

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ ОБЗОРА ВНЕКАБИННОГО ПРОСТРАНСТВА ПИЛОТОМ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Гельвиг М.Ю.

Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля,
МВЗ им. М.Л. Миля, ул. Гаршина, 26/1, Томилино, Московская область, 140070, Россия
e-mail: mgelvig@mi-helicopter.ru

Разработан метод автоматизированного построения и сравнительного анализа зон обзора внекабинного пространства пилотом летательного аппарата (ЛА) с возможностью оптимального выбора положения главной визирной точки S с использованием 3D CAD-систем, в частности NX8.5. Разработанный метод позволяет в интерактивном режиме проводить оптимизацию компоновочных решений кабины экипажа при проектировании ЛА и обеспечить максимальное соответствие фактической зоны обзора внекабинного пространства нормативным требованиям. Этот метод также может быть применен и в других отраслях, где существует задача определения и оптимизации обзора, например в автомобильной промышленности. Особо подчёркивается решение поставленной задачи средствами базовой 3D CAD-системы исключительно графическим путём без привлечения дополнительного программного обеспечения, что делает этот метод простым и удобным в работе.

Ключевые слова: диаграмма обзора, главная визирная точка, графический метод построения, 3D CAD-система.

Термины [1]

Точка визирная — расчётное или экспериментально определённое положение глаза лётчика при наклоне туловища и повороте головы.

Точка визирная главная — условная точка, соответствующая середине межзрачкового расстояния глаз лётчика в рабочей позе при выполнении горизонтального полёта.

Линия визирования — линия, проходящая через визирную точку и наблюдаемую точку видимого пространства.

Линия визирования главная — условная линия, проходящая через главную визирную точку в плоскости симметрии кресла параллельно строительной горизонтали самолёта и вертолёта.

Плоскость визирная главная — плоскость, проходящая через главную линию визирования перпендикулярно плоскости симметрии кресла лётчика.

Угол обзора горизонтальный — угол между главной линией визирования и проекцией линии визирования на главную визирную плоскость.

Угол обзора вертикальный — угол между линией визирования и её проекцией на главную визирную плоскость.

Реальный обзор — обзор, определяемый с учётом бинокулярности зрения лётчика, его подвижности на рабочем месте (свободного без напряже-

ния поворота головы и наклона туловища), защитного снаряжения и положения самолёта и вертолёта относительно плоскости горизонта.

Конструктивный обзор — обзор, определяемый при монокулярном зрении лётчика и нахождении его глаза в главной визирной точке.

Диаграмма обзора — графическое представление обзора в прямоугольной системе координат.

Конструктивный обзор

Одним из важнейших условий безопасного и комфортного управления летательным аппаратом, в том числе вертолётном, является достаточный обзор внекабинного пространства с рабочего места пилота (рис. 1).

Конкретные численные значения углов обзора из главной визирной точки S по вертикали и горизонтали задаются нормативными документами, в частности Авиационными правилами АП-29 или отраслевым стандартом ОСТ 1 04019-83. Нормативную зону обзора для наглядности графически принято представлять в виде диаграммы $\beta = F(\alpha)$, выполненной в прямоугольной системе координат, где β и α — соответственно углы обзора по вертикали и горизонтали. На рис. 2 представлена нормативная диаграмма обзора Авиационных правил АП-29 [2].

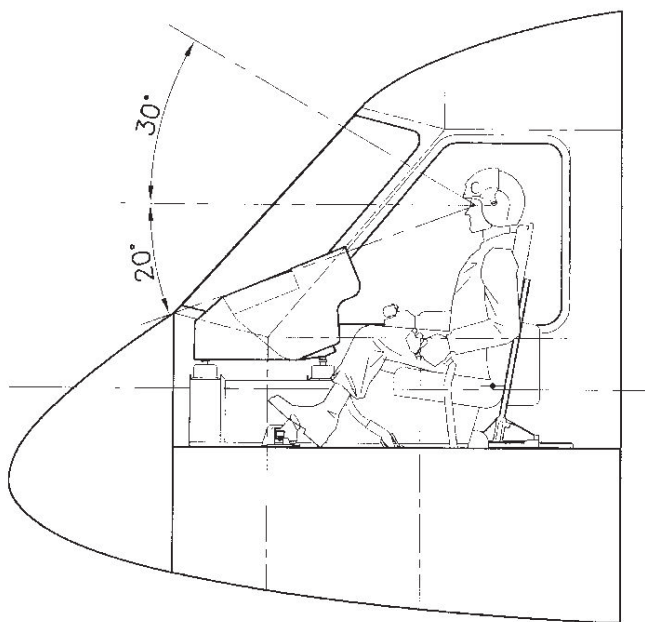


Рис. 1. Рабочее место пилота вертолёта

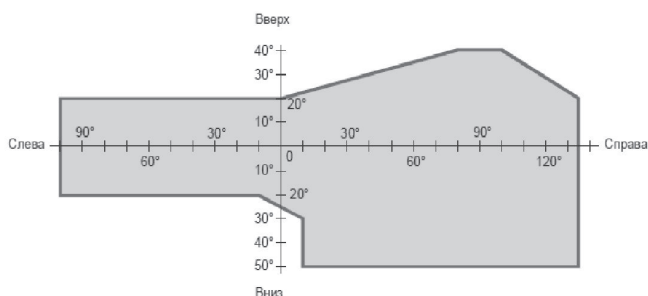


Рис. 2. Нормативная диаграмма обзора Авиационных правил АП-29

Сравнительная оценка применяемых методов

Отраслевым стандартом [1] установлены три метода оценки обзора внекабинного пространства с рабочего места пилота: измерительный, экспертный и расчётный.

Экспертный метод основан на субъективных оценках специалистов в баллах от 1 до 5 для каждого проёма с последующим определением обобщённой средней оценки. Он не позволяет провести сравнительную оценку соответствия реальных зон обзора требованиям нормативных документов.

Измерительный метод состоит в измерении углов обзора угломерным инструментом по размеченным контурным точкам на границах остекления, поэтому он позволяет получить количественную оценку зон обзора и оценить соответствие этих зон требованиям нормативных документов. Однако для достижения достаточно высокой точности требуется большое количество замеров, что делает этот метод весьма трудоёмким. При изменении исходных данных, например изменении положения точки C , все измерения приходится проводить повторно. Вме-

сте с тем данный метод применим на стадии натурального изделия или макета и не может быть использован на ранних стадиях проектирования.

Расчётный метод может применяться на всех этапах жизненного цикла ЛА, включая проектирование. Для реализации этого метода необходимо определить координаты контурных точек границ проёмов и главной визирной точки в системе координат $SXYZ$ рабочего места лётчика. На основании этих координат вычисляются горизонтальные и вертикальные углы обзора. По значениям вычисленных углов строится диаграмма обзора в прямоугольной системе координат.

Из сказанного выше очевидно, что этот метод также весьма трудоёмок, причём трудоёмкость напрямую зависит от задаваемой точности, так как точность определяется плотностью массивов контурных точек на кривых границ проёмов.

При проектировании вертолётов применяется упрощённый метод построения диаграммы обзора. Суть его сводится к построению на 3D-модели кабины экипажа линий визирования характерных контурных точек проёмов из главной визирной точки и прямому измерению углов обзора для каждой линии средствами CAD. Далее по полученным координатам вручную строится диаграмма обзора. Фактически это измерительный метод, отличающийся от приведенного в [1] использованием вместо натурального объекта виртуальной среды. Метод также весьма трудоёмок, поскольку для достижения приемлемой точности требуется большой объём построений и измерений.

В работе [3] предложен метод построения диаграмм обзора с использованием графических возможностей CAD-систем, в которых непосредственно создавалась 3D-модель проектируемого ЛА, в конкретном случае — SolidWorks. При этом задача построения диаграмм разделена на два основных этапа:

1. Определение непрерывного массива угловых координат зон обзора для каждого проёма в полярной системе координат;
2. Перевод полученных данных из полярной системы, координат в прямоугольную.

Для решения первой части задачи сначала для каждого проёма был построен конус обзора, представляющий собой геометрическое место линий, соединяющие главную визирную точку C с контуром проёма (рис. 3).

В дальнейшем из точки C была построена сфера радиусом, обеспечивающим её пересечение со всеми конусами обзора, на которую наносится координатная сетка из горизонтальных и вертикальных сечений, аналогичных параллелям и мериди-

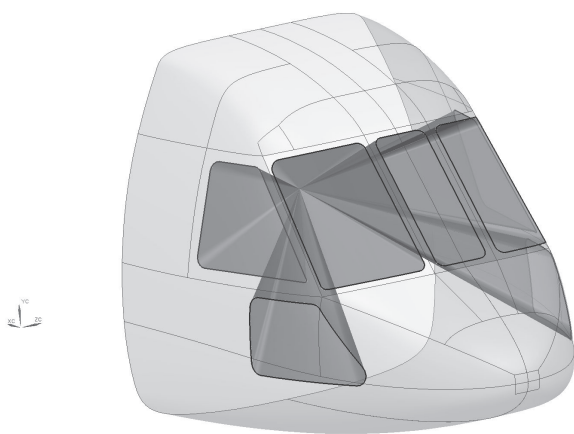


Рис. 3. Построение конусов обзора

анам на глобусе с выбранным угловым шагом (в нашем случае 10°). Далее были построены линии пересечения конусов обзора со сферой. В результате получены сферические зоны обзора, наложенные на угловую сетку, выполненные в полярных координатах (рис. 4).

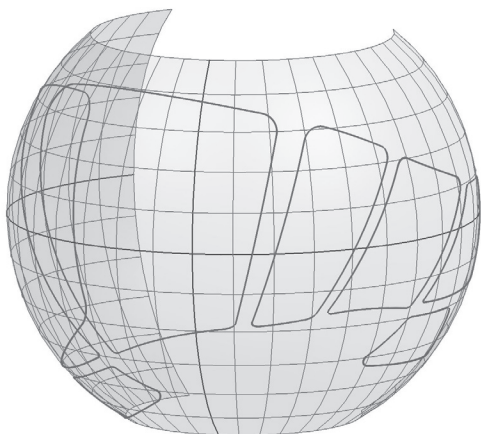


Рис. 4. Зоны обзора в полярных координатах [3]

Вместе с тем целью исследований было получение диаграмме обзора в прямоугольной системе координат. Решить эту задачу средствами Solid Works напрямую авторам не удалось. Для её решения авторы использовали совместимый с Solid Works интерфейс прикладных программ API (Application Program Interface). На полученные кривые наносились массивы точек, координаты X, Y, Z которых циклически опрашивались средствами API и передавались в электронные таблицы Excel. Для инициирования этой операции использовалась программа, написанная на алгоритмическом языке VBA. Затем вычислялись угловые координаты точек и строилась диаграмма обзора в декартовой системе координат. Фактически это решение представляет собой автоматизированный расчётный метод [1].

Очевидно, что, несмотря на положительный результат, сложность его достижения, с учетом необходимости использования дополнительных, в том числе незнакомых конструктору программ и алгоритмов, в конкретном случае привязанных к CAD Solid Works, резко снижает привлекательность этого метода.

Графическое решение задачи

Автором данной работы изложенная выше задача была решена исключительно графическим путём в среде CAD NX8.5.

Первая часть задачи была выполнена по аналогии с описанной выше работой [3]. Была получена сфера с нанесённой на неё диаграммой обзора в полярных координатах. Особенность построений заключается в том, что сфера построена вращением дуги окружности. Это позволило задать в качестве размера длину дуги (в нашем случае — 900 мм) с целью получения удобного для дальнейших построений круглого значения шага прямоугольной координатной сетки (50 мм соответствуют 10°).

Выполнение второй части задачи заключалось в перестроении полученной диаграммы в прямоугольную систему координат. Поскольку в NX не была найдена возможность прямого развёртывания линий со сферы на плоскость, был разработан алгоритм решения этой задачи путём последовательных проецирований кривых на вспомогательные цилиндры и развёртываний их на плоскость, что дало положительный результат. Этот алгоритм представляет собой следующие действия:

1. От линии пересечения сферы с главной визирной плоскостью («экватора») строится цилиндр высотой не менее высот крайних используемых горизонталей — «параллелей».

2. Полученные ранее кривые, включая координатную сетку, проецируются со сферы на цилиндр по нормали к нему (рис. 5).

3. В точке пересечения «экватора» с главной линией визирования перпендикулярно ей строится плоскость диаграммы обзора;

4. Командой «Развернуть/Свернуть» спроецированные на цилиндр кривые развёртываются на построенную плоскость диаграммы обзора (рис. 6). Как видно из рис. 6, полученная развёртка сжимается к «полюсам». Эти искажения устраняются следующими действиями.

5. Строится горизонтальный цилиндр от линии пересечения сферы с вертикальной плоскостью, проходящей через линию визирования длиной не менее ширины развёртки.

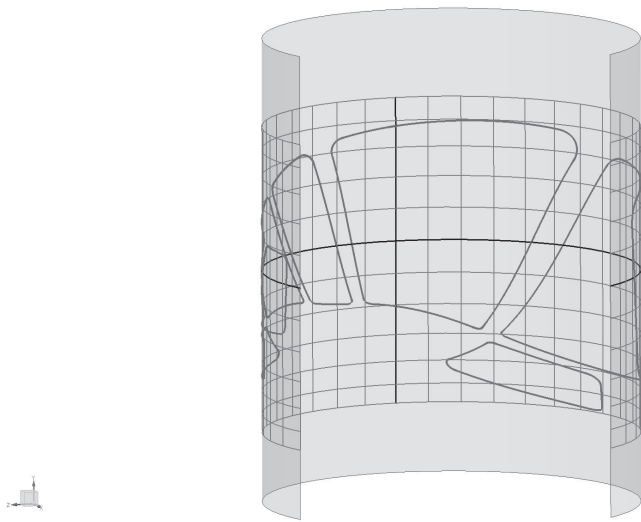


Рис. 5. Графическая проекция зон обзора и координатной сетки со сферы на вертикальный цилиндр

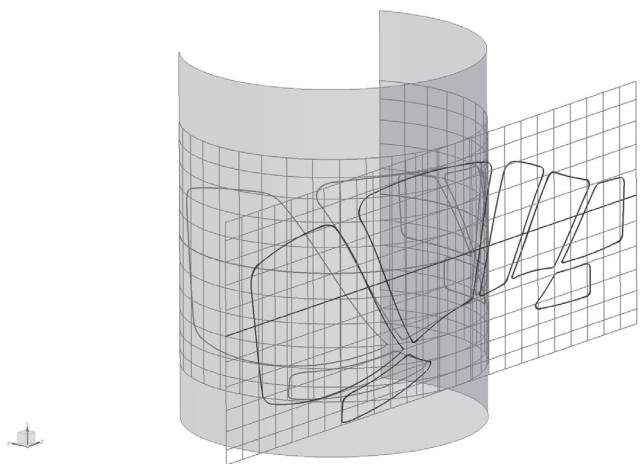


Рис. 6. Развёртка геометрии с цилиндра на плоскость

6. Развёртка проецируется на горизонтальный цилиндр вдоль главной линии визирования. Кривые проекции равномерно распределяются по поверхности цилиндра, сжатие устранено (рис. 7).

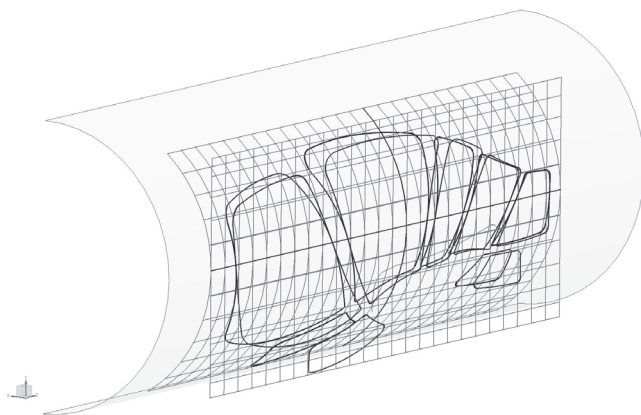


Рис. 7. Проецирование развёртки на горизонтальный цилиндр

7. Проекция с цилиндра развёртывается на плоскость диаграммы обзора, в результате получаем диаграмму обзора в прямоугольных (декартовых) координатах (рис. 8).

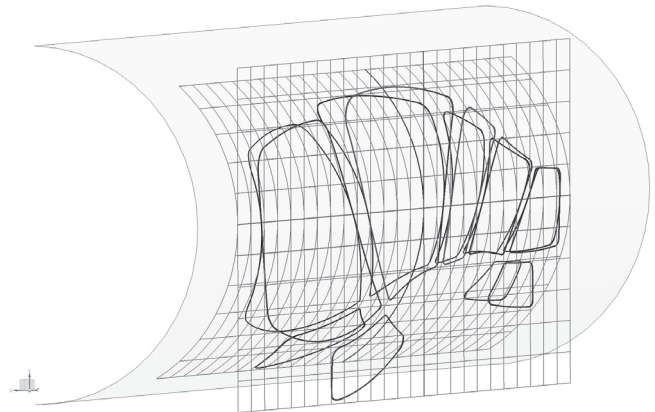


Рис. 8. Развёртка геометрии с горизонтального цилиндра

Далее наносятся границы нормативной диаграммы обзора с использованием построенной в работе координатной сетки и проводится анализ соответствия полученной диаграммы обзора нормативной (рис. 9).

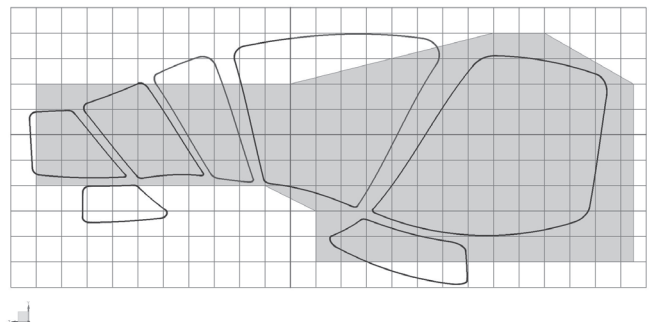


Рис. 9. Диаграмма конструктивного обзора вертолёта. Закрашенная область — нормативная диаграмма АП-29

Метод полностью ассоциативен. При изменении входных параметров (положения точки С, границ проёмов) диаграмма обзора автоматически перестраивается. Это качество позволяет при разработке нового изделия спроектировать рабочее место лётчика с максимально возможным соответствием требованиям нормативных документов [2].

Определение зон проёмов, отвечающих нормативным требованиям

Представляет практический интерес нанесение проекции нормативной диаграммы обзора на теоретическую поверхность кабины при проектировании нового изделия для максимального соответствия границ остекления требованиям нормативных

документов. Для этого необходимо свернуть построенную нормативную диаграмму обзора с плоскости на сферу и спроецировать полученную сферическую диаграмму из точки *C* на поверхность кабины. Для корректного перестроения с плоскости на сферу необходимо сначала «поджать» заданную нормативную диаграмму так, чтобы горизонталы этой диаграммы совпали с плоскостями горизонталей на сфере. Для этого необходимо:

1) командой «Развернуть/Свернуть» свернуть границы нормативной диаграммы обзора на горизонтальный цилиндр;

2) спроецировать свёртку на плоскость диаграммы. Диаграмма поджалась;

3) командой «Развернуть/Свернуть» свернуть полученную проекцию на вертикальный цилиндр (рис. 10);

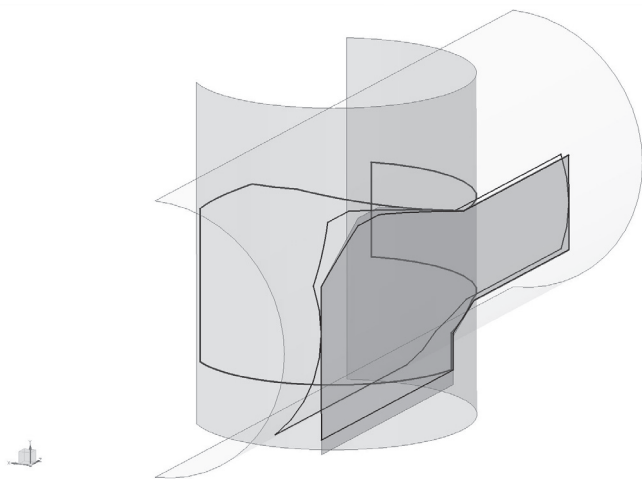


Рис. 10. Последовательность действий 1—3

4) смещением на необходимое расстояние от вертикального цилиндра построить внутренний вертикальный цилиндр так, чтобы он не пересекался с геометрией на сфере;

5) спроецировать свёртку с внешнего цилиндра на внутренний по нормали к его поверхности (рис. 11);

6) командой «По кривым» построить семейство поверхностей, соединяющих соответствующие пары кривых на обоих цилиндрах, далее сшить их;

7) построить линии пересечения полученного семейства поверхностей со сферой. Сферическая нормативная диаграмма обзора построена (рис. 12 и 13);

8) командой «По кривым» построить поверхности, соединяющие точку *C* с кривыми сферической нормативной диаграммы, далее сшить их;

9) командой «Обрезка и расширение» продлить сшивку на необходимое для пересечения с поверхностью кабины расстояние;

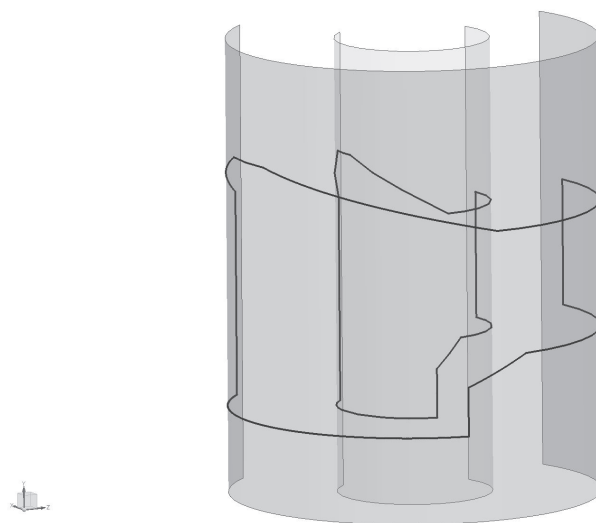


Рис. 11. Проецирование границ нормативной диаграммы на внутренний цилиндр

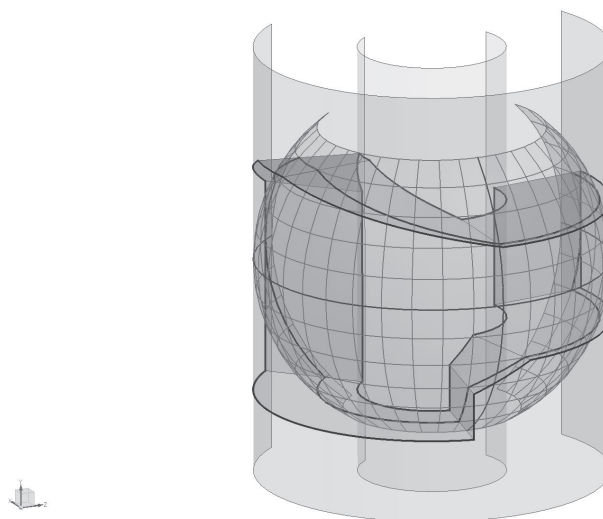


Рис. 12. Построение границ нормативной диаграммы на сфере

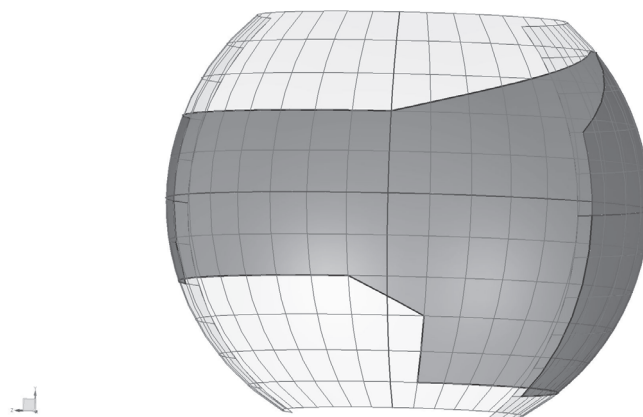


Рис. 13. Нормативная диаграмма обзора АП-29 в полярных координатах

10) построить кривые пересечения сшивки с поверхностью кабины экипажа (рис. 14).

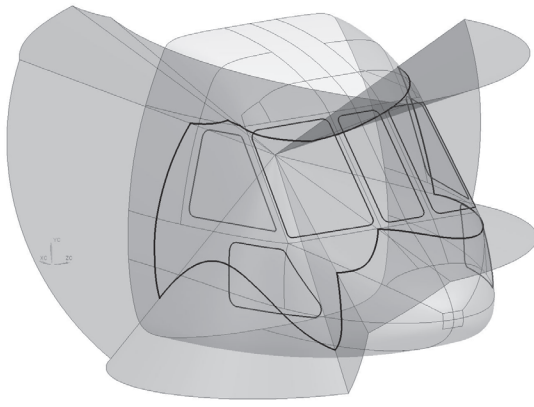


Рис. 14. Проекция нормативной диаграммы обзора АП-29 на поверхность кабины экипажа вертолёт

Задача решена. Полученные построения также полностью ассоциативны, изменение входных параметров (положение точки С, геометрия кабины), отслеживаются системой автоматически.

Затенение внутрикабинным оборудованием

Выше был рассмотрен метод определения диаграммы конструктивного обзора через оконные проёмы из кабины ЛА без учёта влияния её внутреннего оборудования. Одним из самых критичных его элементов, влияющим на обзор, является приборная доска (противобликовый козырёк). Рассмотрим его влияние. Для этого необходимо:

1) командой «По сечениям» построить поверхность из точки С к кромке козырька аналогично конусам обзора (рис 15);

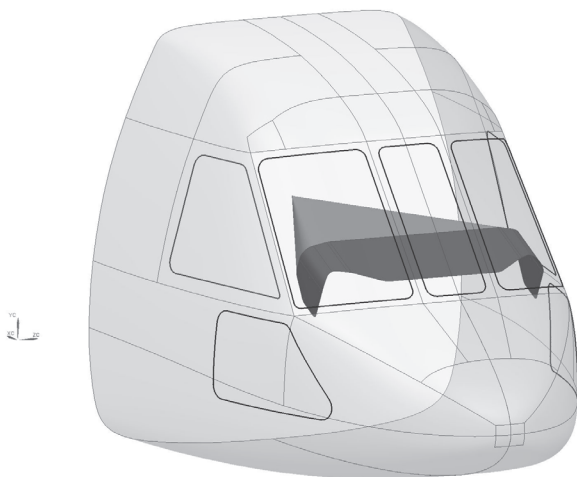


Рис. 15. Построение конуса ограничения обзора козырьком приборной доски

2) выполнить все дальнейшие действия — построение пересечения со сферой, последовательное проецирование и развертывание полученной кривой в соответствии с описанным выше алгоритмом.

В результате на диаграмме конструктивного обзора построена кривая, показывающая ограничение обзора козырьком (рис 16).

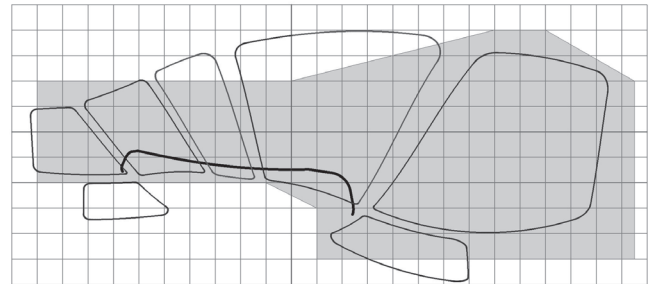


Рис. 16. Диаграмма конструктивного обзора вертолёт с учётом его затенения козырьком приборной доски

Выводы

Разработанный метод определения зон обзора внекабинного пространства через остекление кабины ЛА позволяет при проектировании нового изделия выбрать оптимальное сочетание положения точки С и границ остекления кабины экипажа. Для существующих ЛА метод позволяет определить соответствие внекабинного обзора действующим нормативным документам. Несомненным достоинством метода является исключительно графическое решение поставленной задачи только средствами базовой САД-системы без привлечения дополнительного программного обеспечения и ручной обработки результатов, что делает этот метод эффективным, простым и удобным в работе. Использование данного метода позволяет снизить трудоёмкость и варьировать входные условия. Кроме того, по сравнению с другими методами, предлагаемый метод обладает максимальной точностью, поскольку в нем используются не дискретные массивы точек, а непрерывные ассоциативные кривые.

Библиографический список

1. Самолёты и вертолёты. Методы оценки обзора из кабины. ОСТ 1 00444-81. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 12 с.
2. Рекомендательный циркуляр АС-29-2С. Винтокрылые ЛА транспортной категории. АС 29.773. — М., 2013. — 1144 с.
3. Артамонов Б.Л., Мойзых Е.И. Система интерактивного анализа зоны обзора через остекление кабины летательного аппарата // Вестник Московского авиационного института. 2009. Т.16. №6. С.16-28.
4. Ступакова Г.П., Сыроватко В.Г., Балуева О.Т. Энциклопедический справочник по авиационной эр-

- гономике и экологии. — М.: Изд-во ИП РАН, 1997. — 512 с.
5. Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1979. — 316 с.
6. Меньшов А.Н., Рылский Г.И. Человек в системе управления летательным аппаратом (эргономика). — М.: Машиностроение, 1976. — 192 с.
7. Saloendy G. Handbook of human factors. — New York: John Wiley & Sons Ltd, 1987. — 192 p.

AIRCRAFT PILOT OUTSIDE WORLD VIEW CHARTING TECHNIQUE

Gelvig M.Yu.

Moscow helicopter plant named after M.L. MiL,
26/1, Garshina str., Tomilino, Moscow region, 140070, Russia
e-mail: mgelvig@mi-helicopter.ru

Abstract

Sufficient outside world view from pilot's flight station is one of the essential conditions of the safe and comfortable aircraft piloting, including a helicopter.

Horizontal and vertical look-up angles from the basic directional point C explicit numerical values are specified by regulatory documents, and by FAR-29 Aviation regulations in particular. The viewing field (VF) is usually represented for clarity in the form of chart $\beta = F(\alpha)$, plotted in rectangular coordinate system, where β and α are respectively vertical and horizontal VF angles. Openings outlines presented in rectangular coordinate system should closely comply with normative chart.

Conventional view assessment methods, including measuring ones (in-situ and virtual with 3D-model), are considerably labor consuming, as they require a lot of measured results manual processing. Besides, with the input data alteration (such as basic directional point C position) all measurements must be repeated.

The previous effort of this problem solution automation by means of 3D CAD Solid Works system resulted in successful graphic solution of VF plotting in polar coordinates. However, geometry conversion to rectangular coordinate system with the CAD system failed. To that end, an algorithm employing specially designed software was implemented. It led to the desired result. Nevertheless, the complexity of such solution makes this technique implementation quite a problem.

The objective of the effort presented in the paper was the outside world view VF plotting graphic technique with only basic 3D CAD system available in the Company.

The most challenging task while this technique developing was geometry conversion from polar to rectangular coordinates. This problem was solved in CAD NX 8.5 by successive projections on auxiliary vertical and horizontal cylinders with subsequent unfolding of these projections on plane. As a result, we

have obtained a field of vision plot in rectangular coordinates. All constructions are fully associative. With input data alteration, the geometry reshapes automatically.

We managed to solve the problem of normative field of vision boundaries on the crew cabins' surface determination, based on reverse projection combinations VF normative field of vision boundaries convolutions in rectangular coordinate system.

Keywords: field of vision plot, basic viewing point, graphical plotting method, 3D CAD system.

References

1. *Samolety i vertolety. Metody otsenki obzora iz kabiny. OST 1 00444-81* (Helicopters and Planes. Methods of visibility from the cockpit evaluation. State Standart 1 00444-81), Moscow, Standarty, 1983, 12 p.
2. *Rekomendatel'nyi tsirkulyar AS-29-2S. Vintokrylye LA transportnoi kategorii. AS 29.773* (Advisory circular AC-29-2C. Rotary wing aircraft of transport category. AC 29.773), Moscow, 2013, 1144 p.
3. Artamonov B.L., Moizykh E.I. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2009, vol. 16, no. 6, pp. 16-28.
4. Stupakova G.P., Syrovatko V.G., Balueva O.T. *Entsiklopedicheskii spravochnik po aviatsionnoi ergonomike i ekologii* (Aviation ergonomics and ecology Encyclopedic Handbook), Moscow, IP RAN, 1997, 512 p.
5. Zinchenko V.P., Munipov V.M. *Osnovy ergonomiki* (Ergonomics basics), Moscow, MGU, 1979, 316 p.
6. Men'shov A.N., Ryl'skii G.I. *Chelovek v sisteme upravleniya letatel'nym apparatom <ergonomika>* (A man in aircraft control system <ergonomics>), Moscow, Mashinostroenie, 1976, 192 p.
7. Saloendy G. *Handbook of human factors*. USA, New York, John Wiley & Sons Ltd, 1987, 192 p.