

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММ РЕАЛЬНОГО 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 реального обзора внекабинного пространства пилотом летательного аппарата, учитывающего возможные положения головы и бинокулярность зрения с использованием 3D CAD-систем, в частности Siemens NX8.5. Разработанный метод позволяет в интерактивном режиме проводить оптимизацию компоновочных решений кабины экипажа при проектировании летательных аппаратов (ЛА) и обеспечить максимальное соответствие фактической зоны обзора внекабинного пространства нормативным требованиям. Этот метод также может быть применен и в других областях, где существует задача определения и оптимизации обзора, например в автомобильной промышленности. Особо подчёркивается решение поставленной задачи средствами базовой 3D CAD-системы предприятия исключительно графическим путём, без привлечения дополнительного программного обеспечения и ручных операций, что делает этот метод простым и удобным в работе.

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

### Термины и определения

*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 вертолётa.

*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 напряжения поворота головы и наклона туловища), защитного снаряжения и положения самолёта и вертолётa 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

Для безопасного и комфортного управления летательным аппаратом, в том числе вертолётom, необходимым условием является соответствие среды обитания на рабочем месте пилота предъявляемым к нему эргономическим требованиям [7, 8], включающим в себя обеспечение достаточного обзора внекабинного пространства.

Конкретные численные значения углов обзора из главной визирной точки  $S$  по вертикали и горизонтали задаются нормативными документами, в частности Авиационными правилами АП-29 [4, 5] или отраслевым стандартом ОСТ 1 04019-83 [3]. Нормативную зону обзора для наглядности графически принято представлять в виде диаграммы  $\beta = F(\alpha)$ , выполненной в прямоугольной системе

координат, где  $\beta$  и  $\alpha$  — соответственно углы обзора по вертикали и горизонтали. На рис. 1 представлена нормативная диаграмма обзора Авиационных правил АП-29, приведенная в Рекомендательном циркуляре АС-29-2С [5].

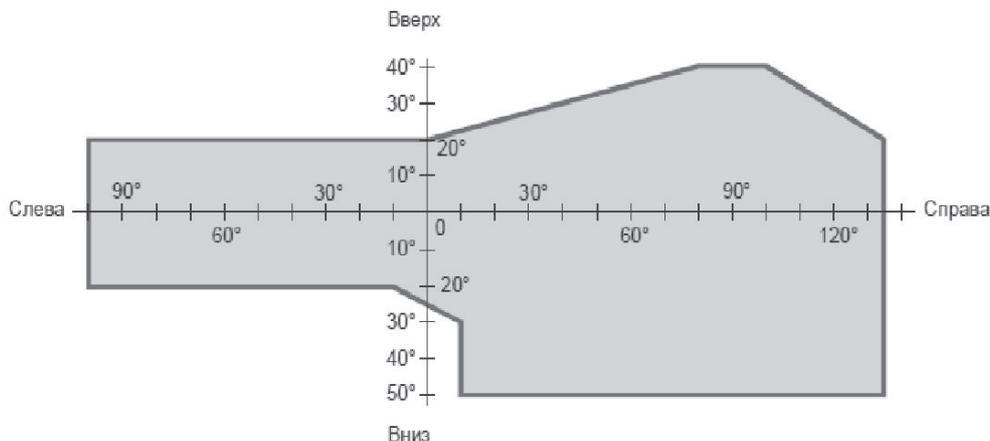


Рис. 1. Нормативная диаграмма обзора Авиационных правил АП-29

Применяемые методы оценки обзора отличаются высокой трудоёмкостью, так как требуют множества замеров (как натуральных на реальном ЛА или на полноразмерном макете кабины экипажа, так и виртуальных на трёхмерной электронной модели) с последующей ручной обработкой результатов измерений. Кроме того, при изменении входных условий (например, положения главной визирной точки С) всю работу приходится выполнять повторно.

В [1] автором настоящей статьи был описан разработанный им интерактивный метод построения диаграммы конструктивного обзора внекабинного пространства пилотом ЛА с использованием базовой 3D CAD-системы предприятия Siemens NX8.5. Суть метода заключается в построении зон обзора в полярных координатах на сфере (рис. 2), впервые предложенном в работе [6], и дальнейшем преобразовании диаграммы из полярной системы координат в прямоугольную путём последовательного проецирования их вместе с координатной сеткой на вспомогательные вертикальный и горизонтальный цилиндры, построенные от линии пересечения сферы с главной визирной плоскостью и линии пересечения с плоскостью симметрии кресла пилота и разворачивания полученных проекций на плоскость диаграммы обзора.

В результате этих построений была получена диаграмма обзора в прямоугольной системе координат (рис. 3), что и составляло цель работы. Важным достоинством этого метода является возможность его использования в среде базовой 3D CAD-

системы предприятия исключительно графическим путём без применения дополнительного математического аппарата и ручных операций. Метод полностью ассоциативен и обладает высокой точнос-

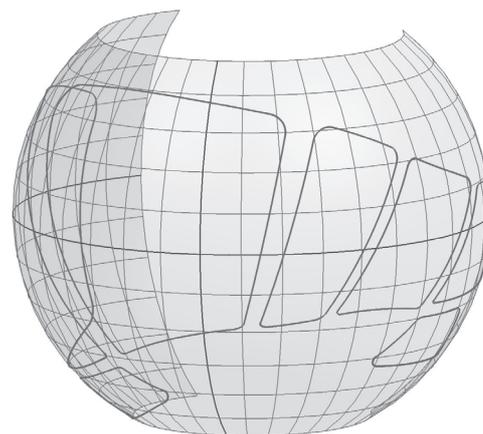


Рис. 2. Зоны обзора в полярных координатах

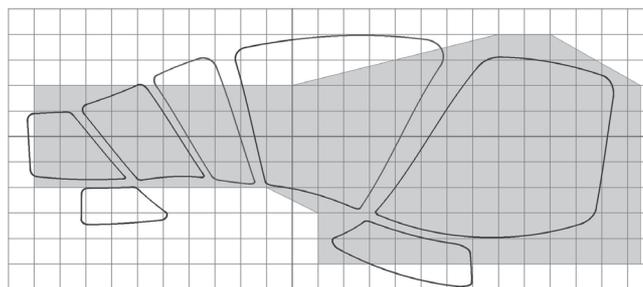


Рис. 3. Диаграмма конструктивного обзора вертолёта

тью, изменения входных данных обрабатываются системой автоматически.

### Реальный обзор

Описанный выше метод позволяет оперативно и с высокой точностью оценить конструктивный обзор, т.е. обзор из главной визирной точки, и по-

строить соответствующую диаграмму, однако он не учитывает подвижности головы лётчика и бинокулярности его зрения. Естественно, что эти факторы расширяют фактические зоны обзора внекабинного пространства. Стандартом [2] предусмотрено понятие *реальный обзор*, для определения которого задана предельная траектория визирной точки  $C_1A$  в главной визирной плоскости, имитирующая эти факторы. При этом условно принято, что горизонтальные углы визирования откладываются от главной визирной точки, а вертикальные — от текущих точек визирования, находящихся на этой кривой (рис. 4).

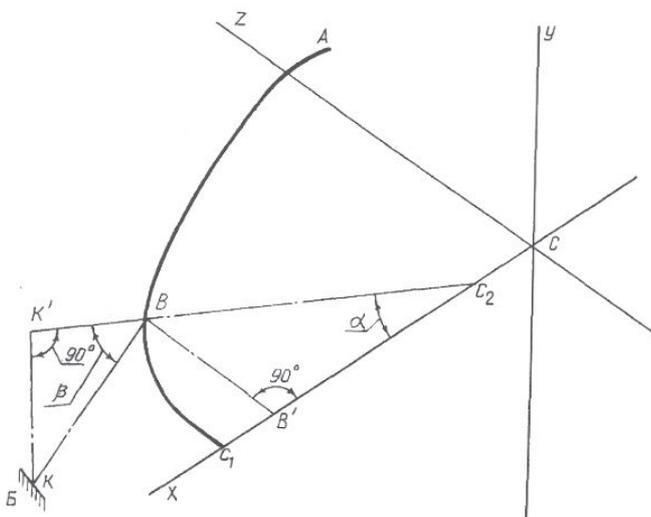


Рис. 4. Схема определения зон реального обзора согласно стандарту ОСТ 1 00444-81

Сложность решения задачи построения диаграммы реального обзора заключается в неоднозначности положения текущей точки визирования, в связи с чем мы не можем использовать построенную ранее сферу в качестве опорной поверхности для построения зон обзора в полярных координатах, так как в данном случае геометрическим местом центра сферы должна являться вся кривая  $C_1A$ . Кроме того, в связи с отсчётом горизонтального угла визирования от главной визирной точки, начало визирных линий для каждого проёма будет находиться не в одной главной визирной точке, как при определении конструктивного обзора, а на участке кривой  $C_1A$ , что исключает возможность использовать в качестве поверхностей — ограничителей обзора для каждого проёма — конусов, аналогичных используемым при оценке конструктивного обзора, и требует более сложных геометрических решений.

Нужно отметить, что, как следует из рис. 4, для определения текущего вертикального угла визирования нас интересует не сама сфера, а лишь вне-

шняя половина её сечения вертикальной плоскостью, проходящую через главную визирную точку и текущую визирную точку на кривой  $C_1A$ . Таким образом, в качестве аналога сферы для оценки конструктивного обзора нам необходима некая опорная поверхность, представляющая собой геометрическое место этих сечений, что является графически решаемой задачей средствами современных 3D CAD-систем, в частности — Siemens NX8.5.

Поверхности, ограничивающие обзор для каждого проёма (аналоги конусов обзора при оценке конструктивного обзора), представляют собой геометрическое место линий визирования от текущей точки визирования до соответствующей пары контурных точек проёма (верх и низ).

Кривые пересечения этих поверхностей с опорной поверхностью будут аналогами зон обзора в полярных координатах на сфере при оценке конструктивного обзора.

Далее, аналогично построению диаграммы конструктивного обзора, путём последовательных проецирований на ранее построенные вертикальный и горизонтальный вспомогательные цилиндры и последовательной развёртки проекций на плоскость диаграммы обзора [1], получаем диаграмму реального обзора в прямоугольных координатах.

Для построения диаграммы реального обзора используем ранее выполненные построения для оценки конструктивного обзора [1].

Далее необходимо выполнить следующие действия:

1. На главной визирной плоскости построить эскиз предельной траектории визирной точки  $C_1A$  согласно [2].

2. На главной визирной плоскости построить эскиз, содержащий линии, соединяющие главную визирную точку с проекциями характерных контурных точек проёмов (в данном случае границ сегментов контура проёма) на главную визирную плоскость. Точки пересечения этих линий с кривой  $C_1A$  будут текущими точками визирования (рис. 5).

3. Соединив прямыми соответствующие текущие точки визирования с характерными контурными точками, построить характерные линии визирования.

4. Используя сегменты контура проёма и соответствующие участки кривой  $C_1A$  в качестве сечений, а характерные линии визирования — в качестве направляющих, командой «По сетке кривых» построить наборы поверхностей, соблюдая касательность между смежными поверхностями для каждого проёма, и сшить их (рис. 6). Зоны ограничения обзора (аналоги конусов обзора) получены.

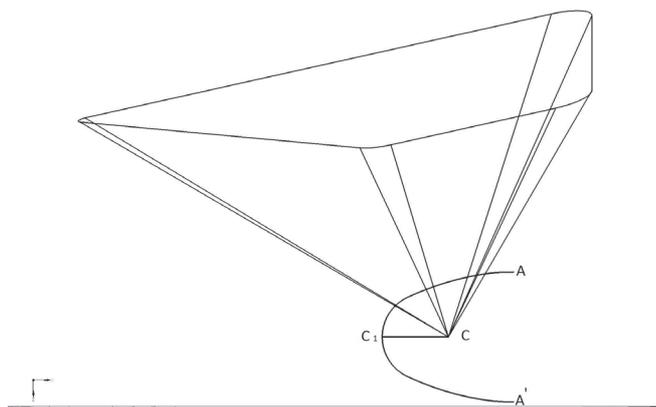


Рис. 5. Эскиз, определяющий нахождение текущих точек визирования

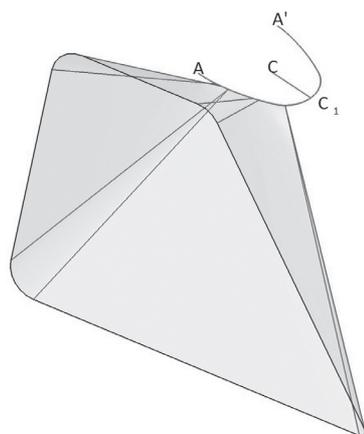


Рис. 6. Зона ограничения обзора для каждого проёма

Следующим этапом является построение опорной поверхности (аналога сферы). Для этого необходимо:

5. В плоскости симметрии кресла построить эскиз в виде полуокружности с радиусом, равным радиусу сферы конструктивного обзора с центром, находящимся в передней точке траектории  $C_1A$ .

6. Командой «Заметание» прокатить полуокружность по кривой  $C_1A$  с ориентацией сечения по нормали к поверхности ранее построенного для определения конструктивного обзора вертикального цилиндра. При этом при любом положении линии визирования проходящая через неё вертикальная плоскость образует с построенной поверхностью сечение в виде полуокружности, что обеспечивает корректное определение вертикальных углов визирования.

7. Построить кривые пересечения поверхностей ограничения зон обзора с построенной поверхностью (рис. 7). Эти кривые являются корректными аналогами кривых пересечений конусов обзора со сферой, использованных при определении зон конструктивного обзора [1].

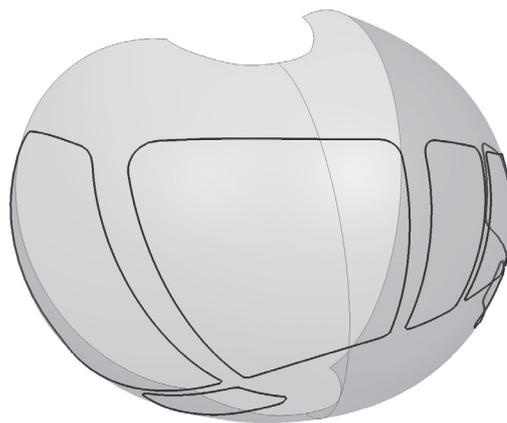


Рис. 7. Кривые пересечения

Дальнейшие действия аналогичны действиям при построении диаграммы конструктивного обзора [1], а именно проецирование геометрии на вертикальный цилиндр, развёртка на плоскость диаграммы, проецирование на горизонтальный цилиндр и окончательная развёртка на плоскость диаграммы, в результате чего получаем диаграмму реального обзора в соответствии с [2] (рис. 8). Пунктиром для сравнения обозначена диаграмма конструктивного обзора. Очевидно, что зоны реального обзора заметно расширились по сравнению с конструктивным обзором.

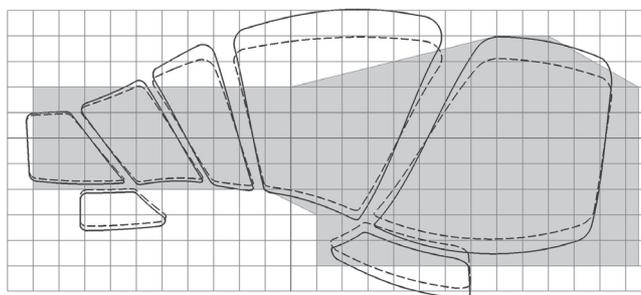


Рис. 8. Сравнительная диаграмма конструктивного и реального обзора по ОСТ 1 00444-81

Следует отметить, что зоны реального обзора построены только для предельной траектории визирной точки. На самом деле геометрическим местом текущей визирной точки является не только кривая  $C_1A$ , а участок главной визирной плоскости, ограниченный этой кривой и лучами левой и правой границ нормативного обзора ( $110^\circ$  и  $135^\circ$  соответственно). Поэтому в действительности диаграммой реального обзора следует считать общее геометрическое место диаграмм для всех возможных положений текущей точки визирования — от главной

визирной точки до предельной траектории визирной точки (рис. 9).

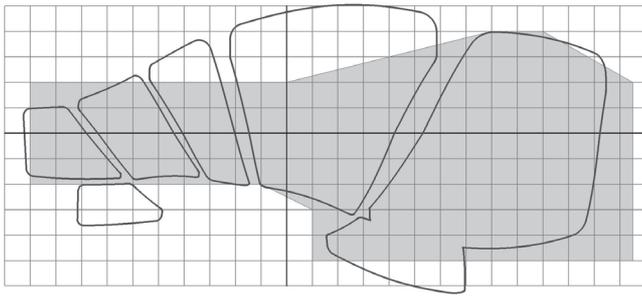


Рис. 9. Суммарная диаграмма реального обзора для всех возможных положений текущей визирной точки

### Решение обратной задачи с учётом реального обзора

В [1] описан алгоритм проецирования на поверхность кабины ЛА границ нормативной диаграммы обзора. Однако этот алгоритм разработан для конструктивного обзора и не учитывает подвижности головы лётчика и бинокулярности зрения, что приводит к завышенным требованиям к форме и расположению проёмов. Для решения этой задачи в случае оценки реального обзора необходимо:

1. Продлить поверхности, построенные для получения нормативной диаграммы на сфере до пересечения с опорной поверхностью реального обзора. Линии пересечения будут границей нормативной диаграммы для реального обзора (рис. 10).

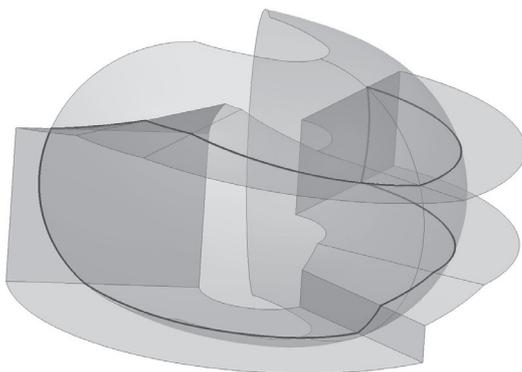


Рис. 10. Нормативная диаграмма обзора АП-29 на опорной поверхности реального обзора

2. На главной визирной плоскости построить эскиз, содержащий линии, соединяющие главную визирную точку с проекциями характерных точек полученной границы нормативной диаграммы на главную визирную плоскость, и точки пересечения

этих линий с кривой  $C_1A$  (аналогично эскизу для построения зон реального обзора).

3. Соединив прямыми соответствующие точки визирования с характерными контурными точками границы нормативной диаграммы на опорной поверхности, построить линии визирования (как для построения зон реального обзора).

4. Используя соответствующие линии визирования в качестве направляющих, командой «По сетке кривых» построить набор поверхностей, ограничивающих нормативную сферическую зону реального обзора в соответствии с требованиями АП-29 (рис. 11).

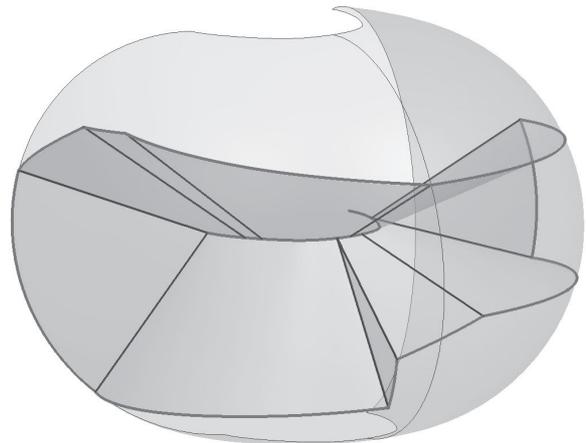


Рис. 11. Поверхности, ограничивающие нормативную зону реального обзора

5. Продлить построенные поверхности на необходимую длину. Линии пересечения с поверхностью кабины экипажа будут проекцией нормативной диаграммы для реального обзора (рис. 12). Проекция диаграммы конструктивного обзора на рис. 12 обозначена пунктиром. Очевидно, что тре-

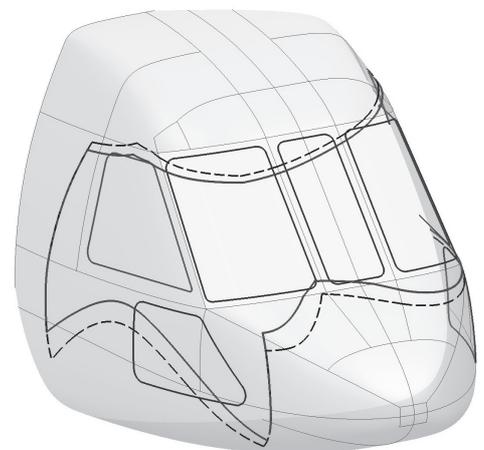


Рис. 12. Сравнение проекций нормативной диаграммы обзора на поверхность кабины экипажа вертолёта для конструктивного и реального обзора

бования к геометрии проёмов в случае оценки реального обзора менее жёсткие, чем для конструктивного обзора.

### Выводы

Разработанный метод определения зон реального обзора внекабинного пространства через остекление кабины ЛА является естественным развитием ранее проделанной работы, дает возможность уточнить реальные условия обзора при проектировании нового изделия и выбрать оптимальное сочетание положения точки *C* и границ остекления кабины экипажа. Учёт подвижности головы лётчика и бинокулярности зрения позволяет избежать завышенных требований к геометрии проёмов кабины экипажа. Для существующих ЛА метод используется для определения соответствия внекабинного обзора действующим нормативным документам, для построения с достаточно высокой точностью диаграмм реального обзора в соответствии с [2]. Несомненным достоинством метода является исключительно графическое решение поставленной задачи только средствами базовой САД-системы, без привлечения дополнительного математического обеспечения и ручной обработки промежуточных результатов, что делает этот метод простым и удобным в работе.

### Библиографические ссылки

1. Гельви́г М.Ю. Метод построения диаграмм обзора внекабинного пространства пилотом летательного аппарата // Вестник Московского авиационного института. 2016. Т. 23. № 3. С. 129-135.
2. Самолёты и вертолёты. Методы оценки обзора из кабины. ОСТ 1 00444-81. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 12 с.
3. Кабины вертолётов. Размеры. ОСТ 1 04019-83. — М.: Изд-во стандартов, 1983. — 6 с.
4. Авиационные правила. Часть 29. Нормы лётной годности винтокрылых летательных аппаратов транспортной категории. — Жуковский: Изд-во ЛИИ им. М.М. Громова, 1995. — 192 с.
5. Рекомендательный циркуляр АС-29-2С. Винтокрылые ЛА транспортной категории / Перевод ООО «Авангард» для ОАО «Вертолёты России». — М., 2013. — 1144 с.
6. 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.
7. Энциклопедический справочник по авиационной эргономике и экологии / Под ред. Г.П. Ступакова, В.Г. Сыроватко, О.Т. Балуева. — М.: Изд-во ИП РАН, 1997. — 512 с.
8. Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1979. — 316 с.
9. *Saloendy G.* Handbook of human factors. — New York: John Wiley & Sons Ltd, 1987. — 192 p.

## AIRCRAFT PILOT'S ACTUAL EXTERNAL FIELD OF VISION 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

An adequate external field of vision from the pilot's station is one of the topmost conditions of safe and comfortable aircraft control including a helicopter.

Explicit numerical values of vertical and horizontal vision angles from the main sighting point "C" are specified by regulatory documents, in particular by Aviation regulations (FAR-29). For clarity, the normative field of vision (FoV) is usually represented in the form of a chart  $\beta = F(\alpha)$  in rectangular axes, where  $\beta$  и  $\alpha$  are vertical and horizontal FoV angles respectively. The opening outlines should comply with normative chart as much as possible.

Currently used methods of view assessment, including a measuring method (natural and virtual with 3D model), are rather labor consuming, as they require human processing of measured data. Besides, with the initial data change, such as main sighting point "C" position, all the measurements must be repeated.

The author has developed an interactive technique of structural FoV plotting by means of Siemens NX8.5 - the basic 3D CAD system of the company. However, structural FoV does not take account for pilot's head mobility and human vision binocularity. It results in overestimated, sometimes impracticable, requirements for geometry of cockpit openings.

As a continuation of the above said research, the development of plotting technique for so-called actual FoV, complied with Standard 1 00444-81 and with due account of the above mentioned factors, has been carried out.

This problem was also solved by graphical method with Siemens NX8.5 CAD in a similar way as structural FoV chart plotting. As a result, actual FoV chart in rectangular coordinates has been obtained. All plotting, like structural FoV, are fully associative. With input data change, the geometry is reshaped automatically.

The author also managed to solve the problem of normative actual field-of-vision boundaries on a crew compartment surface, based on reverse combination of projections and convolutions of normative FoV boundaries in rectangular coordinate system. This allows optimize the location and form of cockpit openings at early design stages.

**Keywords:** field of vision plot, actual FoV, main sighting point, graphical plotting method, 3D CAD-system.

## References

1. Gelvig M.Yu. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2016, vol. 23, no. 3, pp. 129-135.
2. *Samolety i vertolety. Metody otsenki obzora iz kabiny. OST 1 00444-81* (Planes and helicopters. Methods of visibility evaluation from the cockpit. State Standart 1 00444-81), Moscow, Standarty, 1983, 12 p.
3. *Kabiny vertoletov. Razmery. OST 1 04019-83* (Cockpit of the helicopters. Dimensions. State Standart 1 04019-83), Moscow, Standarty, 1983, 6 p.
4. *Aviatsionnye pravila. Chast' 29. Normy letnoi godnosti vintokrylykh letatel'nykh apparatov transportnoi kategorii* (Aviation rules. Part 29. Norms of airworthiness of rotorcraft transport category), Zhukovskiy, LII im. M.M. Gromova, 1995, 192 p.
5. *Rekomendatel'nyi tsirkulyar AS-29-2S. Vintokrylye LA transportnoi kategorii* (Advisory circular AC-29-2C. Rotary wing transport category aircraft), Moscow, 2013, 1144 p.
6. Artamonov B.L., Moizykh E.I. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2009, vol. 16, no. 6, pp. 16-28.
7. Stupakov G.P., Syrovatko V.G., Baluev O.T. *Entsiklopedicheskii spravochnik po aviatsionnoi ergonomike i ekologii* (Encyclopedic reference book on aviation ergonomics and ecology), Moscow, IP RAN, 1997, 512 p.
8. Zinchenko V.P., Munipov V.M. *Osnovy ergonomiki* (Ergonomics basics), Moscow, MGU, 1979, 316 p.
9. Saloendy G. *Handbook of human factors*. New York, John Wiley & Sons Ltd, 1987, 192 p.