

О замене эллипса на овал в элементах конструкции летательных аппаратов

© В.А. Каверин, Д.А. Щукин, Е.Е. Морозов, В.С. Таратонкина

АО «ВПК «НПО машиностроения», Реутов, 143960, Российская Федерация

Конструкции летательных аппаратов содержат элементы эллиптического профиля, например, носовые части и сбрасываемые носовые обтекатели, выполненные в виде оболочек вращения с внешними обводами в форме эллипса. Приведены примеры таких конструкций и рассмотрен способ замены эллипса на овал, профиль которого точно приближается к профилю эллипса. Для конструктора и технолога овал, представляющий собой интерес как более простая фигура, чем эллипс, удобнее, так как он состоит из дуг окружностей большого радиуса, сопряженных с дугами окружностей малого радиуса. Выведенное авторами статьи уравнение овала позволяет заменить эллипс овалом, а также использовать значение максимального или минимального радиуса кривизны исходного эллипса как одного из радиусов овала, а затем вычислить с помощью уравнения овала его второй радиус. Замена эллипса на овал позволяет упростить конструкцию и технологию производства корпусов и функциональных узлов летательных аппаратов, включая выходящие на внешние обводы элементы конструкции.

Ключевые слова: летательный аппарат, внешний обвод, эллипс, радиус кривизны эллипса, овал, уравнение овала

Введение. Конструктивные элементы с эллиптическим профилем применяют, например, в носовых частях и сбрасываемых носовых обтекателях летательных аппаратов (ЛА). Эллиптический профиль для аппаратов выбирают по результатам аэрогидродинамических расчетов, а для обеспечения плавного обтекания изделия берут половину эллипса, т. е. половину либо относительно его большей оси, либо малой. Однако эллипс, представляющий собой плоскую замкнутую кривую, в отличие от окружности, имеет от точки к точке переменный радиус кривизны, следовательно, эллиптический профиль выполнить сложнее, чем профиль окружности. Из-за переменного радиуса кривизны не существует эквидистантных эллипсов, поэтому для исходного эллипса можно по точкам построить кривую, задаваемую сплайном, которая будет приблизительно эквидистантной исходному эллипсу. В то же время овал, состоящий из двух парных дуг окружности, — это профиль, хотя и близкий к эллипсу, менее трудоемкий в изготовлении, а эквидистантные овалы существуют и состоят из концентрических окружностей.

Цель данной работы — рассмотреть примеры использования эллиптических и овальных профилей в элементах конструкций ЛА и показать, что эллиптический профиль, расчеты и изготовление

которого более трудоемки, можно заменить овальным профилем, точно приблизив его к профилю эллипса.

Примеры решения представленной задачи приведены в нескольких изданиях. Так, в работе [1] наряду с прочим рассматриваются днища баков с внешним обводом в виде половины эллипса. В статье [2] предложен вариант оптимизации эллиптической оболочки переменной толщины с применением численных методов и метода конечных элементов. В статье [3] дано описание механической обработки фасонных поверхностей, в том числе сферической и эллиптической, а также представлен вариант замены контура детали, заданного теоретическим уравнением, на полином с использованием сплайн-функций. Кроме того, показано, что обработка эллиптической поверхности — более трудоемкая операция, чем обработка сферической.

В статье [4] представлено исследование обтекания сверхзвуковым потоком воздуха осесимметричных носовых частей в виде эллипсоидов вращения, коэффициент эллиптичности которых изменялся от 1,0 до 10,0, а в статье [5] рассмотрены пристеночные пульсации давления на поверхности обтекателя в форме полуэллипсоида с отношением полуосей 2 и 4. В полезной модели к патенту [6] представлен ЛА с крылом, выполненным в виде замкнутого контура, образующего эллипс в вертикальной плоскости, с горизонтальной большой осью и соотношением осей 2,5–3,5.

В издании [7] можно ознакомиться с британским истребителем Spitfire с крылом в плане в виде эллипса. В работе [8] и статье [9] показан проект перспективного пассажирского самолета М-60 с эллиптическим в поперечном сечении фюзеляжем.

Примеры конструирования ЛА. *Первый пример*, носовой обтекатель (НО) по патенту РФ [10] приведен на рис. 1. В формуле изобретения к патенту указаны его альтернативные признаки: «...днище НО по внешнему контуру выполнено в форме эллипса или овала путем вращения вокруг оси НО с обеспечением плавного обвода с корпусом НО».

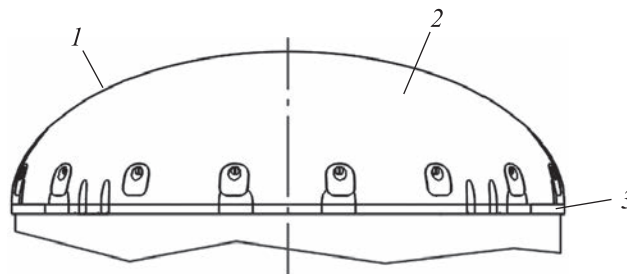


Рис. 1. Днище и корпус носового обтекателя ЛА:

1 — половина эллиптического внешнего контура корпуса;
2 — днище носового обтекателя; 3 — корпус носового обтекателя

Если по результатам аэрогидродинамических расчетов для днища НО первоначально выбран внешний обвод в виде половины эллипса как оптимальный, то описанным далее способом можно получить овал, обеспечивающий точное приближение к контуру эллипса, что позволит сохранить аэрогидродинамические характеристики изделия и удешевить производство днища НО.

Второй пример — антенна (рис. 2), установленная внутри корпуса ЛА, конус излучения которой на пересечении с нижней плоской частью корпуса аппарата образует эллипс. Теплоизоляция и крышка, расположенные в зоне ее излучения, выполнены из радиопрозрачного материала. При этом теплоизоляция предохраняет антенну от перегрева, а крышка, закрывающая отверстие в корпусе ЛА, установлена на окантовке этого отверстия с помощью крепежа. По условиям полета наружная оболочка корпуса ЛА, включая окантовку, изготовлена из нерадиопрозрачного композиционного материала, поэтому размеры отверстия в плоской части корпуса и окантовке выбраны с учетом размеров эллипса, задающего границу радиопрозрачной области. Отверстия выполнены овальными с превышением размеров эллипса, но с точным приближением к нему, что обеспечивает минимальный габаритный размер окантованного отверстия. Крышка в плане также имеет овальную форму. Представленное исполнение деталей позволяет упростить конструкцию и повысить ее технологичность.

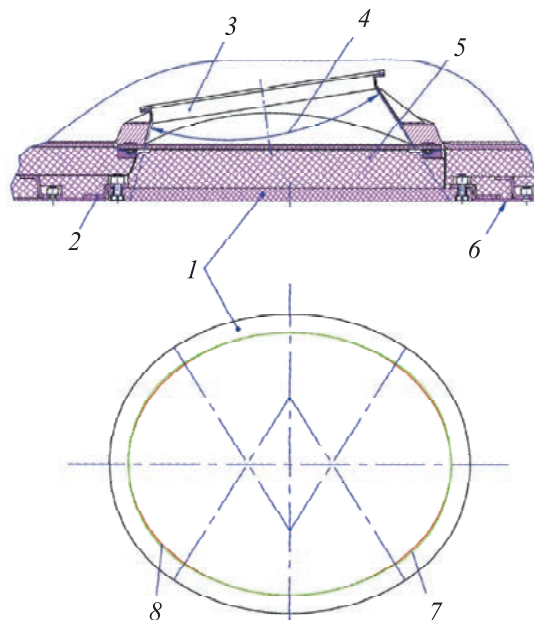


Рис. 2. Овальная крышка из радиопрозрачного материала:

1 — овальная крышка; 2 — окантовка; 3 — антенна; 4 — конус излучения антенны; 5 — теплоизоляция; 6 — плоская часть корпуса ЛА; 7 — овал, охватывающий эллипс (зеленым цветом); 8 — эллипс (красного цвета) от пересечения конуса излучения антенны с плоскостью

Третий пример — геометрическая модель-заготовка для 3D-моделирования бочкообразного тела с овалом в поперечном сечении и его 3D-модель представлены на рис. 3. По овалу меньших габаритных размеров строится на заданном расстоянии эквидистантный ему овал больших габаритов и овал, равный исходному овалу на том же расстоянии от большого овала. Соединяются прямыми линиями точки A, B, C . Через эти точки в плоскости ABC строится дуга окружности и обкатываются этой дугой овалы по замкнутому периметру. Получается бочкообразное тело со «сплюснутыми» по высоте боками. Такую компактную и технологичную конструкцию можно использовать по-разному — и как емкость для воды, и как бак для топлива, а также и спроектировать любых объемов.

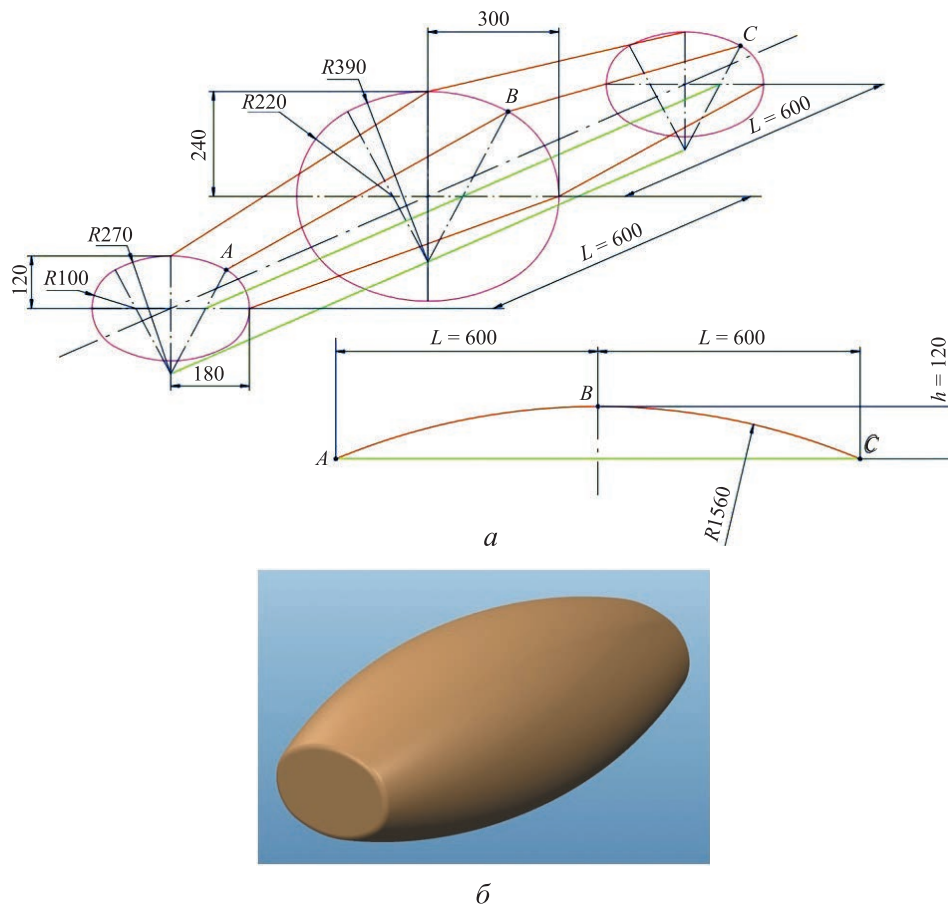


Рис. 3. Геометрическая модель (а) и 3D-модель (б) бочкообразного тела на основе овала

В приведенных примерах замена эллипса на овал с обеспечением точного приближения профиля овала к профилю эллипса позволила бы упростить математическую модель расчета и повысить технологичность

изготовления в производстве, в частности, упростить процесс подготовки программ для станков с числовым программным управлением.

Исходные данные по эллипсу и овалу. В курсах аналитической геометрии уравнение эллипса, центр которого совпадает с началом координат, в системе координат XOY записывается в виде

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (1)$$

где a — большая полуось эллипса; b — малая полуось эллипса.

Овал — это кривая на плоскости с двумя осями симметрии, состоящая из дуг окружностей большого радиуса, сопряженных с дугами окружностей малого радиуса.

Математическое описание овала отсутствует в научно-технической литературе, а в курсах черчения и инженерной графики приводятся только частные случаи его построения. Геометрия овала задается четырьмя параметрами: a — большая полуось овала; b — малая полуось овала; R — большой радиус овала; r — малый радиус овала.

Математическое описание овала. В работе [11] представлен вывод уравнения овала, который поясняется рис. 4: $OB = a$; $OC = b$; $GF = R$; $EF = r$. Рассмотрим прямоугольный треугольник EGO : $OE = a - r$; $OG = R - b$; $EG = R - r$.

С помощью теоремы Пифагора записывается следующее равенство:

$$(a - r)^2 + (R - b)^2 = (R - r)^2, \quad (2)$$

т. е. уравнение овала.

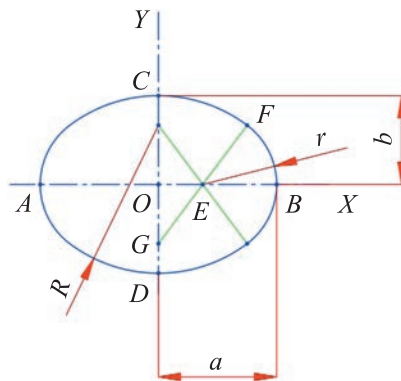


Рис. 4. Овал с центром в начале координат O

Задав три параметра, вычисляется четвертый параметр. Например, если задать параметры a , b , R , то по формуле (2) можно рассчитать параметр r :

$$r = \frac{2Rb - (a^2 + b^2)}{2(R - a)}. \quad (3)$$

Соответственно, если заданы a , b , r , то параметр R вычисляем таким образом:

$$R = \frac{a^2 + b^2 - 2ar}{2(b - r)}. \quad (4)$$

Приведенная на рис. 4 точка F — это точка сопряжения окружностей R и r овала. Можно определить ее координаты из отношений $\frac{x_F}{R} = \frac{OE}{GE}$ и $\frac{y_F + OG}{R} = \frac{y_F}{r}$, преобразовав которые, получим:

$$x_F = \frac{a - r}{R - r} R; \quad (5)$$

$$y_F = \frac{R - b}{R - r} r. \quad (6)$$

Используя приведенные на рис. 4 обозначения, можно записать уравнение окружностей овала радиусом R ($0 \leq x \leq x_F$):

$$x^2 + (y + (R - b))^2 = R^2. \quad (7)$$

Тогда для первого квадранта получим

$$y = \sqrt{R^2 - x^2} - R + b. \quad (8)$$

Уравнение окружности овала радиуса r ($x_F \leq x \leq a$) будет иметь вид

$$(x - (a - r))^2 + y^2 = r^2, \quad (9)$$

и тогда для первого квадранта можно записать

$$y = \sqrt{r^2 - (x - a + r)^2}. \quad (10)$$

Описание способа замены эллипса на овал. Прежде всего, для этого следует задать в овале величины a и b такими же, как в эллипсе, и, варьируя одним из радиусов овала, вычислить другой его радиус.

Хорошую точность по отношению к исходному эллипсу дает назначение большого радиуса овала равным максимальному радиусу кривизны эллипса с вычислением малого радиуса овала или назначение малого радиуса овала равным минимальному радиусу кривизны

эллипса с вычислением большого радиуса овала. Минимальный и максимальный радиусы кривизны эллипса рассчитываются по формулам, приведенным в курсах аналитической геометрии:

$$R_{\min} = \frac{b^2}{a}; \quad (11)$$

$$R_{\max} = \frac{a^2}{b}. \quad (12)$$

В качестве примера рассмотрим эллипс, у которого $a = 180$, $b = 120$. Тогда $R_{\min} = \frac{120^2}{180} = 80$, $R_{\max} = \frac{180^2}{120} = 270$.

Овал, представленный на рис. 5, имеет радиус R , равный радиусу кривизны эллипса $R_{\max}$, а радиус r вычисляется (вариант 1); у овала на рис. 6 — радиус r равен радиусу $R_{\min}$ эллипса, а радиус R рассчитывается (вариант 2).

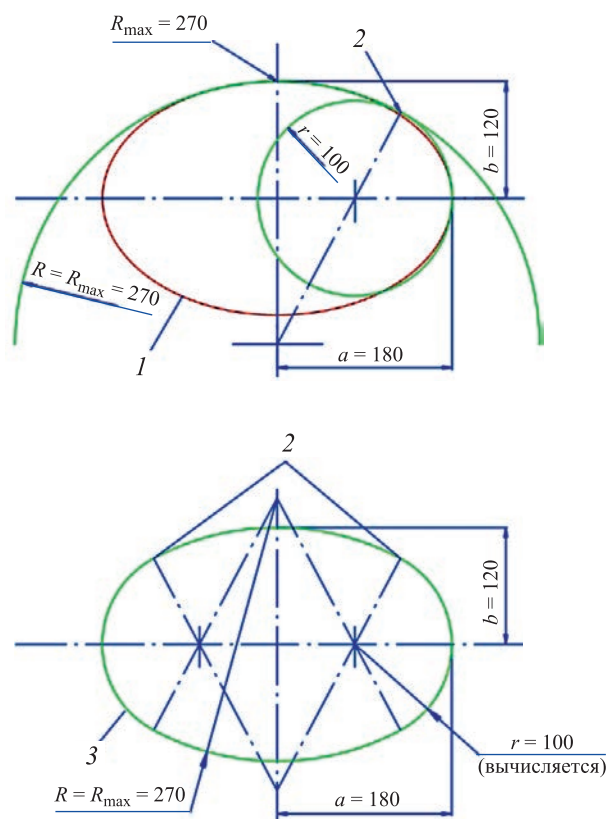


Рис. 5. Вариант 1 задания овала, заменяющего исходный эллипс:
1 — эллипс; 2 — точка сопряжения окружности R и r овала; 3 — овал

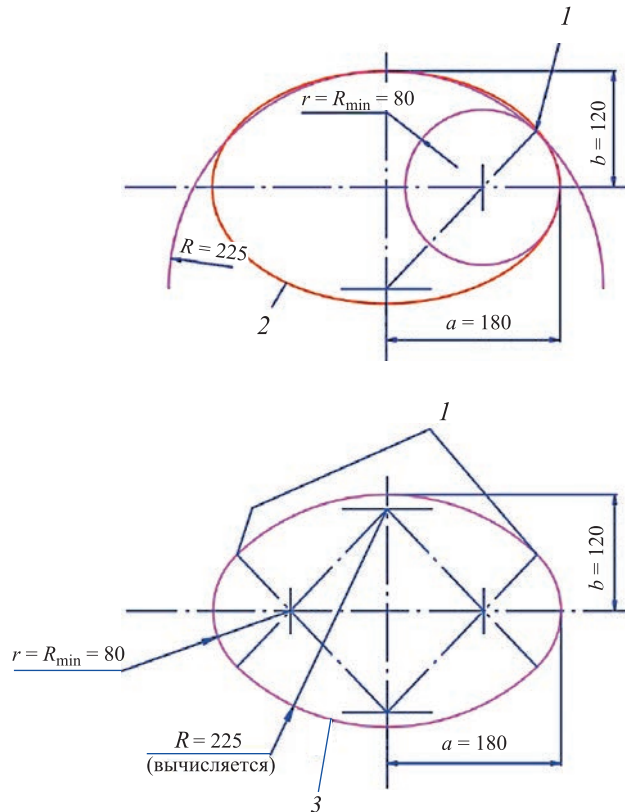


Рис. 6. Вариант 2 задания $r = R_{\min}$ и вычисления R овала, заменяющего исходный эллипс:

1 — точка сопряжения окружности R и r овала; 2 — эллипс; 3 — овал

В варианте 2, как и в варианте 1, имеет место точное приближение контура овала к контуру эллипса.

Если понадобится уточнить значение выбранного таким способом большого R или малого r радиуса овала с целью еще большего приближения к контуру эллипса, то это уже будут несущественные уточнения.

Второй радиус овала можно не определять, а строить, используя операцию «Окружность — три точки касания» в САПР КОМПАС или AutoCAD.

Во введении уже было отмечено, что не существует эллипса, эквидистантного исходному. Для примера стоит рассмотреть эллипсы, у которых размеры a и b отличаются на 25 мм (рис. 7). Далее будут определены $\left(c = \pm\sqrt{a^2 - b^2}\right)$ и построены точки F_1 и F_2 фокусов внешнего эллипса. В произвольных точках A, B, C внешнего эллипса можно построить касательные к нему способом, описанном в курсах аналитической геометрии, и нормали к касательным. Для этого

в точке A строится биссектриса угла A_1AF_2 , которая является касательной к эллипсу в точке A . Аналогичные построения нужно выполнить в точках B и C , а затем построить нормали к касательным в точках A, B, C до пересечения с внутренним эллипсом. Из полученных значений размеров по точкам A, B, C будет понятно, что внутренний эллипс не эквидистантен внешнему эллипсу.

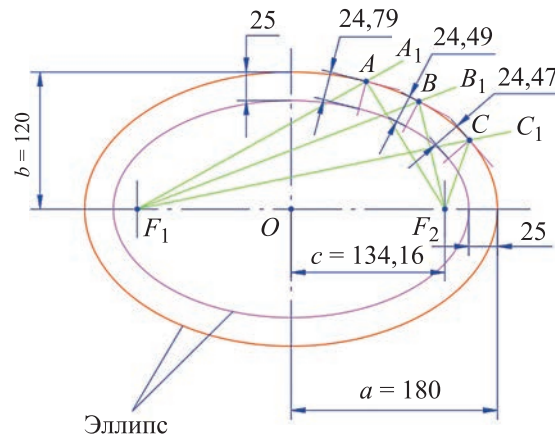


Рис. 7. Построение касательных и нормалей к внешнему эллипсу в точках A, B, C

Таким образом, для реализации постоянной толщины в детали с внешним контуром в виде эллипса необходимо по точкам строить эквидистантную кривую к исходному эллипсу и выглаживать ее сплайном.

Вывод формулы радиуса кривизны эллипса в зависимости от координаты x . Известна общая формула для радиуса кривизны кривой:

$$R = \frac{(1 + y'^2)^{3/2}}{|y''|}. \quad (13)$$

Будем рассматривать первый квадрант системы координат $ХОУ$. Используя формулу (1), последовательно получим величины y , а также первой и второй производной от y :

$$y = b\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}; \quad (14)$$

$$y' = -\frac{b}{a^2} \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}}; \quad (15)$$

$$y'' = -\frac{b}{a^2} \frac{1}{\left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^{3/2}}. \quad (16)$$

Подставляя (15) и (16) в (13), находим

$$R_{\text{эллипса}} = \frac{a^2}{b} \left(1 - \frac{a^2 - b^2}{a^4} x^2\right)^{3/2}. \quad (17)$$

Проверим формулу (17) при $x = 0$ и $x = a$:

при $x = 0$ находим $R_{\text{эллипса}} = \frac{a^2}{b}$, т. е. получаем формулу (12);

при $x = a$ находим $R_{\text{эллипса}} = \frac{b^2}{a}$, т. е. получаем формулу (11).

EXCEL-программа для расчета геометрии эллипса и овала.

В программе используются формулы (1)–(17) и применяются математические и логические операции. Экранная копия программы изображена на рис. 8. Расчет проводится в центральной системе координат ХОУ, т. е. центры эллипса и овала совпадают с точкой О. Первоначально в программу вводятся величины a и b как исходные данные. Для эллипса вычисляются фокусы, минимальный (11) и максимальный (12) радиусы кривизны, а также, если необходимо, промежуточные радиусы кривизны (17) в зависимости от координаты x .

Стр.	А	В	С	Д	Е	Г	Н	И	К	Л	М	О	Р
1	Вводите	a =	180 мм	ОБЛА-ЭЛЛИПС									
2	Вводите	b =	120 мм	Центры эллипса и овала совпадают с точкой О системы координат ХОУ									
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13	Вариант 1:	Введите	270 мм, тогда	100 мм									
14													
15	Координаты точки сопряжения радиусов R и r для i-квадранта:												
16	x =	127.0588 мм											
17	y =	88.23529 мм											
18													
19	Координаты центра радиуса R:												
20	x =	0 мм											
21	y =	150 мм											
22													
23	Координаты центра радиуса r:												
24	x =	80 мм											
25	y =	0 мм											
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32	Вариант 2:	Введите	80 мм, тогда	225 мм									
33													
34	Координаты точки сопряжения радиусов R и r для i-квадранта:												
35	x =	155.1724 мм											
36	y =	57.93103 мм											
37													
38	Координаты центра радиуса R:												
39	x =	0 мм											
40	y =	105 мм											
41													
42	Координаты центра радиуса r:												
43	x =	100 мм											
44	y =	0 мм											
45													

Рис. 8. Расчет геометрии эллипса и овала в EXCEL-программе

Для овала (в квадранте I) вычисляются координаты точек сопряжения радиусов R и r , координаты центров радиусов R и r . При рассмотрении задачи замены эллипса на овал расчет в программе проводится по варианту 1 задания параметров овала (см. рис. 5) или по варианту 2 (см. рис. 6).

Кроме того, в программе (для квадранта I в системе координат XOY) можно проводить расчет координат точек эллипса и овала. При вводе координаты x получаем координаты y для эллипса и овала, после чего можно сравнивать их значения для проведения дальнейшего анализа.

Заключение. В работе рассмотрены примеры использования эллипса и овала в элементах конструкции ЛА, дано математическое описание овала как геометрической фигуры и проведено ее сравнение с эллипсом, и на этой основе предложен способ замены эллипса на овал с точным приближением к профилю эллипса.

Представленная программа в EXCEL позволяет рассчитывать параметры эллипса и овала, а также параметры овала, обеспечивающие точное приближение к исходному эллипсу. Рассмотренный способ используется в практике конструирования при выполнении проектно-конструкторских работ, так как он позволяет упростить технологию и снизить затраты при производстве корпусов и функциональных узлов ЛА.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Погорелов В.И. *Прочность и устойчивость тонкостенных конструкций*. Санкт-Петербург, 2005, 154 с.
- [2] Бондарев И.Д., Фёдоров Л.В. Вариант оптимизации эллиптической оболочки переменной толщины. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2025, № 2 (153), с. 20–31. EDN: NUAOWM
- [3] Туромша В.И., Мищенко С.Н. Моделирование износа и стойкости инструмента при обработке деталей с переменной глубиной резания. *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. Машиностроение и машиноведение*, 2011, № 2, с. 10–22. Репозиторий БНТУ.
- [4] Башкин В.А., Егоров И.В. Расчет аэродинамических характеристик эллипсоидальных носовых частей при гиперзвуковых скоростях. *Ученые записки ЦАГИ*, 1993, т. XXIV, № 4, с. 3–12.
- [5] Голубев А.Ю., Кузнецов С.В. Пристеночные пульсации давления на поверхности обтекателя в форме полуэллипсоида и в его окрестности. *Известия РАН. Механика жидкости и газа*, 2023, № 6, с. 75–85.
- [6] Мишута Д.В., Мишута В.Н., Нарушевич А.А. и др. *Летательный аппарат. Полезная модель к патенту РФ 107766*. Заявл. 24.03.2011, опубл. 27.08.2011.
- [7] Эден П., Мозн С. *Самолеты Второй мировой войны. 1939–1945. Истребители и штурмовики. Supermarine Spitfire Mk-5*. Москва, Астрель, 2012, с. 208–215.
- [8] Захаров В.А. В.М. Мясищев — авиационный розмысл XX века. *Сказанное и недосказанное (Записки конструктора)*. Москва, Изд-во МАИ, 2007, с. 131–133.

- [9] Архипов А. Где вы, самолеты пятого поколения? *Крылья Родины*, 2003, № 11, с. 2–10.
- [10] Дергачев А.А., Каверин В.А., Шаповалов А.И. и др. *Носовой обтекатель высокоскоростного летательного аппарата в транспортно-пусковом контейнере и способ его сборки. Патент РФ 2776123. Заявл. 15.11.2021, опубл. 13.07.2022.*
- [11] Каверин В.А., Щукин Д.А. Овал и конус с основанием в виде овала. Математические и прикладные вопросы. *Ракетные комплексы и ракетно-космический системы. Проектирование, экспериментальная отработка, летные испытания, эксплуатация: Труды секции 22 имени академика В.Н. Челомея XLII Академических чтений по космонавтике. Вып. 6. Реутов, АО ВПК «НПО машиностроения», 2018, с.79–87.*

Статья поступила в редакцию 20.04.2026

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Каверин В.А., Щукин Д.А., Морозов Е.Е., Таратонкина В.С. О замене эллипса на овал в элементах конструкции летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2026, вып. 8. EDN DXDDXQ

Каверин Виктор Александрович — главный специалист отделения, АО «ВПК «НПО машиностроения»; заслуженный конструктор Российской Федерации. e-mail: tochilov@vpk.npomash.ru

Щукин Дмитрий Анатольевич — заместитель начальника комплексного конструкторского отдела, АО «ВПК «НПО машиностроения»; заслуженный конструктор Российской Федерации. e-mail: vpk@vpk.npomash.ru

Морозов Евгений Евгеньевич — заместитель начальника комплексного конструкторского отдела, АО «ВПК «НПО машиностроения». e-mail: vpk@vpk.npomash.ru

Таратонкина Вера Сергеевна — инженер-конструктор III категории, АО «ВПК «НПО машиностроения». e-mail: vpk@vpk.npomash.ru

On Replacing an Ellipse with an Oval in Aircraft Design Elements

© V.A. Kaverin, D.A. Schukin, E.E. Morozov, V.S. Taratonkina

JSC MIC “NPO Mashinostroyeniya”, Reutov, 143960, Russian Federation

Aircraft structures employ elliptical profile elements are used, for example, nose parts and dropable nose fairings in the form of rotation shells with elliptical outer contours. Examples of such constructions are given and a method for replacing an ellipse with an oval with an exact approximation of the oval profile to the ellipse profile is considered. An oval is of interest to designers and technologists as a simpler shape than an ellipse, consisting of arcs of large-radius circles conjugated with arcs of small-radius circles. The method of replacing an ellipse with an oval is based on using the oval equation derived by the authors, as well as using the values of the maximum or minimum radius of curvature of the original ellipse as one of the radius of the oval, followed by calculating its second radius from the oval equation. Replacing an ellipse with an oval simplifies the design and manufacturing technology of aircraft hulls and functional components, including structural elements that extend to the outer contours.

Keywords: aircraft, outer contour, ellipse, radius of curvature of ellipse, oval, oval equation

REFERENCES

- [1] Pogorelov V.I. *Prochnost i ustoychivost tonkostennykh konstruksiy* [Strength and stability of thin-walled structures]. St. Petersburg, Baltic State Technical University Press, 2005, 154 p.
- [2] Bondarev I.D., Fedorov L.V. Variant optimizatsii ellipticheskoy obolochki peremennoy tolshchiny [Optimization Option for an Elliptical Shell of the Variable Thickness]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroyenie — Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering*, 2025, no. 2 (153), pp. 20–31. EDN NUAOWM
- [3] Turomsha V.I., Mischenko S.N. Modelirovanie iznosa i stoykosti instrumenta pri obrabotke detaley s peremennoy glubinoi rezaniya [Modeling of tool wear and resistance when machining parts with variable depth of cut]. *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo. Mashinostroyenie i mashinovedenie — Bulletin of Sukhoi State Technical University of Gomel. Mechanical Engineering and Machine Science*, 2011, no. 2, pp. 10–22. Available at: <http://rep.bntu.by/>
- [4] Bashkin V.A., Egorov I.V. Raschet aerodinamicheskikh kharakteristik ellipsoidal'nykh nosovykh chastey pri giperzvukovykh skorostyakh [Calculation of aerodynamic characteristics of ellipsoidal nose sections at hypersonic speeds]. *Uchenye zapiski TsAGI — TsAGI Science Journal*, 1993, vol. XXIV, no. 4, pp. 3–12.
- [5] Golubev A.Yu., Kuznetsov S.V. Pristenochnye pul'satsii davleniya na poverkhnosti obtekatelya v forme poluellipsoida i v ego okrestnosti [Wall pressure fluctuations on the surface of a semi-ellipsoid fairing and in its vicinity]. *Izvestiya RAN. Mekhanika zhidkosti i gaza — Fluid Dynamics*, 2023, no. 6, pp. 75–85.
- [6] Mishuta D.V., Mishuta V.N., Narushevich A.A., et al. *Letatelnyy apparat* [Aircraft]. Utility model patent of the Russian Federation No. 107766. Appl. March 24, 2011, publ. August 27, 2011.
- [7] Eden P.E., Moeng S., eds. *Aircraft Anatomy of World War II: Technical Drawings of Key Aircraft 1939–1945*. London, Amber Books, 2007, 256 p. [In Russ.:

- Eden P.E., Moeng S. *Samolety Vtoroy mirovoy voyny. 1939–1945. Unikalnye risunki i chertezhi*. Moscow, Astrel Publ., 2012, pp. 208–215].
- [8] Zakharov V.A. V.M. Myasishev – *aviatsionnyy rozmysl XX veka. Skazannoe i nedoskazannoe (Zapiski konstruktora)* [V.M. Myasishchev – the aviation thinker of the 20th century. Said and unsaid (Designer's notes)]. 2nd ed., revised and enlarged. Moscow, MAI Publ., 2007, pp. 131–133.
- [9] Arkhipov A. Gde vy, samolety pyatogo pokoleniya? [Where are you, fifth-generation aircraft?]. *Kryl'ya Rodiny — Wings of Motherland*, 2003, no. 11, pp. 2–10.
- [10] Dergachev A.A., Kaverin V.A., Shapovalov A.I., et al. *Nosovoy obtekatel vysokoskorostnogo letatel'nogo apparata v transportno-puskovom konteynere i sposob ego sborki* [High-Speed Aircraft Nose Cone in Transport-Launch Container and Method for Its Assembly]. Patent of the Russian Federation No. 2776123. Appl. November 15, 2021, publ. July 13, 2022.
- [11] Kaverin V.A., Schukin D.A. Oval i konus s osnovaniem v videovala. Matematicheskie i prikladnye voprosy [Oval and cone with an oval base. Mathematical and applied aspects]. In: *Raketnye komplekсы i raketno-kosmicheskie sistemy. Proektirovanie, eksperimentalnaya otrabotka, letnye ispytaniya, ekspluatatsiya: Trudy seksii 22 imeni akademika V.N. Chelomeya XLII Akademicheskikh chteniy po kosmonavtike* [Rocket Complexes and Rocket-Space Systems. Design, Experimental Development, Flight Tests, Operation: Proceedings of Section 22 named after Academician V.N. Chelomey of the XLII Academic Readings on Cosmonautics]. Iss. 6. Reutov, JSC “VPK “NPO Mashinostroyeniya”, 2018, pp. 79–87.

Kaverin V.A., chief specialist of the Department, JSC MIC “NPO Mashinostroyeniya”, honored designer of the Russian Federation. e-mail: tochilov@vpk.npomash.ru

Schukin D.A., deputy head of the Integrated Design Department, JSC MIC “NPO Mashinostroyeniya”, honored designer of the Russian Federation. e-mail: vpk@vpk.npomash.ru

Morozov E.E., deputy head of the Integrated Design Department, JSC MIC “NPO Mashinostroyeniya”. e-mail: vpk@vpk.npomash.ru

Taratonkina V.S., design engineer, category III, JSC MIC “NPO Mashinostroyeniya”. e-mail: vpk@vpk.npomash.ru