура. Вначале формируется трехмерный сплайн, состоящий из начальной и конечной точек, которые совпадают с предыдущим и последующим сплайнами. Затем накладываются ограничения касательности между соответствующими сторонами сплайнов. Теперь при перемещении

Так как в качестве начальной точки построения поверхности обзора используется понятие главной визирной точки, при создании электронного макета кабины использовалась плоскостная модель рабочего места пилота (рис. 4).

Конструктивно-компоновочные параметры рабочего места пилота сформированы с учетом требований государственных и отраслевых стандартов. Компоновочная увязка антропометрических показателей рабочей позы пилота выполнена с учетом вариантности антропометрических показателей летного состава в пределах ростовой группы 156—185 см. Положение рабочего места независимо от ростовой группы и типа снаряжения обеспечивает пилоту функциональную досягаемость основных командных рычагов управления вертолетом и органов управления системой отображения информации.

Положение главной визирной точки координируется тремя параметрами: по высоте — от строительной горизонтали, в продольном направлении — от стенки шпангоута, в поперечном — от продольной плоскости ЛА. При изменении этих параметров, соответствующих положению головы пилота, программой обеспечивается автоматическое перестроение зон обзора.

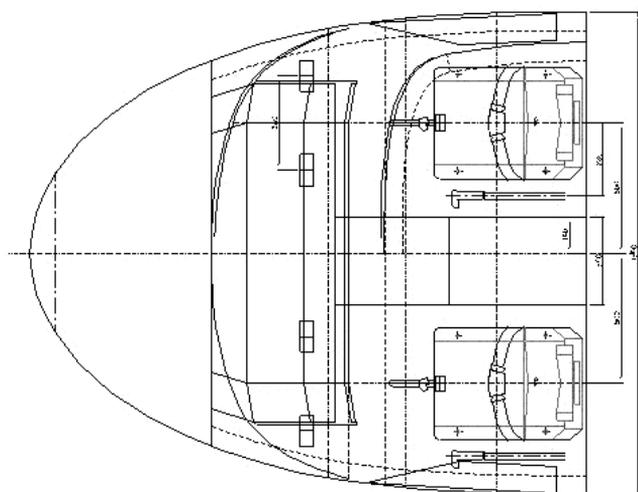
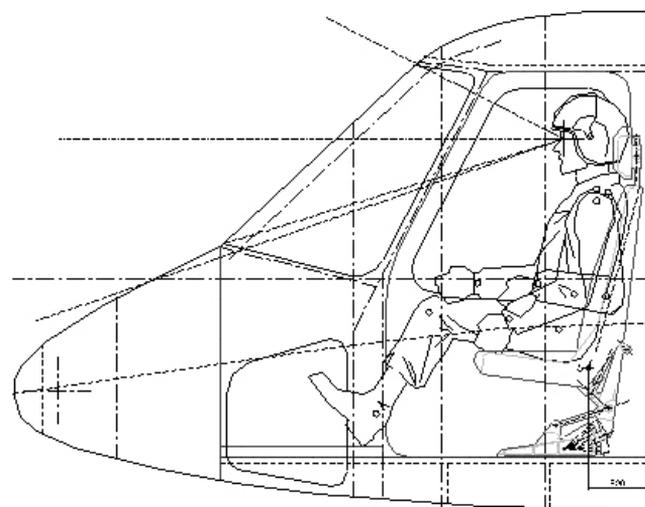


Рис. 4. Плоскостная модель рабочего места пилота

объекта, касающегося сплайна, последний будет всегда перестраиваться таким образом, чтобы отношение касания сохранялось.

*Проверка кривизны сплайна.* Проверка кривизны сплайна осуществляется по команде *Проверить кривизну*. Информация о кривизне выводится в виде эпюры. Эта область динамически меняет свою форму при изменении контура сплайна.

### Построение фактических зон обзора

В версии *SolidWorks -2006* появился инструмент «Камера», который позволяет увидеть область обзора внекабинного пространства с позиции положения пилота. Применив эту команду, на экране монитора можно видеть поле обзора окружающего пространства глазами пилота, сидящего в кабине ЛА. На рис. 5 показан вид «сзади» макета ка-

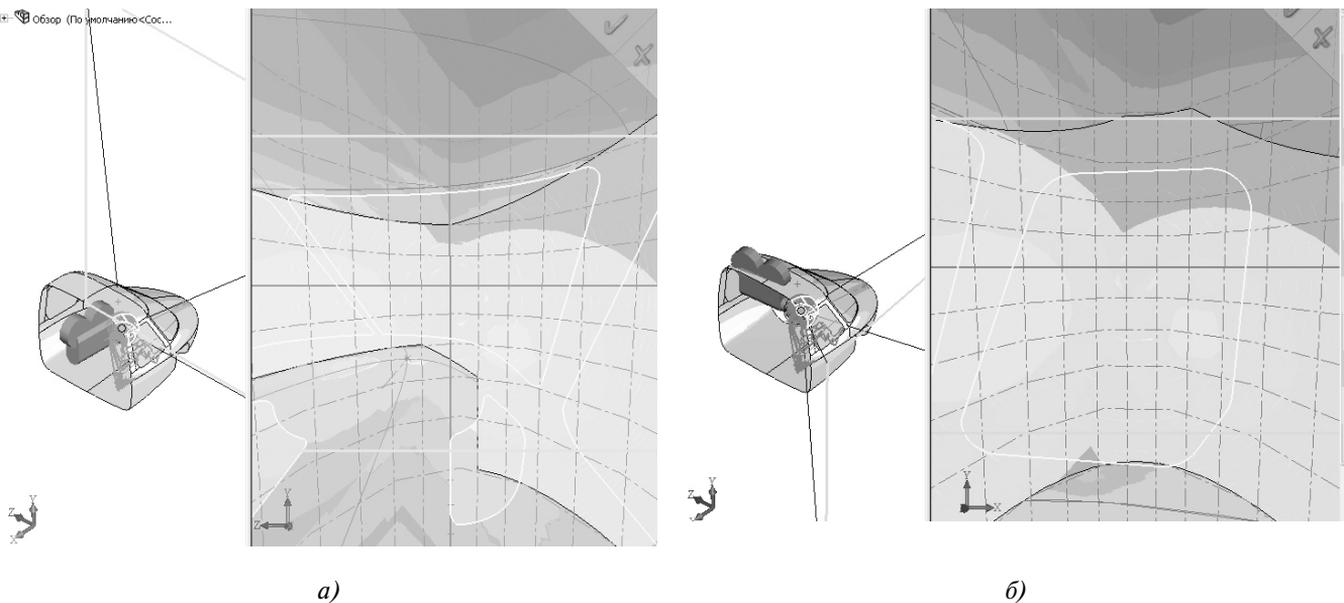


Рис. 5. Граница обзора и нормативная зона обзора глазами правого пилота, полученные инструментом «Камера»: *a* — в правое лобовое стекло; *б* — в стекло правой двери

бины с виртуальным обзором пространства, окружающего пилота. Границы окна обзора соответствуют границам периферийного зрения пилота.

Управляя центральной линией визирования, можно менять точку и направление взгляда пилота. Такой способ оценки зон видимости достаточно нагляден, однако не позволяет построить диаграмму обзора и выработать конкретные рекомендации по изменению контуров остекления.

В настоящей работе для определения численных характеристик зон обзора в пространстве электронного макета кабины строится условный конус обзора, число элементов которого равно числу оконных проемов кабины ЛА. В качестве начальной точки конуса обзора используется главная визирная точка, расположенная посередине межзрачкового расстояния глаз летчика в рабочей позе при выполнении горизонтального полета. Положение

главной визирной точки координируется тремя параметрами: по высоте — от строительной горизонтали, в продольном направлении — от стенки шпангоута и в поперечном — от продольной плоскости ЛА. При изменении этих параметров, соответствующих положению головы пилота, происходит автоматическое перестроение конуса обзора.

Основаниями элементов конуса обзора являются границы зон остекления, расположенные на поверхности кабины. Средства *SolidWorks* позволяют построить коническую поверхность, проходящую через заданную точку и некоторый пространственный сплайн [4]. Отметим, что сплайн, подготовленный для построения конуса обзора, должен быть непрерывным по всему контуру, гладким и замкнутым. На рис. 6 показаны четыре элемента конуса обзора, проходящие через границы нижнего и верхнего остекления кабины.

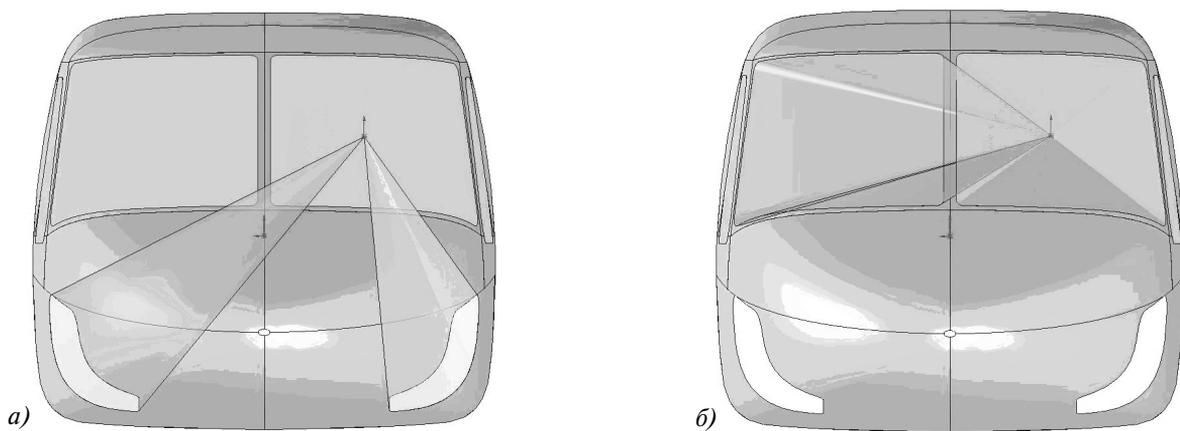
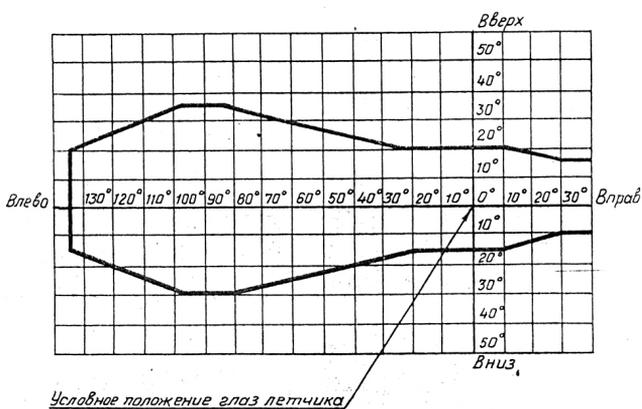


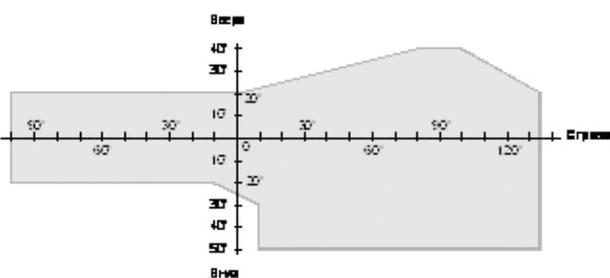
Рис. 6. Элементы конуса обзора, проходящие через границы остекления кабины: *a* — нижние элементы конуса; *б* — верхние элементы конуса

### Построение нормативной зоны обзора

Нормативную зону обзора принято представлять в виде диаграммы  $\varphi = F(\psi)$ , выполненной в прямоугольной системе координат, где  $\varphi$  и  $\psi$  — соответственно вертикальный и горизонтальный углы обзора. На рис. 7 представлены значения углов границы зоны обзора по линии визирования, минимально допустимой в соответствии с требованиями нормативных документов.



а)



б)

Рис. 7. Значения углов границы минимально допустимой зоны обзора по линии визирования из двухместной кабины:

а — для левого летчика по требованиям отраслевого стандарта [5]; б — для правого летчика по требованиям FAR

Поскольку функциональные возможности *SolidWorks* не позволяют напрямую построить фактические зоны обзора на плоскости, в предлагаемом методе фактические зоны обзора выстраиваются на поверхности условной сферы.

Для этой цели может быть использована сфера, сформированная вне границ остекления кабины, которая интуитивно воспринимается как экран, имитирующий окружающее пространство (рис. 8). Однако процесс формирования фактических зон обзора на наружной сфере (рис. 9) сопряжен с рядом трудностей. Дело в том, что для построения линии пересечения конуса обзора со сферой, расположенной вне кабины ЛА, поверхность конуса не-

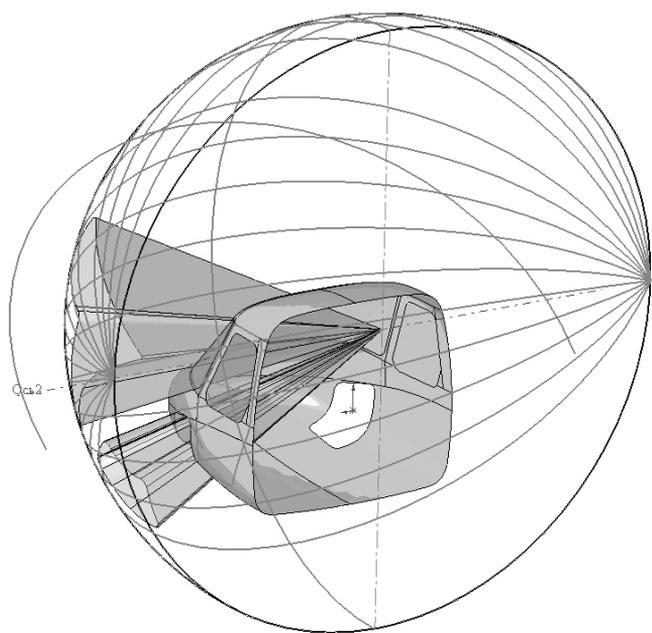


Рис. 8. Сфера зон обзора, построенная вне границ остекления кабины

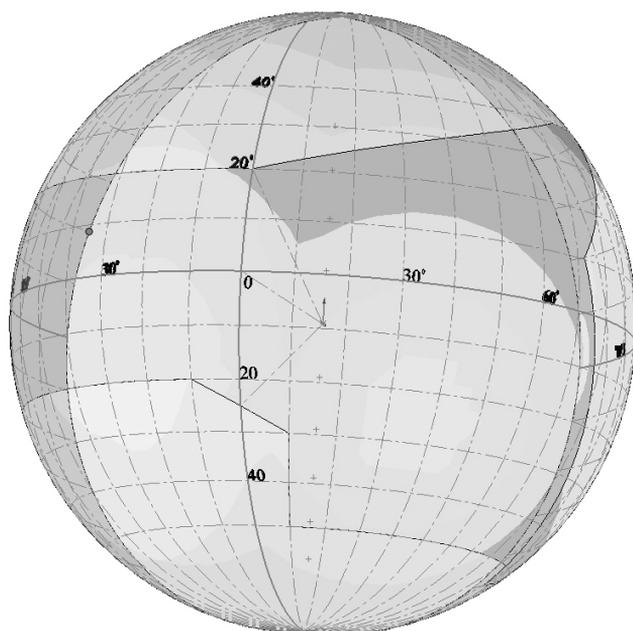


Рис. 9. Границы минимально допустимой по FAR зоны обзора по линии визирования в сферических координатах

обходимо продлить за границы остекления кабины. В этом случае резко возрастают затраты машинного времени на перестроение поверхностей и расчет границ зоны обзора выполняется неоправданно медленно.

Для ликвидации этого недостатка построение нормативной зоны обзора выполнено на сфере, расположенной внутри кабины пилота (рис. 10). В границах этой сферы построены плоскости с ша-

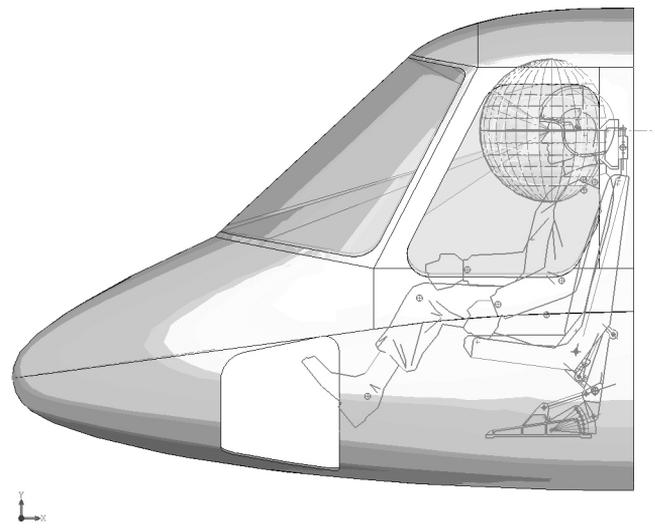


Рис. 10. Положение пилота в кабине одновинтового вертолета относительно главной точки визирования

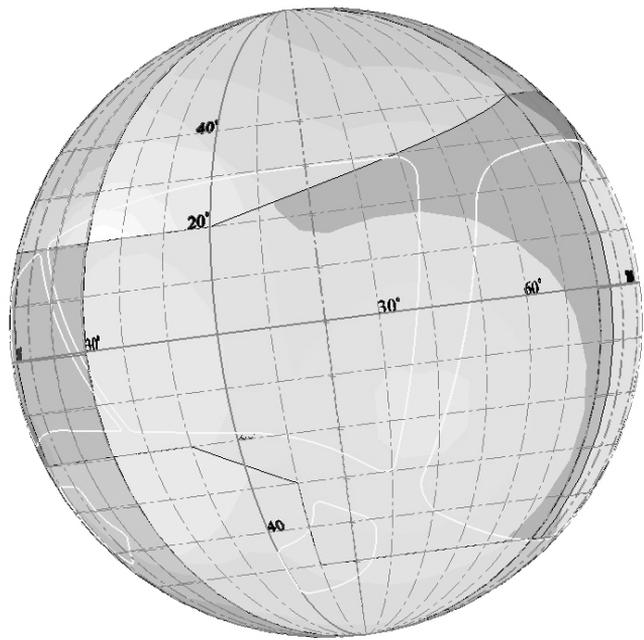


Рис. 11. Фактические границы и нормативная зона обзора по требованиям FAR, спроецированные на внутреннюю сферу

гом  $10^\circ$ . В каждой плоскости формируется эскиз и создается вспомогательная геометрия для указания в полярных координатах долготы точки, принадлежащей границе нормативной зоны обзора. Получается массив точек, по которым с помощью команды *Сплайн на поверхности* строится кривая нормативных зон обзора.

Чтобы получить на поверхности внутренней сферы границы фактической зоны обзора, командой *Эскиз вдоль линии пересечения тел* создается трехмерный сплайн по линии пересечения конуса обзора и сферы. При этом необходимость в построении дополнительной поверхности отпадает.

На рис. 11 показаны полученные в результате расчета фактические границы обзора из кабины пилота одновинтового вертолета, спроецированные на внутреннюю сферу. Положение летчика принято в соответствии с представленным на рис. 4 базовым теоретическим чертежом. На эту же сферу нанесен контур нормативной зоны обзора по требованиям FAR.

Анализ показывает, что при заданном положении кресла пилота и выбранных антропометрических показателях нижняя предельная граница допустимой зоны обзора находится за пределами границы остекления правого лобового стекла. Однако наличие в кабине дополнительных нижних окон позволяет просматривать и эту зону. Затенение от вертикальных переплетов (центрального и дверных) не превышает  $10^\circ$  по азимуту и при бинокулярном зрении не вносит дискомфорта в картину внекабинного обзора.

Для разворачивания диаграммы обзора на плоскость и приведения её к привычному для конструк-

тора представлению в декартовой системе осей координат используются функциональные возможности *SolidWorks*, которые позволяют средствами интерфейса прикладных программ *API (Application Program Interface)* получить численные значения координат точек, задающих на сфере сплайн контуров оконных проемов. Передача массива координат этих точек в электронные таблицы *Excel* позволяет выполнить построение диаграммы обзора в декартовой системе осей координат.

Анализ объектов, которыми оперирует *SolidWorks*, показал, что средствами *API* возможно получить в явном виде координаты только так называемых «эскизных точек». «Эскизные точки» должны быть расположены на сплайне таким образом, чтобы при перестроении пространственного сплайна они адекватно перемещались вместе с ним и оставались принадлежать сплайну. При этом конечное число точек должно быть равномерно распределено по длине сплайна.

Эта задача решается следующим образом. В начальной точке сплайна с помощью команды *Дополнительная плоскость* создается плоскость, перпендикулярная к кривой. Для более удобной работы с новой плоскостью при вычерчивании на ней эскиза рекомендуется включить опцию *Поместить начало координат на кривую*. На плоскости формируется эскиз, с помощью которого создается твердотельный элемент — шар. С помощью команды *Массив элементов, управляемый кривой*, созданный шар

равномерно размножается по сплайну (рис. 12). Эта команда дает возможность задать  $N$  шаров, равномерно распределенных вдоль кривой и способных правильно перестраиваться при изменении сплайна.

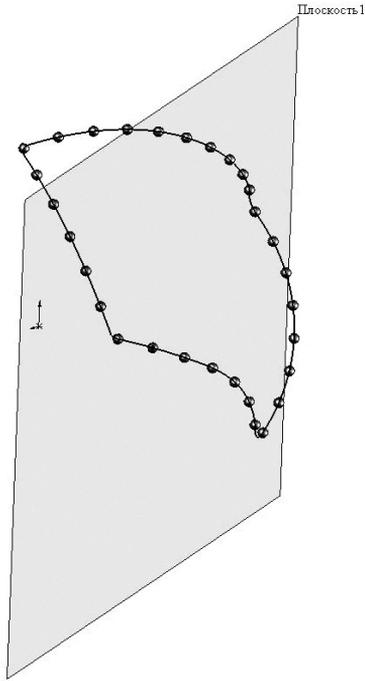


Рис. 12. Распределение элементов типа «шар» по сплайну

Затем в среде сборки создается описание трехмерного эскиза, в рамках которого на каждый шар помещается «эскизная точка». В среде эскиза не удается связать «эскизную точку» с центром шара, поэтому она располагается на его поверхности. При относительно малых размерах шара (порядка 0,1 мм) можно предположить, что эскизная точка принадлежит сплайну. Таким образом создаются следы на поверхности сферы от всех окон носовой части фюзеляжа (рис. 13).

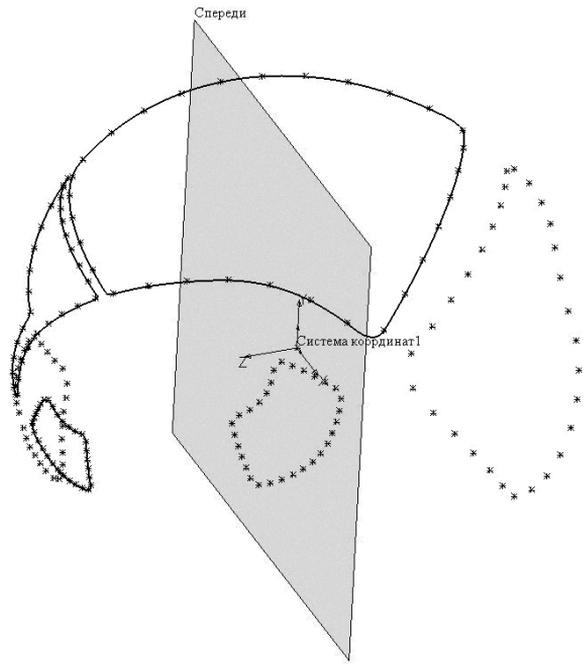


Рис. 13. Представление следов окон на поверхности сферы «эскизными точками»

Далее средствами *API* выполняется циклический опрос координат  $X, Y, Z$  всех «эскизных точек» по каждому контуру окна и передача массива их координат в электронные таблицы *Excel*. Эта операция инициируется из пакета *Excel* программой, написанной на алгоритмическом языке *VBA*. Затем проводится вычисление угловых координат точек  $\psi, \phi$  и построение диаграммы обзора в декартовой системе координат

$$\psi = \arctg \frac{Z}{X}; \quad \phi = \arctg \frac{Y}{\sqrt{X^2 + Z^2}}.$$

Пример построения полной диаграммы обзора с рабочего места правого пилота приведен на рис. 14. Там же сплошной линией показана норма-

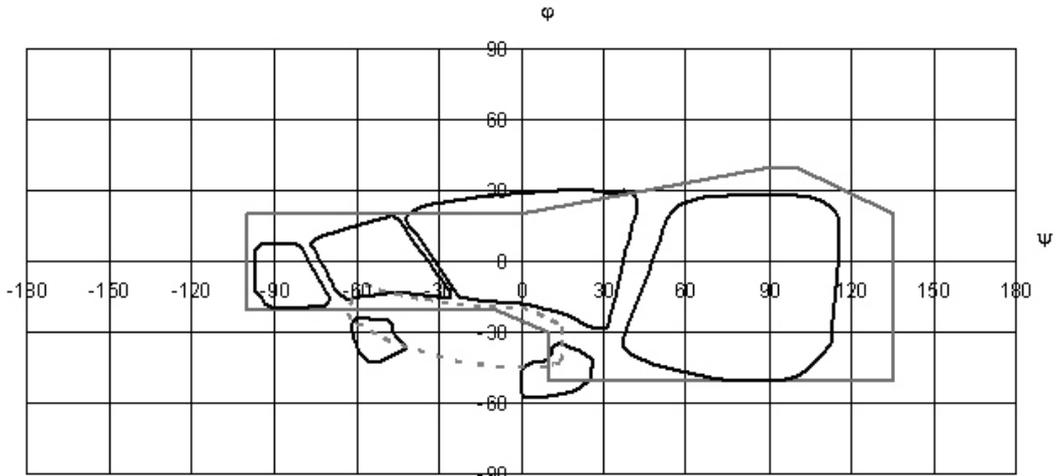


Рис. 14. Диаграмма обзора  $\phi = F(\psi)$  с рабочего места правого пилота, развернутая на плоскость

тивная граница зоны обзора. Из этой диаграммы следует, что нижняя предельная граница допустимой зоны обзора находится за пределами границы остекления и на данном участке остекления компоновка кабины не соответствует требованиям нормативных документов. Пунктирной линией показана зона затенения фактической видимости приборной панелью.

Один из путей ликвидации данного недостатка сводится к изменению положения главной визирной точки относительно остекления кабины ЛА. На рис. 15 показана диаграмма обзора внекабинного пространства, полученная в результате перемещения точки визирования вверх в пределах диапазона регулировки кресла. Видно, что в этом случае

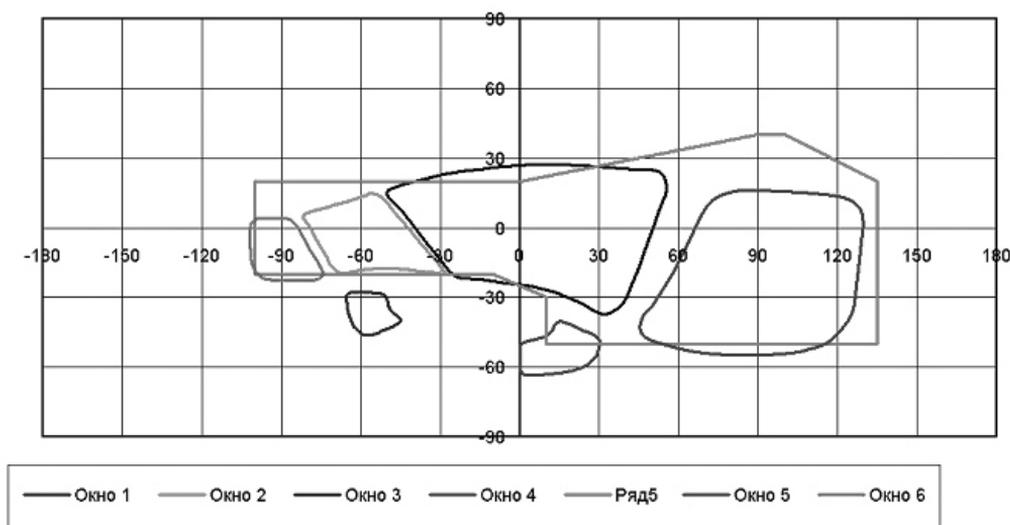


Рис. 15. Диаграмма обзора  $\Phi = F(\Psi)$  с рабочего места правого пилота, полученная в результате перемещения точки визирования вверх в пределах регулировки кресла

нижняя кромка остекления окон приблизилась к требуемым границам видимости нормативной зоны обзора. Таким образом, перемещая главную точку визирования по трем координатам, можно найти ее положение, которое наиболее полно отвечает требованиям нормативной зоны обзора, а затем оценить возможность размещения там головы пилота. При этом подразумевается, что возможности регулировки положения кресла пилота обеспечат попадание головы пилота в эту область.

Изменяя положение кабины относительно главной визирной точки, можно построить массив фактических зон обзора, имитирующих изменение положения летчика при перемещениях кресла и наклонах головы. Это позволяет гарантированно обеспечить пилоту характеристики реального обзора (бинокулярного обзора с учетом подвижности головы), необходимого для безопасного выполнения полетов.

Для оценки площади видимости земной поверхности при посадке используется модуль обзора земной поверхности при различных углах тангажа и крена ЛА. Пример работы модуля при различных углах тангажа и крена продемонстрирован на рис. 16. Контурной линией показана область затенения видимой зоны приборной панелью вертолета.

Обзор из кабины экипажа — есть видимое внекабинное пространство, просматриваемое с рабочего места лётчика (штурмана) через остекление фонаря кабины летательного аппарата при перемещениях головы и туловища, не влияющих на технику пилотирования. Конечной задачей анализа реального обзора является построение диаграммы обзора — графического представления обзора в прямо-

угольной системе координат. Методика получения графиков реального обзора состоит в последовательном определении диаграмм обзора в точках, расположенных на предельной траектории визирования. На диаграмме (рис. 17) видно, что даже при незначительном перемещении летчика в пределах своего рабочего места поля обзора через контуры остекления кабины имеют значительное перекрытие. Поэтому при проектировании ЛА и оценке характеристик обзорности и сопоставлении их с нормативными нормами обзора рекомендуется пользоваться диаграммой реального обзора.

Модуль формирования зон обзора задней полусферы через зеркала заднего вида позволяет определить видимое пространство в зависимости от конструктивного расположения зеркала. Работа модуля базируется на основных законах геометрической оптики — законе прямолинейного распространения света и законе его отражения: падающий и отражен-

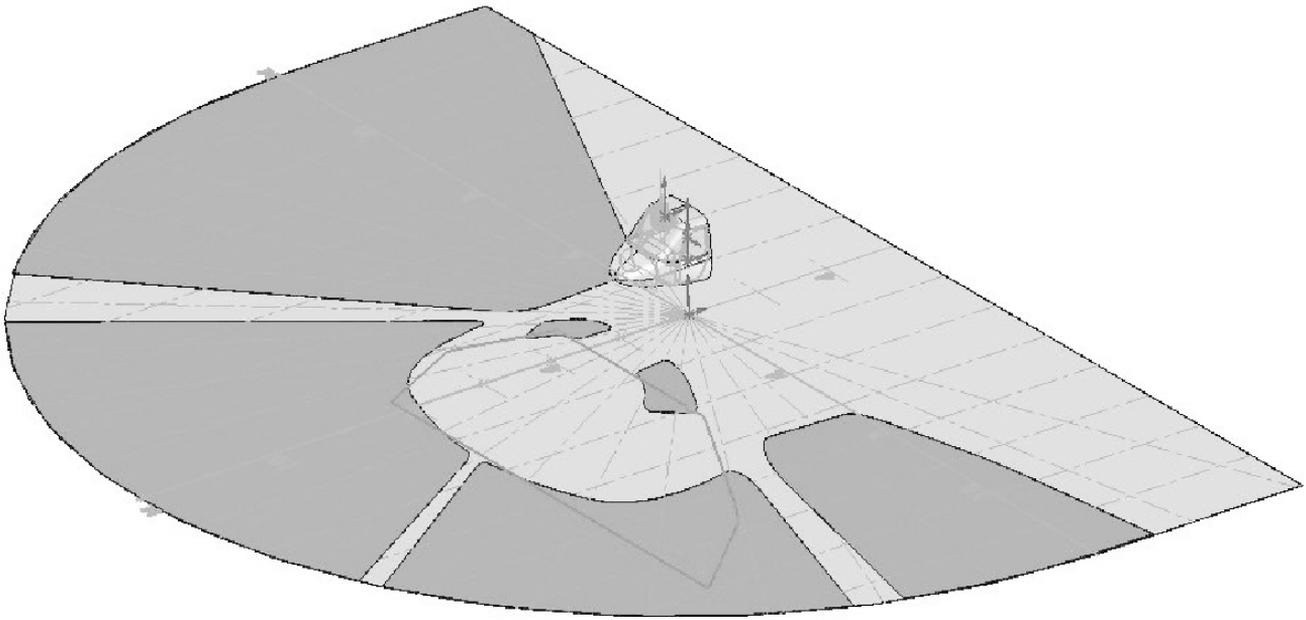


Рис. 16. Видимые зоны земной поверхности при нулевых углах тангажа и крена ВЛА

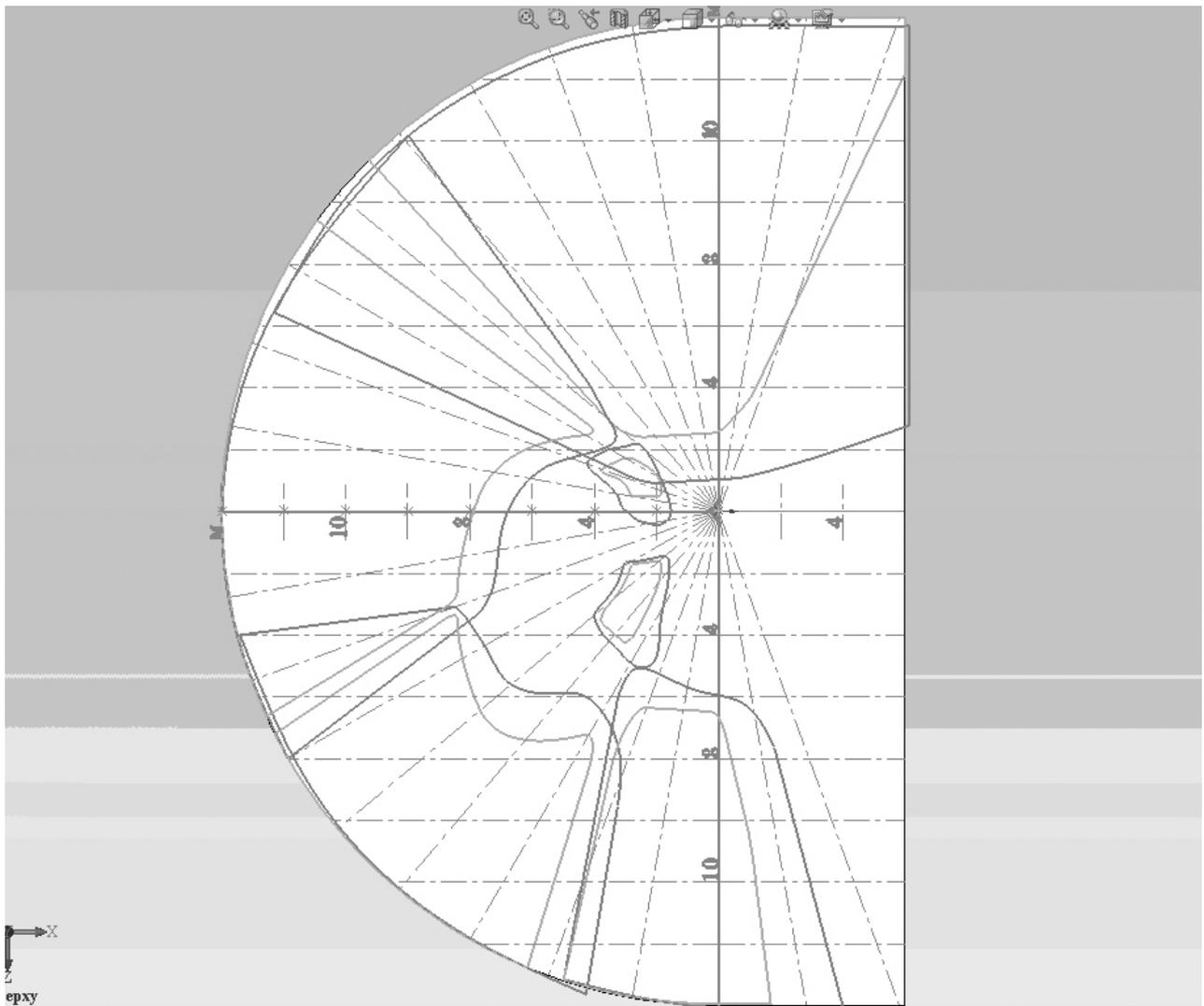


Рис. 17. Конструктивный и реальный обзор земной поверхности

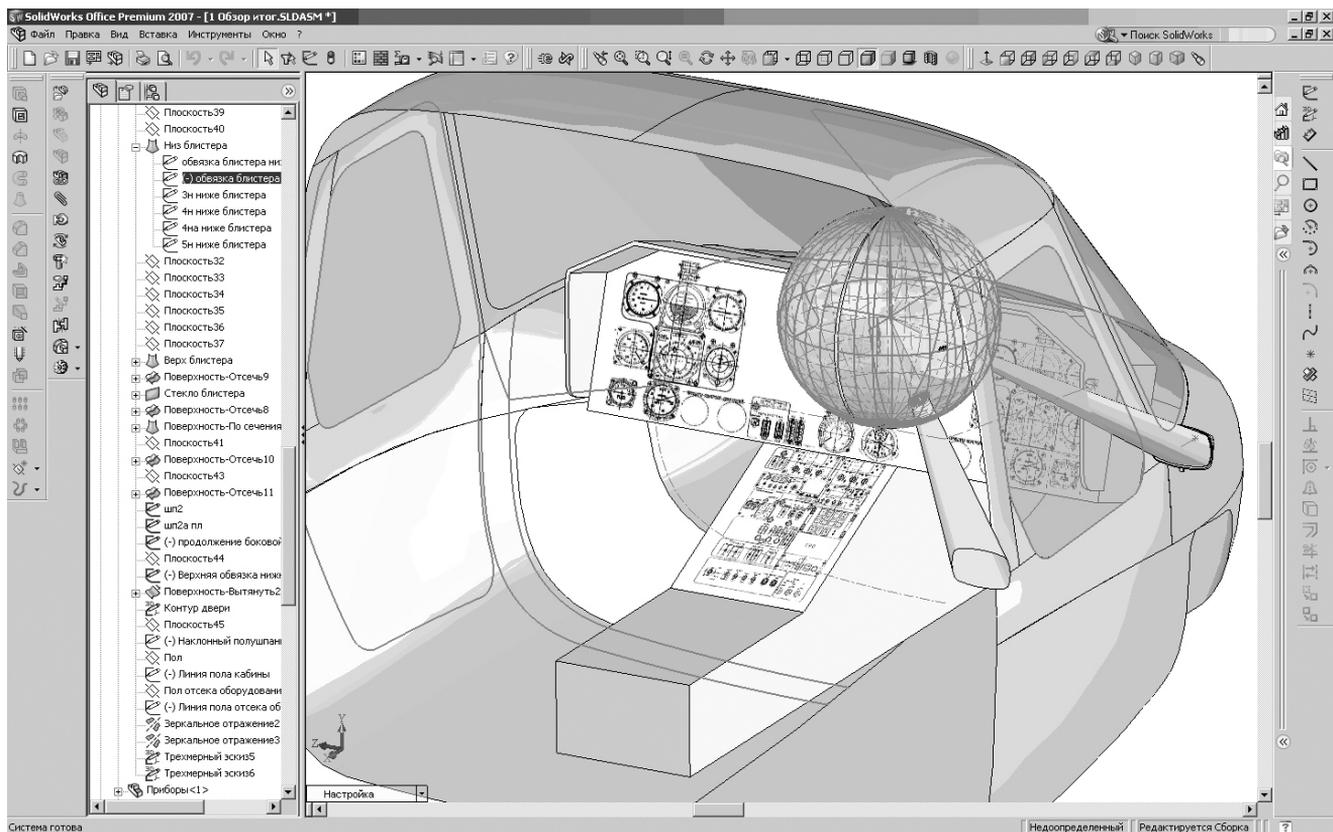


Рис. 18. Формирование границы видимости через зеркало заднего вида на сфере с полярными координатами

ный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (плоскость падения). Угол отражения  $\gamma$  равен углу падения  $\alpha$ . На рис. 18 представлена математическая электронная модель кабины вертолета с вероятным месторасположением плоского зеркала заднего вида. Пересечение поверхности сферы и поверхности конуса мнимого визирования дает контур границы видимости в полярных координатах.

После разворачивания диаграммы в прямоугольную систему координат граница видимости через зеркало заднего вида примет вид, показанный на рис. 19. Как видно из рисунка, плоское зеркало заднего вида формирует достаточно малую площадь обзора полусферы. Видимый угол зрения составляет 10–15°, что неудовлетворительно сказывается на информативности пилота. С целью расширения видимой области пространства в зеркалах заднего вида необходимо применять сферическую поверхность большого радиуса. При малом радиусе сферической поверхности происходит существенное искажение изображения и фактического расстояния до него. Видимые через такие зеркала объекты кажутся дальше, чем они реально расположены.

Таким образом, использование настоящего комплекса для интерактивного анализа фактических зон обзора через остекление кабины и оценки их соответствия нормативным требованиям позволяет на этапе эскизного проектирования ЛА оптимизировать положение границ остекления кабины и расположение пилота.

Разработанный программный комплекс позволяет решать как прямую задачу соответствия имеющегося остекления нормативным требованиям обзора, так и обратную — формирование границ остекления под требования FAR. Для решения этой задачи необходимо:

- поместить 3D-модель теоретического контура фюзеляжа в модуль формирования фактических зон обзора;
- нанести на поверхность теоретического контура фюзеляжа требуемую нормативную зону обзора;
- определить предельные контуры границ конструктивного остекления, соответствующие нормативным зонам обзора при монокулярном зрении;
- определить контуры границ остекления, требуемые для реального обзора (бинокулярного обзора с учетом подвижности головы), соответствующие нормативным зонам обзора;

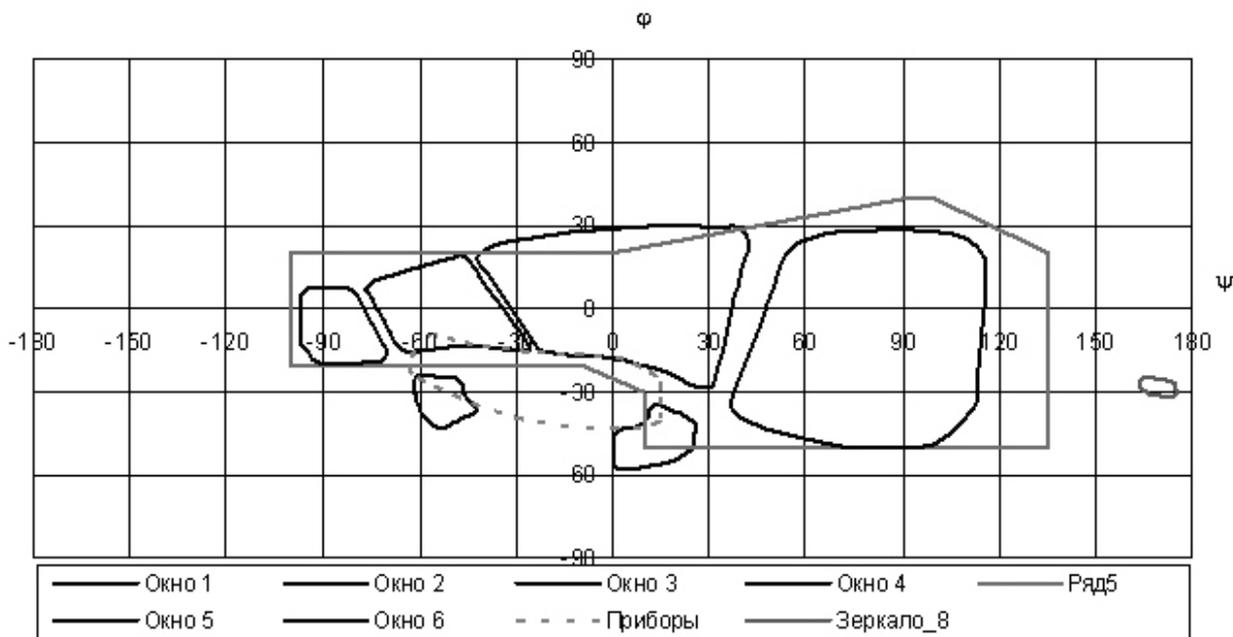


Рис. 19. Формирование диаграммы обзора через зеркало заднего вида в пакете Excel

- под полученную площадь требуемого обзора спроектировать остекление с учетом переплетов.

### Выводы

Настоящий программный комплекс виртуального анализа зон обзора внекабинного пространства через остекление кабины ВЛА при решении прямой задачи позволяет найти некую область положения головы пилота, при котором имеющееся остекление удовлетворяет по обзору внекабинного пространства нормативным документам. Возможность регулировки положения кресла пилота должна обеспечить попадание головы пилота в эту область. При неправильном подходе к формированию реального обзора на этапе проектирования некорректно подобранные характеристики ограничивают эксплуатационные возможности вертолета.

При решении обратной задачи на этапе эскизного и предэскизного проектирования комплекс позволит оптимизировать положение границ остекления кабины и расположение пилота. Контроль фактической зоны обзора внекабинного пространства по отношению к требуемой зоне обзора на всех этапах проектно-конструкторских работ над проектом обеспечит их соответствие на готовом изделии.

### Библиографический список

1. Алямовский А. А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Артамонов Б.Л., Завалов О.А., Мойзых Е.И., Маслов А.Д. Разработка методологии применения компьютерных технологий при проектировании винтокрылых ЛА и их систем // Конструкторско-технологическая информатика 2005. — М.: МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2005.
3. CALS (Continuous and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции) в авиастроении; Под ред. А.Г. Братухина. — М.: Изд-во МАИ, 2002.
4. Мюррей Д. Solid Works. — М.: Изд-во «ЛОРИ», 2003.
5. Самолеты и вертолеты. Методы оценки обзора из кабины. ОСТ 1 00444-81.
6. Эйткен П. Разработка приложений на VBA в среде Office XP. — М.: ИД «Вильямс», 2003.

Московский авиационный институт  
Статья поступила в редакцию 19.11.2009