

19135

А К А Д Е М И Я Н А У К С О Ю З А С С Р

62-231.3 ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Б40

З. Ш. БЛОХ и Е. В. КАРНИН

**ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА
ПЛОСКИХ ЧЕТЫРЕХЗВЕННЫХ
МЕХАНИЗМОВ**

(ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НОМОГРАММ)

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА 1948 ЛЕНИНГРАД

ПОПРАВКИ

Стран.	Строка	Напечатано	Должно быть
7	4 стр.	$\cos \delta$	$\cos \alpha$
10	8 стр.	$r_1 - r_3$	$r_2 - r_3$
13	табл. 1	$\begin{bmatrix} r_3 & r_4 \\ r_1 & r_1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} r_4 & r_3 \\ r_1 & r_1 \end{bmatrix}$
17	12 стр.	$\begin{bmatrix} r_4 \\ r_1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} r_2 \\ r_1 \end{bmatrix}$
23	рис. 18	$\gamma_{38} + \gamma_{84}$ $\gamma_{13} + \pi$ $\gamma_{34} + \pi$ $\gamma_{14} + \gamma_{33} + \pi$ γ_{14} γ_{33} 90°	$\gamma_{12} + \gamma_{33}$ $\gamma_{12} + \pi$ $\gamma_{33} + \pi$ $\gamma_{13} + \gamma_{32} + \pi$ γ_{13} γ_{32} 60°
26	рис. 20	$e^{i\varphi_{ijh}}$	$e^{i\varphi_{jk}}$
26	5 стр.	(43)	(59)
26	5 "	отчитываемые	отсчитываемые
44	6 "	$\Delta_1 - u_{23}\Delta_1 + \omega_{21}\Delta_2 -$	$\Delta_1 - u_{22}\Delta_1 + \omega_{21}\Delta_2 -$
65	форм. (13 4)	$-\omega_{22}u_{22}\Delta_3,$	$-\omega_{22}u_{22}\Delta_3 = 0,$

ВВВ 62-231-3 62
540 570

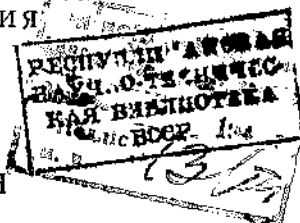
АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Д Е П

~~62:578.3~~
~~570~~

~~578.3~~



З. Ш. БЛОХ и Е. Б. КАРПИН

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА
ПЛОСКИХ ЧЕТЫРЕХЗВЕННЫХ
МЕХАНИЗМОВ

(ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НОМОГРАММ)

65429

МИНСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
ИМЕНА
А. С. ПУШКИНА
ИНВ. №

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

МОСКВА - ЛЕНИНГРАД

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
СССР

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
АКАДЕМИК Е. А. ЧУДАКОВ

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
<i>Раздел первый</i>	
Глава I. Аналитические методы синтеза механизмов	5
<i>Раздел второй</i>	
Глава II. Проектирование шарнирного четырехзвенника по предельным значениям угла давления.	7
Глава III. Проектирование шарнирного четырехзвенника с одинаковым отклонением угла давления от наиболее выгодного.	12
Глава IV. Проектирование шарнирного четырехзвенника по мертвым положениям	14
Глава V. Проектирование дезаксиального кривошипно-шатунного механизма по заданным условиям для мертвых положений	18
<i>Раздел третий</i>	
Глава VI. Проектирование шарнирного четырехзвенника по трем положениям кривошипа и коромысла	22
Глава VII. Проектирование шарнирного четырехзвенника по четырем положениям кривошипа и коромысла	26
Глава VIII. Проектирование шарнирного четырехзвенника по четырем заданным значениям угла давления.	43
Глава IX. Проектирование дезаксиального кривошипно-шатунного механизма по трем положениям кривошипа и ползушки	52
Глава X. Проектирование дезаксиального кривошипно-шатунного механизма по четырем положениям кривошипа и ползушки	55
<i>Раздел четвертый</i>	
Глава XI. Проектирование шарнирного четырехзвенника по двум положениям кривошипа и коромысла и угловым скоростям звеньев в этих положениях	65
Глава XII. Проектирование дезаксиального кривошипно-шатунного механизма по двум положениям кривошипа и ползушки и скоростям звеньев в этих положениях	74
<i>Раздел пятый</i>	
Глава XIII. Проектирование шарнирного четырехзвенового механизма по значениям скоростей и ускорений звеньев, заданным в одном положении механизма	81
Глава XIV. Проектирование дезаксиального кривошипно-шатунного механизма по заданным скоростям и ускорениям двух звеньев в одном положении механизма	85
Таблица I.	89
Таблица II.	131
Литература	172

ВВЕДЕНИЕ

Шарнирные четырехзвенные и дезаксиальные кривошипно-шатунные механизмы имеют самое широкое применение в машиностроении. Их проектирование, наряду с аналитическими и графическими методами, нуждается в разработке практических методов, содействующих внедрению научных достижений в практику работы конструкторов и инженерно-технических работников.

В основу настоящей работы положена аналитическая теория синтеза плоских механизмов, разработанная З. Ш. Блох¹.

В качестве практического метода решения задач синтеза даются номограммы и таблицы, позволяющие получить размеры звеньев проектируемых механизмов по заданным углам давления, положениям, скоростям и ускорениям звеньев.

¹ З. Ш. Блох, Проектирование плоских механизмов с низшими парами, Труды ВИСХОМ, 1941.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ГЛАВА I

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ

Основные уравнения для шарнирного четырехзвенника. Образует из звеньев шарнирного четырехзвенника $OABC$ векторный контур и спроектируем его на оси x и y (рис. 1). Обозначая $OA=r_1$, $AB=r_2$, $BC=r_3$, $OC=r_4=1$, получим

$$r_1 \cos \varphi_1 + r_2 \cos \varphi_2 + r_3 \cos \varphi_3 = 1, \quad (1)$$

$$r_1 \sin \varphi_1 + r_2 \sin \varphi_2 + r_3 \sin \varphi_3 = 0, \quad (2)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ — углы, образованные направлениями звеньев OA, AB, BC четырехзвенника с осью x . Умножим уравнение (2) на мнимую единицу $i = \sqrt{-1}$ и сложим почленно с уравнением (1)

$$r_1 (\cos \varphi_1 + i \sin \varphi_1) + r_2 (\cos \varphi_2 + i \sin \varphi_2) + r_3 (\cos \varphi_3 + i \sin \varphi_3) = 1.$$

Если это же уравнение вычесть из уравнения (1), то получим

$$r_1 (\cos \varphi_1 - i \sin \varphi_1) + r_2 (\cos \varphi_2 - i \sin \varphi_2) + r_3 (\cos \varphi_3 - i \sin \varphi_3) = 1.$$

Воспользовавшись формулами Эйлера

$$\begin{aligned} \cos \varphi + i \sin \varphi &= e^{i\varphi}, \\ \cos \varphi - i \sin \varphi &= e^{-i\varphi}, \end{aligned}$$

получим уравнение замкнутости в комплексной форме

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1, \\ r_1 e^{-i\varphi_1} + r_2 e^{-i\varphi_2} + r_3 e^{-i\varphi_3} &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Второе из уравнений (3) отличается от первого только знаком при i и называется сопряженным. Очевидно, что сопряженное уравнение определяет некоторый замкнутый контур $OA'B'C$ (рис. 1), расположенный симметрично относительно оси X , заданному контуру шарнирного четырехзвенника $OABC$. Считая $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ переменными, дифференцируем уравнение (3) по времени

$$\left. \begin{aligned} ir_1 \omega_1 e^{i\varphi_1} + ir_2 \omega_2 e^{i\varphi_2} + ir_3 \omega_3 e^{i\varphi_3} &= 0, \\ -ir_1 \omega_1 e^{-i\varphi_1} - ir_2 \omega_2 e^{-i\varphi_2} - ir_3 \omega_3 e^{-i\varphi_3} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

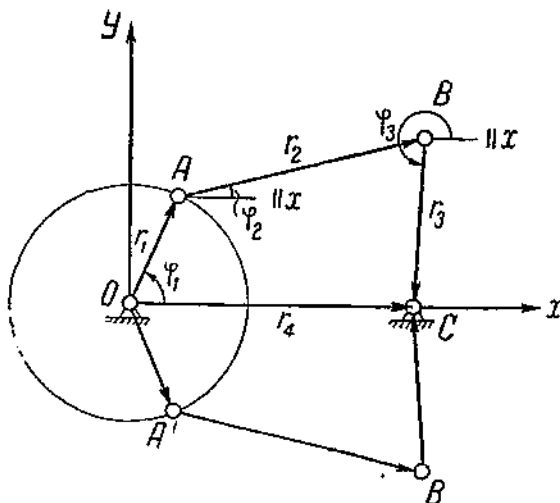


Рис. 1.

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ — соответствующие угловые скорости. Сокращая первое уравнение системы (4) на i , а второе на $-i$, получим

$$\left. \begin{aligned} r_1 \omega_1 e^{i\varphi_1} + r_2 \omega_2 e^{i\varphi_2} + r_3 \omega_3 e^{i\varphi_3} &= 0, \\ r_1 \omega_1 e^{-i\varphi_1} + r_2 \omega_2 e^{-i\varphi_2} + r_3 \omega_3 e^{-i\varphi_3} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Уравнения (5) также сопряженные и дают аналитические выражения теоремы сложения скоростей для четырехзвенников $OABC$ и $OA'B'C$ (рис. 1).

Дифференцируя уравнения (5) по времени, получим зависимости для ускорений

$$\left. \begin{aligned} r_1 (\varepsilon_1 + i\omega_1^2) e^{i\varphi_1} + r_2 (\varepsilon_2 + i\omega_2^2) e^{i\varphi_2} + r_3 (\varepsilon_3 + i\omega_3^2) e^{i\varphi_3} &= 0, \\ r_1 (\varepsilon_1 - i\omega_1^2) e^{-i\varphi_1} + r_2 (\varepsilon_2 - i\omega_2^2) e^{-i\varphi_2} + r_3 (\varepsilon_3 - i\omega_3^2) e^{-i\varphi_3} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ — угловые ускорения звеньев OA, AB, BC .

Основные уравнения для дезаксиального кривошипно-шатунного механизма. Образует из звеньев дезаксиального кривошипно-шатунного механизма $OABC$ векторный контур, считая, что вектором OA определяется центр A вращения кривошипа AB , и спроектируем его на ось x и y (рис. 2). Обозначая $OA = r_1, AB = r_2, BC = r_3, OC = r_4$, получим

$$\left. \begin{aligned} r_1 \cos \varphi_1 + r_2 \cos \varphi_2 + r_3 \cos \varphi_3 &= r_4, \\ r_1 \sin \varphi_1 + r_2 \sin \varphi_2 + r_3 \sin \varphi_3 &= 0, \end{aligned} \right\}$$

где $\varphi_1 = \text{const}$, φ_2, φ_3 — углы, образованные направлениями звеньев OA, AB, BC с осью x . Преобразуя уравнения для проекций аналогично вышележающему для шарнирного четырехзвенника, получим уравнения замкнутости в комплексной форме

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= r_4, \\ r_1 e^{-i\varphi_1} + r_2 e^{-i\varphi_2} + r_3 e^{-i\varphi_3} &= r_4. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Считая $\varphi_2, \varphi_3, r_4$ переменными и дифференцируя уравнение (7) по времени, получим

$$\left. \begin{aligned} ir_2 \omega_2 e^{i\varphi_2} + ir_3 \omega_3 e^{i\varphi_3} &= v_4, \\ -ir_2 \omega_2 e^{-i\varphi_2} - ir_3 \omega_3 e^{-i\varphi_3} &= v_4, \end{aligned} \right\}$$

где ω_2, ω_3 — угловые скорости звеньев AB и BC , а v_4 — скорость ползушки относительно неподвижной направляющей. Сокращая первое уравнение на i , а второе на $-i$, получим окончательно

$$\left. \begin{aligned} r_2 \omega_2 e^{i\varphi_2} + r_3 \omega_3 e^{i\varphi_3} &= -iv_4, \\ r_2 \omega_2 e^{-i\varphi_2} + r_3 \omega_3 e^{-i\varphi_3} &= iv_4. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Дифференцируя уравнение (8) по времени, получим зависимости для ускорений

$$\left. \begin{aligned} r_2 (\varepsilon_2 + i\omega_2^2) e^{i\varphi_2} + r_3 (\varepsilon_3 + i\omega_3^2) e^{i\varphi_3} &= -iv_4, \\ r_2 (\varepsilon_2 - i\omega_2^2) e^{-i\varphi_2} + r_3 (\varepsilon_3 - i\omega_3^2) e^{-i\varphi_3} &= iv_4, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где $\varepsilon_2, \varepsilon_3$ — угловые ускорения звеньев, а v_4 — ускорение ползушки относительно неподвижной направляющей.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ГЛАВА II

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ УГЛА ДАВЛЕНИЯ

Пусть в шарнирном четырехзвезднике $OABC$ (рис. 3) ведущим звеном является кривошип OA , а рабочим — коромысло BC . Тогда углом давления будет угол между шатуном AB и коромыслом BC . Из треугольников OAC и ABC находим

$$AC^2 = r_1^2 + r_4^2 - 2r_1r_4 \cos \alpha = r_2^2 + r_3^2 - 2r_2r_3 \cos \delta, \quad (10)$$

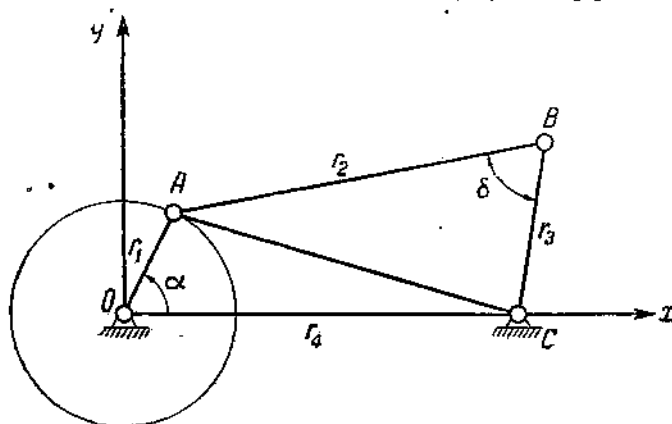


Рис. 3.

где r_1, r_2, r_3, r_4 — размеры звеньев механизма, а α — угол между направлением стойки OC и кривошипа OA . Угол δ будет равен

$$\cos \delta = \frac{-r_1^2 - r_4^2 + r_2^2 + r_3^2 + 2r_1r_4 \cos \alpha}{2r_2r_3}. \quad (11)$$

Экстремальные значения δ при $\sin \delta \neq 0$ возможны при значениях угла $\alpha = k\pi$ ($k=0, 1$), т. е. в положениях механизма, когда кривошип совпадает со стойкой. Если $\pi > \delta > 0$, то $\alpha=0$ дает минимальное значение δ

$$\cos \delta_{\min} = \frac{r_2^2 + r_3^2 - (r_1 - r_4)^2}{2r_2r_3}, \quad (12)$$

а $\alpha=\pi$ дает максимальное значение

$$\cos \delta_{\max} = \frac{r_2^2 + r_3^2 - (r_1 + r_4)^2}{2r_2r_3}. \quad (13)$$

Наивыгоднейшее значение угла давления $\delta = \frac{\pi}{2}$ будет при значении α , определяемом по формуле

$$\cos \delta = \frac{r_1^2 + r_4^2 - r_2^2 - r_3^2}{2r_1r_4}.$$

Система уравнений

$$\cos \delta_{\min} = \frac{r_2^2 + r_3^2 - (r_1 - r_4)^2}{2r_2r_3}, \quad (14)$$

$$\cos \delta_{\max} = \frac{r_2^2 + r_3^2 - (r_1 + r_4)^2}{2r_2r_3}, \quad (15)$$

позволяет построить шарнирный четырехзвенник по заданным предельным значениям угла давления $\delta_{\min}$ и $\delta_{\max}$. Пусть, например, $\delta_{\min} = 45^\circ$ и $\delta_{\max} = 120^\circ$. Подставляя значения этих углов в (10), получим

$$\left. \begin{aligned} r_2 r_3 \sqrt{2} &= r_2^2 + r_3^2 - (r_1 - r_4)^2, \\ r_2 r_3 &= (r_1 + r_4)^2 - r_2^2 - r_3^2. \end{aligned} \right\}$$

Так как эта система двух уравнений содержит четыре неизвестных, то два из них могут быть заданы произвольно.

Пусть $r_1 = 1$, $r_4 = 5$. Тогда

$$\left. \begin{aligned} r_2 r_3 \sqrt{2} &= r_2^2 + r_3^2 - 16, \\ r_2 r_3 &= (r_1 + r_4)^2 - r_2^2 - r_3^2. \end{aligned} \right\}$$

Складывая уравнения, найдем

$$2r_2 r_3 = \frac{40}{1 + \sqrt{2}} = 16,6.$$

Подставляя $r_2 r_3 = 8,3$ во второе уравнение, получим

$$r_2^2 + r_3^2 = 36 - 8,3 = 27,7.$$

Находим

$$\begin{aligned} r_2 + r_3 &= \sqrt{27,7 + 16,6} = 6,65, \\ r_2 - r_3 &= \sqrt{27,7 - 16,6} = 3,33, \end{aligned}$$

откуда $r_2 = 4,99$, $r_3 = 1,66$ или, наоборот, $r_2 = 1,66$, $r_3 = 4,99$.

Соответствующие механизмы показаны на рис. 4 и 5.

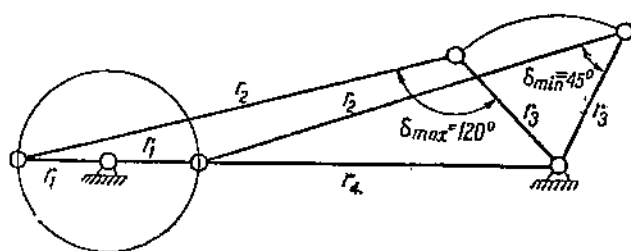


Рис. 4.

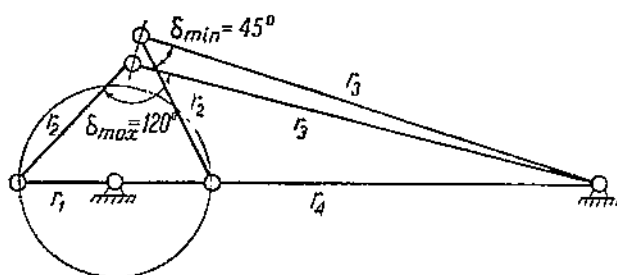


Рис. 5.

Отмечая симметричность уравнений (12) и (13) относительно величины r_2 и r_3 , преобразуем их к виду

$$2x \cos \delta = 1 + x^2 - 4y^2, \quad (16)$$

где x и y определяются формулами

$$\begin{aligned} x^2 &= \left(\frac{r_3}{r_2}\right)^2 \text{ и } 4y^2 = \\ &= \left(\frac{r_1 + r_4}{r_2 + r_3}\right)^2, \quad (17) \end{aligned}$$

когда в искомом механизме коромысло больше шатуна, и формулами

$$\begin{aligned} x^2 &= \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 \text{ и } 4y^2 = \\ &= \left(\frac{r_1 + r_4}{r_3 + r_2}\right)^2, \quad (18) \end{aligned}$$

когда в искомом механизме шатун больше коромысла.

Таким образом, номографическое представление уравнений (12) и (13) приводится к одной номограмме № 1 уравнения (16). Задаваясь величинами $\delta_{\max}$, $\delta_{\min}$ или x , получаем из уравнения (16) значения y , определяющие, согласно условиям (17) или (18), остальные размеры звеньев проектируемого механизма. Так как y входит в уравнение (16) во второй степени, то каждому значению угла давления $\delta_{\max}$ или $\delta_{\min}$ будут соответствовать два значения y , отличающиеся только знаком. Обозначим значения y , соответствующие заданным $\delta_{\max}$, через $y_{\max}$, и заданным $\delta_{\min}$ — через $y_{\min}$.

Тогда по формуле (17) для случая, когда в проектируемом механизме коромысло r_3 больше шатуна r_2 , т. е. $x = \frac{r_3}{r_2} > 1$, размеры остальных звеньев механизма $\frac{r_1}{r_2}$ и $\frac{r_4}{r_2}$ определяются из условий

$$\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_4}{r_2} = +2y_{\min}, \quad (19)$$

$$\frac{r_1}{r_2} - \frac{r_4}{r_2} = -2y_{\min}, \quad (20)$$

$$\frac{r_1}{r_2} + \frac{r_4}{r_2} = +2y_{\max}, \quad (21)$$

Из равенств (19), (20) и (21) вытекает, что для определения двух неизвестных $\frac{r_1}{r_2}$ и $\frac{r_4}{r_2}$ существуют две различные системы двух уравнений с двумя неизвестными. Система (22)

$$\begin{aligned} \frac{r_1}{r_2} - \frac{r_4}{r_2} &= +2y_{\min}, \\ \frac{r_1}{r_2} + \frac{r_4}{r_2} &= +2y_{\max}, \end{aligned} \quad (22)$$

из которой следует, что

$$\frac{r_1}{r_2} = y_{\max} + y_{\min}; \quad \frac{r_4}{r_2} = y_{\max} - y_{\min}, \quad (23)$$

и система (22'):

$$\begin{aligned} \frac{r_1}{r_2} - \frac{r_4}{r_2} &= -2y_{\min}, \\ \frac{r_1}{r_2} + \frac{r_4}{r_2} &= +2y_{\max}, \end{aligned} \quad (22')$$

из которой следует, что

$$\frac{r_1}{r_2} = y_{\max} - y_{\min}; \quad \frac{r_4}{r_2} = y_{\max} + y_{\min}. \quad (24)$$

Аналогичным образом, когда в проектируемом механизме шатун r_2 больше коромысла r_3 , т. е. $x = \frac{r_2}{r_3} > 1$, найдем

$$\frac{r_1}{r_3} = y_{\max} + y_{\min}; \quad \frac{r_4}{r_3} = y_{\max} - y_{\min} \quad (25)$$

и

$$\frac{r_1}{r_3} = y_{\max} - y_{\min}; \quad \frac{r_4}{r_3} = y_{\max} + y_{\min}. \quad (26)$$

Рассматривая два положения шарнирного четырехзвенника, в которых угол давления δ достигает своих предельных значений $\delta_{\max}$ и $\delta_{\min}$ (рис. 6), получаем известные условия Грасгофа из треугольников $C''D''A$ и $C'D'A$

$$\begin{aligned} r_1 + r_2 &< r_3 + r_4, \\ r_1 + r_3 &< r_2 + r_4, \\ r_1 + r_4 &< r_2 + r_3, \end{aligned} \quad (27)$$

когда $r_1 < r_4$, или

$$\begin{aligned} r_1 + r_4 &< r_2 + r_3, \\ r_2 + r_4 &< r_1 + r_3, \\ r_3 + r_4 &< r_1 + r_2, \end{aligned}$$

когда $r_1 > r_4$. Следовательно, проектируемый механизм будет иметь один кривошип, если

$$r_1 < r_4, \quad (28)$$

и два кривошипа, если

$$r_1 > r_4. \quad (29)$$

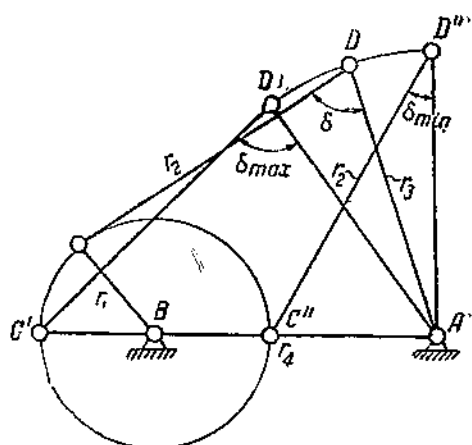


Рис. 6.

Легко видеть, что решения (24) и (26) всегда удовлетворяют условию (28), а решения (23) и (25) — условию (29).

Подставляя значения $\delta = 0$ при $\alpha = 0$ и $\delta = \pi$ при $\alpha = \pi$ в уравнение (11), получим

$$\begin{aligned} r_2 - r_3 &= r_4 - r_1, \\ r_2 - r_3 &= r_1 - r_4, \\ r_1 + r_4 &= r_2 + r_3, \end{aligned}$$

что определяет следующие возможные механизмы: шарнирный параллелограмм (рис. 7) при

$$\begin{aligned} r_1 - r_3 &= r_4 - r_2, \\ r_1 + r_4 &= r_2 + r_3 \end{aligned}$$

и шарнирный ромбoid (рис. 8) при

$$\begin{aligned} r_2 - r_3 &= r_1 - r_4, \\ r_1 + r_4 &= r_2 + r_3. \end{aligned}$$

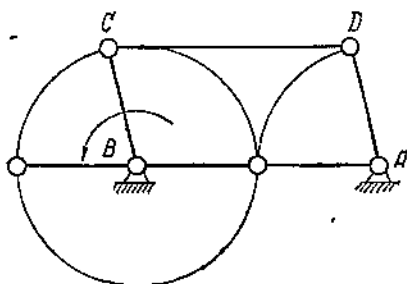


Рис. 7.

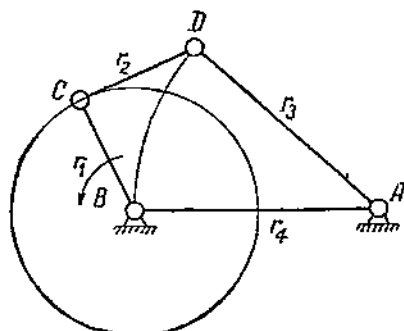


Рис. 8.

Последние механизмы, как правило, весьма не выгодны для практического использования, так как определенность направления движения их звеньев может нарушаться при выходе их из мертвого положения.

Схема решения задачи по номограмме № 1

Уравнение (10), к которому сводится решение рассматриваемой задачи, преобразовано к виду (16) и дано на номограмме № 1.

Шкалы номограммы проградуированы в пределах

$$\begin{aligned} 45^\circ \leq \delta \leq 135^\circ; \quad 1 \leq x \leq 6 \quad \text{и} \\ 0,25 \leq y \leq 3,0. \end{aligned}$$

Таким образом, эта номограмма позволяет решать задачу для механизмов, у которых отношение размеров шатуна и коромысла изменяется в пределах от 0,16 до 6,0. „Ошибка“ в определении размеров звеньев по номограмме не превышает обычно 0,5%.

Для решения задачи задаемся величиной $x = \frac{r_2}{r_3}$ (или $\frac{r_3}{r_2}$) и экстремальными значениями угла давления $\delta_{\max}$ и $\delta_{\min}$.

Соединяя значения x и $\delta_{\max}$, получим на шкале y величину $y_{\max}$; соединяя это же значение x с $\delta_{\min}$, получим величину $y_{\min}$. Размеры звеньев всех возможных механизмов определяются по формулам (23) — (26).

Пример 1. Спроектируем механизм, у которого заданы $x = \frac{r_2}{r_3} = 3$ и экстремальные значения угла давления $\delta_{\max} = 120^\circ$, $\delta_{\min} = 45^\circ$. Соединяя значения $x = 3$ с $\delta_{\max} = 120^\circ$, получим $y_{\max} = 1,805$ и, соединяя $x = 3$ с $\delta_{\min} = 45^\circ$, получим $y_{\min} = 1,20$. Откуда $\frac{r_1}{r_3} = 0,605$ и $\frac{r_4}{r_3} = 3,005$ (рис. 9).

Решением для двухкривошипного механизма будет $\frac{r_1}{r_3} = 3,005$ и $\frac{r_4}{r_3} = 0,605$ (рис. 10).

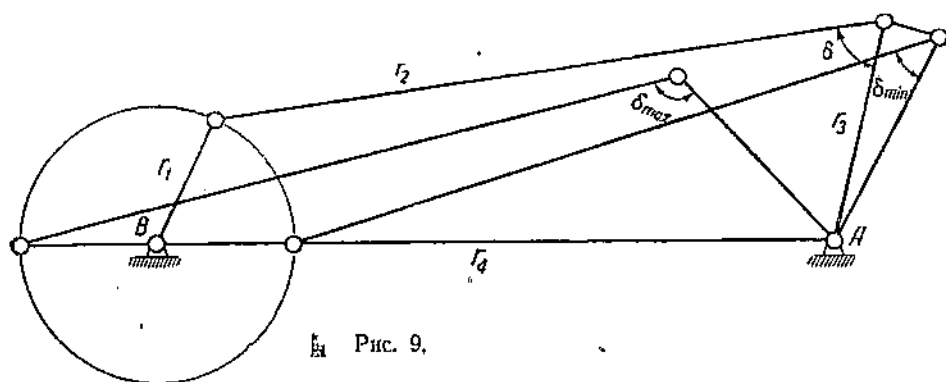


Рис. 9.

2ое решение

$$x = \frac{z_2}{z_3} = 3$$

$$\delta_{\max} = 120^\circ$$

$$\delta_{\min} = 45^\circ$$

$$\frac{v_1}{v_3} = y_{\max} + y_{\min} = 3.005$$

$$\frac{z_1}{z_3} = y_{\max} - y_{\min} = 0.605$$

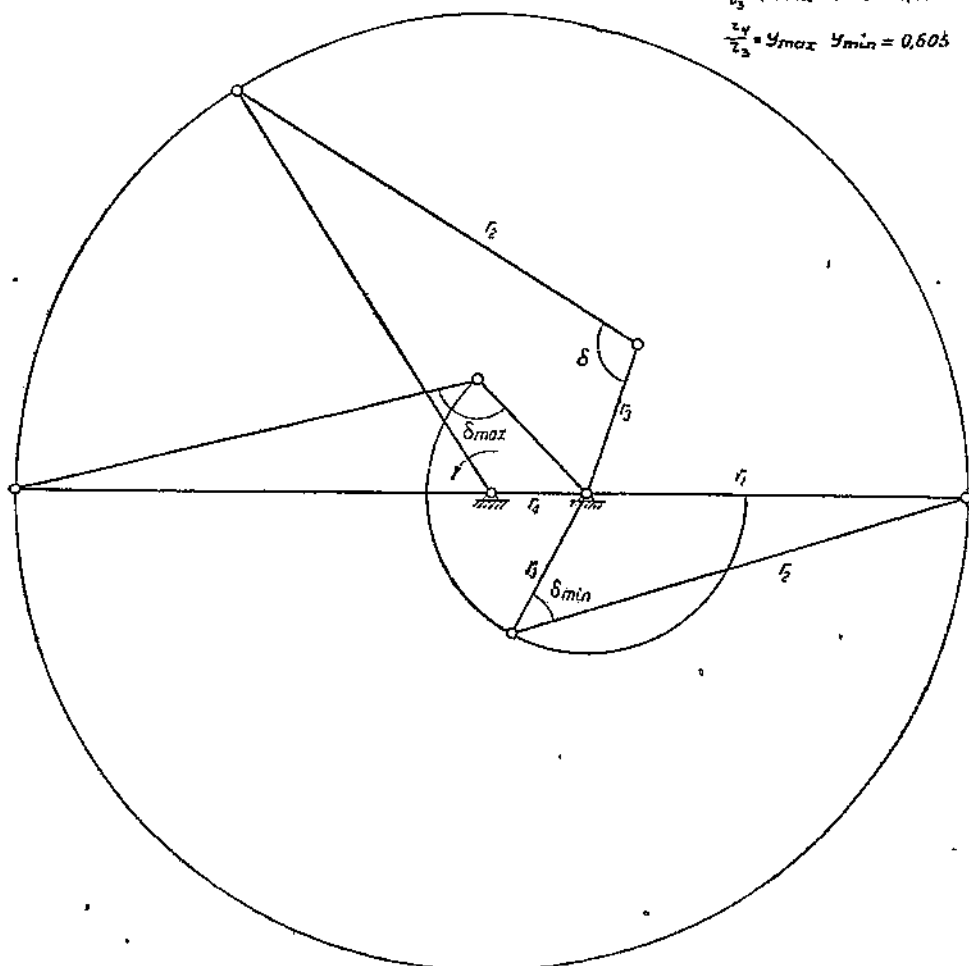


Рис. 10.

Решая задачу аналитически по формулам (14) и (15), найдем: $r_1 = 0,603$, $r_4 = 3,002$ или $r_1 = 3,002$, $r_4 = 0,603$.

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает, что ошибка по номограмме не превосходит $0,5\%$.

ГЛАВА III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА С ОДИНАКОВЫМ ОТКЛОНЕНИЕМ УГЛА ДАВЛЕНИЯ ОТ НАИВЫГОДНЕЙШЕГО

Определим соотношение между размерами звеньев четырехзвенного механизма, для которого наивыгоднейшее значение угла давления $\delta = \frac{\pi}{2}$ будет сред-

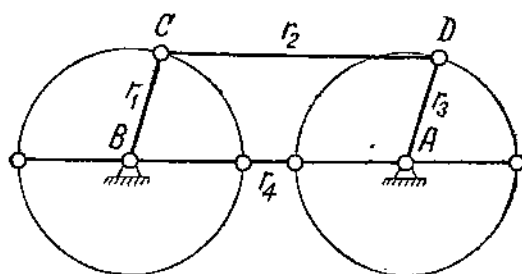


Рис. 11.

ним арифметическим из его крайних значений $\delta_{\min}$ и $\delta_{\max}$. Полагая $\delta_{\min} = \frac{\pi}{2} - \alpha$, $\delta_{\max} = \frac{\pi}{2} + \alpha$ и подставляя эти значения углов в формулы (13) и (14), получим

$$2r_2r_3 \sin \alpha = r_2^2 + r_3^2 - (r_1 - r_4)^2, \quad (30)$$

$$2r_2r_3 \sin \alpha = (r_1 + r_4)^2 - r_2^2 - r_3^2, \quad (31)$$

исключая α , получим искомое соотношение

$$r_1^2 + r_4^2 = r_2^2 + r_3^2. \quad (32)$$

Следовательно, задача проектирования четырехзвенных механизмов сводится в этом случае к нахождению таких размеров звеньев, чтобы сумма квадратов кривошипа и стойки равнялась сумме квадратов шатуна и коромысла. Полагая, что кривошип r_1 является наименьшим звеном, преобразуем равенство (32) к виду

$$\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 + \left(\frac{r_3}{r_1}\right)^2 - \left(\frac{r_4}{r_1}\right)^2 = 1. \quad (33)$$

Задаваясь (произвольными) величинами двух каких-либо отношений размеров звеньев, третье найдем из условия (33).

Номографическое представление уравнения (33) дано на номограмме № 2.

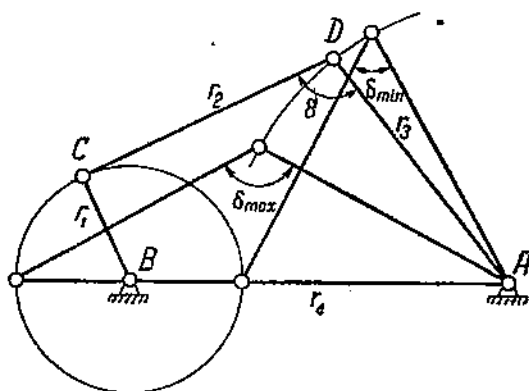


Рис. 12.

Шкалы номограммы проградуированы в пределах

$$1 \leq \frac{r_2}{r_1} \leq 10; 1 \leq \frac{r_3}{r_1} \leq 10; 1 \leq \frac{r_4}{r_1} \leq 14,1.$$

«Цена» одного (малого) деления равна $0,05$, за исключением интервала от 1 до 2 для шкалы $\frac{r_4}{r_1}$, где «цена» одного деления равна $0,1$, так что номограмма позволяет получить результаты с двумя точными цифрами и приближенной оценкой третьей. Точность номограммы вполне достаточна для практических вычислений, так как ошибка в определении размеров обычно не превышает $0,5\%$.

Задавшись двумя отношениями размеров звеньев искомого четырехзвенника и соединяя их значения на номограмме прямой (практически пользуются линейкой), получаем на ее пересечении с третьей шкалой последнее искомое отношение.

Если задана величина лишь одного отношения, например, $\frac{r_2}{r_1}$, то пучок прямых, проведенный через это значение шкалы $\frac{r_2}{r_1}$, определит на двух других шкалах $\frac{r_3}{r_1}$ и $\frac{r_4}{r_1}$ бесчисленное множество их значений, а следовательно, и бесчисленное множество механизмов, удовлетворяющих условиям поставленной задачи. Выбор одного определенного механизма в этом случае возможен на основе дополнительных технологических или конструктивных условий.

Пример 2. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, экстремальные значения угла давления которого равноуклоняются от невыгоднейшего, и отношение шатуна к кривошипу $\frac{r_2}{r_1} = 2,45$.

Проводя через заданные значения $\frac{r_2}{r_1} = 2,45$ пучок прямых, получим целую группу решений (табл. 1):

Таблица 1

Вариант	$\frac{r_2}{r_1}$	$\frac{r_3}{r_1}$	$\frac{r_4}{r_1}$
1	2,45	2,45	1
2		3,35	2,5
3		5,50	5,0
4		7,85	7,5
5		13,0	10

Варианты механизмов 1, 2 и 3 показаны на рис. 11, 12, 13.

Сравнение номографического расчета с аналитическим показывает большую точность получаемого результата.

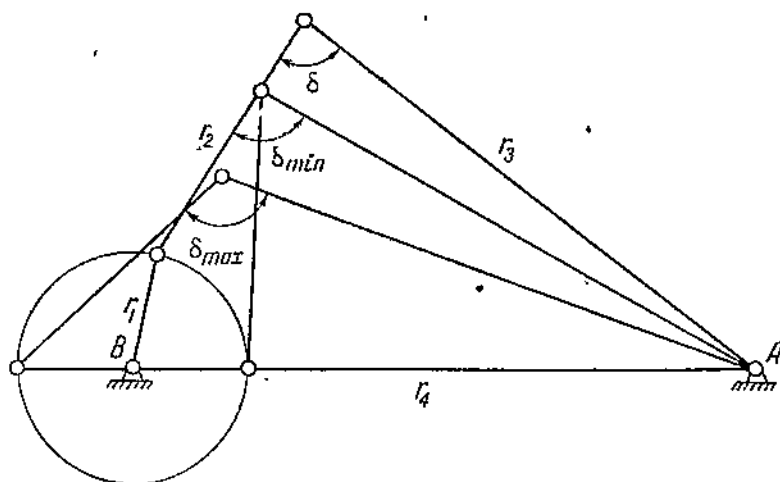


Рис. 13.

Предположение, что r_1 есть наименьшее звено искомого механизма, несколько не ограничивает применения номограммы № 2 для других возможных случаев в практике случаев.

Если потребуется спроектировать механизм, наименьшим звеном у которого будет r_2 , r_3 или r_4 , то уравнение (33) преобразуется соответственно к виду

$$\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \left(\frac{r_4}{r_2}\right)^2 - \left(\frac{r_3}{r_2}\right)^2 = 1, \quad (34)$$

$$\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2 + \left(\frac{r_4}{r_3}\right)^2 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 = 1, \quad (35)$$

$$\left(\frac{r_1}{r_4}\right)^2 + \left(\frac{r_2}{r_4}\right)^2 - \left(\frac{r_3}{r_4}\right)^2 = 1. \quad (36)$$

Так как уравнения (34), (35), (36) совершенно однотипны с (33), то при решении этих задач мы должны под шкалами $\frac{r_2}{r_1}, \frac{r_3}{r_1}, \frac{r_4}{r_1}$ понимать соответственно шкалы $\frac{r_1}{r_2}, \frac{r_4}{r_2}, \frac{r_3}{r_2}$ — в случае (34), шкалы $\frac{r_1}{r_3}, \frac{r_4}{r_3}, \frac{r_2}{r_3}$ — в случае (35) и шкалы $\frac{r_2}{r_4}, \frac{r_3}{r_4}, \frac{r_1}{r_4}$ — в случае (36).

ГЛАВА IV

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО МЕРТВЫМ ПОЛОЖЕНИЯМ

Напишем уравнение замкнутости шарнирного четырехзвенника (3) и уравнение скоростей (4) для двух произвольных его положений. Имеем

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{12})} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{22})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} &= 1, \\ r_1 e^{i\varphi_1} \omega_{11} + r_2 e^{i\varphi_2} \omega_{21} + r_3 e^{i\varphi_3} \omega_{31} &= 0, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{12})} \omega_{12} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{22})} \omega_{22} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} \omega_{32} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Введя обозначения $z_j = r_j e^{i\varphi_j}$, $u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}$, представим составленную систему в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} z_1 + z_2 + z_3 &= 1, \\ z_1 u_{12} + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} &= 1, \\ z_1 \omega_{11} + z_2 \omega_{21} + z_3 \omega_{31} &= 0, \\ z_1 u_{12} \omega_{12} + z_2 u_{22} \omega_{22} + z_3 u_{32} \omega_{32} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

Полученная система линейных уравнений совместна, если определитель, составленный из коэффициентов при неизвестных и свободных членах, равен нулю

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ 0 & \omega_{11} & \omega_{21} & \omega_{31} \\ 0 & u_{12} \omega_{12} & u_{22} \omega_{22} & u_{32} \omega_{32} \end{vmatrix} = 0.$$

В мертвых положениях шарнирного четырехзвенника угловые скорости коромысла ω_{31} и ω_{32} равны нулю. Полагая в уравнении $D=0$ $\omega_{31} = \omega_{32} = 0$, получим

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ 0 & \omega_{11} & \omega_{21} & 0 \\ 0 & u_{12} \omega_{12} & u_{22} \omega_{22} & 0 \end{vmatrix} = 0.$$

Вычитая из первого столбца четвертый, получим

$$D = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 - u_{32} & u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ 0 & \omega_{11} & \omega_{21} & 0 \\ 0 & u_{12} \omega_{12} & u_{22} \omega_{22} & 0 \end{vmatrix} = 0$$

и, разлагая по элементам первого столбца, считая, что кривошип вращается равномерно, т. е. $\omega_{11} = \omega_{12} = \text{const}$, найдем: $D = (1 - u_{32})(\omega_{22} u_{22} - \omega_{21} u_{12}) = 0$.

Отсюда следует, что уравнение совместности $D=0$ удовлетворяется при:

- 1) $\omega_{22} = -\omega_{21}$, $\gamma_{22} = \gamma_{12} + \pi$;
- 2) $\omega_{22} = \omega_{21}$, $\gamma_{22} = \gamma_{12}$;
- 3) $\gamma_{32} = 0$.

Для рассматриваемой задачи имеет значение только первый случай. Подставляя в первые три уравнения системы (а) $\gamma_{23} = \gamma_{12} + \pi$, $\omega_{31} = 0$, находим значения неизвестных z_1, z_2, z_3 по формуле

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\partial f}{\partial z_j} \quad (j=1, 2, 3),$$

где

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \omega_{21} (1 - u_{32}), \\ \delta_2 &= \omega_{11} (1 - u_{32}), \\ \delta_3 &= (\omega_{21} + \omega_{11}) u_{12} + \omega_{11} - \omega_{21}, \\ \delta_4 &= (\omega_{11} - \omega_{21}) u_{32} + (\omega_{11} + \omega_{21}) u_{12}. \end{aligned}$$

Подставляя найденные значения z_j в первое уравнение системы (а), умножая на $\delta_0 \neq 0$ и перенося все члены в левую часть, получим уравнение для построения искомого механизма:

$$\delta_1 - \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 \equiv 0.$$

Из формул для δ_1 и δ_2 следует, что в мертвых положениях механизма кривошип δ_1 и шатун δ_2 обязательно располагаются на одной прямой. При $\omega_{21} > 0$ векторы δ_1 и $-\delta_2$ направлены по прямой в противоположные стороны, а при $\omega_{21} < 0$ направления этих векторов совпадают. Определяем из первых двух равенств ω_{11} и ω_{21} и исключаем эти величины из выражений для δ_3 и δ_4 :

$$\begin{aligned} \delta_4 (1 - u_{32}) &= \delta_2 (u_{12} + u_{32}) + \delta_1 (u_{12} - u_{32}), \\ \delta_3 (1 - u_{32}) &= \delta_2 (u_{12} + 1) + \delta_1 (1 - u_{12}). \end{aligned}$$

Воспользовавшись очевидными зависимостями

$$\begin{aligned} 1 - u_{32} &= -2i \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i \frac{\gamma_{32}}{2}}, \\ 1 - u_{12} &= -2i \sin \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}}, \\ u_{12} - u_{32} &= -2i \sin \frac{\gamma_{32} - \gamma_{12}}{2} e^{i \left(\frac{\gamma_{12} + \gamma_{32}}{2} \right)}, \\ 1 + u_{12} &= 2 \cos \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}}, \\ u_{12} + u_{32} &= 2 \cos \frac{\gamma_{32} - \gamma_{12}}{2} e^{i \left(\frac{\gamma_{12} + \gamma_{32}}{2} \right)}, \end{aligned}$$

приводим уравнение к следующему виду

$$\begin{aligned} \delta_4 \sin \frac{\gamma_{32}}{2} &= \delta_1 \sin \frac{\gamma_{32} - \gamma_{12}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}} - i \delta_2 \cos \frac{\gamma_{32} - \gamma_{12}}{2} e^{i \frac{\gamma_{32}}{2}}, \\ \delta_3 \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i \frac{\gamma_{32}}{2}} &= \delta_1 \sin \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}} - i \delta_2 \cos \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}}. \end{aligned}$$

Так как $\delta_1 e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}}$ и $\delta_2 e^{i \frac{\gamma_{12}}{2}}$ — векторы, направленные по одной прямой, то правые части полученных равенств составлены из двух перпендикулярных векторов, в силу чего должно быть

$$\left. \begin{aligned} r_3^2 \sin^2 \frac{\gamma_{32}}{2} &= r_1^2 \sin^2 \frac{\gamma_{12}}{2} + r_2^2 \cos^2 \frac{\gamma_{12}}{2}, \\ r_4^2 \sin^2 \frac{\gamma_{32}}{2} &= r_1^2 \sin^2 \frac{\gamma_{32} - \gamma_{12}}{2} + r_2^2 \cos^2 \frac{\gamma_{32} - \gamma_{12}}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

где $r_j = \text{mod } \delta_j$ — размеры звеньев искомого механизма, γ_{32} — угол поворота коромысла между мертвыми положениями механизма, γ_{12} — соответствующий угол поворота кривошипа.

Так как для шарнирных механизмов, удовлетворяющих условиям для мертвых положений, типичны механизмы, удовлетворяющие условию Грасгофа, то естественно считать, что r_1 -кривошип есть наименьшее звено механизма:

Пользуясь этим и обозначив $\gamma_{12} = \alpha$ и $\gamma_{32} = \beta$, преобразуем уравнения (37) к виду (38) и (39)

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} = \left(\frac{r_3}{r_1}\right)^2 \sin^2 \frac{\beta}{2}, \quad (38)$$

$$\sin^2 \frac{\alpha - \beta}{2} + \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \cos^2 \frac{\alpha - \beta}{2} = \left(\frac{r_4}{r_1}\right)^2 \sin^2 \frac{\beta}{2}, \quad (39)$$

где α — угол поворота кривошипа, β — угол размаха коромысла, r_1 — кривошип, r_2 — шатун, r_3 — коромысло и r_4 — стойка. Установим следующие пределы изменения переменных

$$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ, \quad 0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ, \quad 1 \leq \frac{r_k}{r_1} \leq 10 \quad (k=2, 3, 4).$$

Таким образом, будем оценивать размеры шатуна, коромысла и стойки в масштабе кривошипа, принятого за единицу.

Ввиду однотипности уравнений (38) и (39) они легко приводятся к одному уравнению:

$$\sin^2 \frac{\psi}{2} + \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \cos^2 \frac{\psi}{2} = k^2 \sin^2 \frac{\beta}{2}, \quad (40)$$

из которого при $\psi = \alpha$ и $k = \frac{r_3}{r_1}$ получим уравнение (38) и при $\psi = \alpha - \beta$ и $k = \frac{r_4}{r_1}$ уравнение (39).

Уравнение (40), а следовательно, оба уравнения (38) и (39) разрешены на номограмме № 3.

В тех случаях, когда разность $\alpha - \beta < 50^\circ$, для получения механизма с заданной продолжительностью прямого и обратного хода коромысла за угол поворота кривошипа целесообразно взять величину α' , дополнительную до 2π , т. е. $\alpha' = 360^\circ - \alpha$.

Схема решения задачи по номограмме № 3

Для проектирования шарнирного четырехзвенного механизма по заданным значениям для мертвых положений, т. е. по заданному углу поворота кривошипа α и соответствующему ему размаху коромысла β , достаточно задаться, кроме этого, величиной одного из отношений: $\frac{r_2}{r_1}$, или $\frac{r_3}{r_1}$, или $\frac{r_4}{r_1}$.

Пусть, например, заданы α , β и $\frac{r_2}{r_1}$. Тогда на номограмме № 3 соединяем значения α и $\frac{r_2}{r_1}$ и в пересечении с „немой“ шкалой I находим некоторую точку, соединяя которую с заданным значением β на шкале $\frac{r_3}{r_1}$, находим искомую величину $\frac{r_3}{r_1}$. Величину $\left[\frac{r_4}{r_1}\right]$ найдем аналогичным образом из номограммы № 3 по известным значениям $[\alpha - \beta]$, β и $\frac{r_2}{r_1}$. Если заданы α , β и $\frac{r_3}{r_1}$, то из номограммы № 3 находим $\frac{r_2}{r_1}$, а затем по величинам $[\alpha - \beta]$ и $\frac{r_2}{r_1}$ аналогично первому случаю находим $\left[\frac{r_4}{r_1}\right]$. Если заданы α , β и $\left[\frac{r_4}{r_1}\right]$, то решение задачи ведем, начиная с определения $\frac{r_2}{r_1}$ по номограмме № 3. После этого повторным применением номограммы найдем $\frac{r_3}{r_1}$.

Существенно отметить, что механизмы, найденные по заданным значениям α , β и одному из отношений $\frac{r_k}{r_1}$ ($k=1, 2, 3$), не всегда будут удовлетворять условию Грасгофа. Имея в виду необходимость отыскания механизмов, удовлетворяющих условию Грасгофа, можно решать рассматриваемую задачу в следующей постановке.

Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, удовлетворяющий условию Грасгофа по заданным условиям для мертвых положений α и β . Такая

постановка задачи дает нам один свободный параметр (одно из отношений $\frac{r_k}{r_1}$), изменяя который, легко найдем требуемый механизм. Условие Грасгофа будет справедливо в том случае, если сумма наибольшего из отношений $\frac{r_k}{r_1}$ и единицы не будет превышать суммы двух других отношений.

Пример 3. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, удовлетворяющий условию Грасгофа, у которого угол поворота кривошипа $\alpha = 220^\circ$ и размах коромысла $\beta = 90^\circ$.

Варьируя, например, параметром $\frac{r_3}{r_1}$, найдем требуемый механизм.

Положим, например, $\frac{r_3}{r_1} = 2,6$. Тогда, соединяя на номограмме № 3 заданные значения $\frac{r_3}{r_1} = 2,6$ и $\beta = 90^\circ$, найдем отметку на „немой“ шкале I. Соединив эту отметку с заданным значением $\alpha = 220^\circ$, определим $\frac{r_2}{r_1} = 4,63$. Соединяя теперь значения $[\alpha - \beta]$ и $[\frac{r_2}{r_1}]$, аналогичным образом сначала по известным величинам $\alpha - \beta$ и $\frac{r_2}{r_1}$ найдем отметку немой шкалы, а потом по ней и значению β найдем величину $\frac{r_4}{r_1} = 3,04$. Найденный механизм показан на рис. 14.

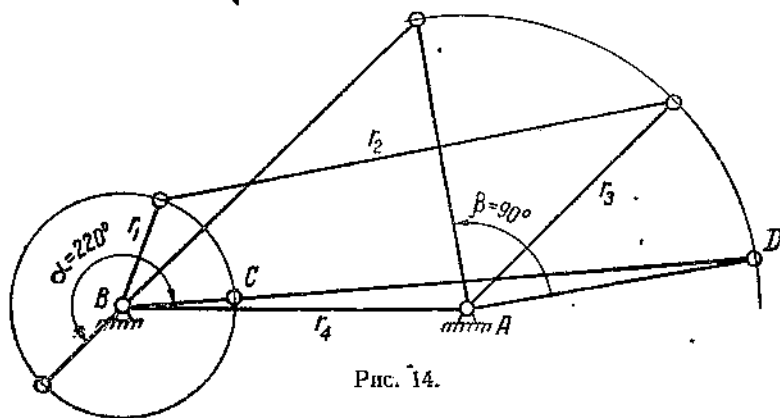


Рис. 14.

В ряде случаев конструктивные и технологические требования позволяют ограничиться заданием величины размаха коромысла β и одним из отношений $\frac{r_k}{r_1}$, не устанавливая определенного значения α — размаха кривошипа.

Пример 4. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, удовлетворяющий условию Грасгофа по заданному размаху коромысла $\beta = 60^\circ$ и отношению $\frac{r_3}{r_1} = 2,78$.

Соединяя на номограмме № 3 заданные значения $\frac{r_3}{r_1}$ и β , находим точку на (вспомогательной) немой шкале I. Задаваясь различными значениями размаха кривошипа α или отношения $\frac{r_2}{r_1}$, найдем требуемый нам механизм. Положим, например, $\frac{r_2}{r_1} = 3,88$, тогда, соединяя это значение с найденной пометкой шкалы I, найдем два значения α : $\alpha = 150^\circ$ и $\alpha = 210^\circ$. Задавшись значением $\alpha = 150^\circ$, найдем, что $\frac{r_4}{r_1} = 6,74$.

Зная значения $\frac{r_2}{r_1} = 3,88$, $\frac{r_3}{r_1} = 2,78$ и $\frac{r_4}{r_1} = 6,74$, легко убедиться, что найденный механизм не удовлетворяет условию Грасгофа, так как $6,74 + 1 > 3,88 + 2,78$.

Наоборот, если задаться $\alpha = 210^\circ$, то $\frac{r_4}{r_1} = 2,78$.

65429

Найденный механизм удовлетворяет условию Грасгофа (рис. 15), так как $3,88 + 1 < 2,78 + 2,78$.

В целом ряде случаев большой интерес могут представлять механизмы, у которых время прямого и обратного хода коромысла одинаково, т. е. $\alpha = \pi$.

Определим соотношение между размерами звеньев механизма, у которого время прямого и обратного хода коромысла одинаково. Полагая для этого случая $\alpha = \pi$, получим

$$\left. \begin{aligned} \sin^2 \frac{\beta}{2} r_4^2 &= r_1^2 \cos^2 \frac{\beta}{2} + \\ &+ r_2^2 \sin^2 \frac{\beta}{2}, \\ \sin^2 \frac{\beta}{2} r_3^2 &= r_1^2. \end{aligned} \right\} (41)$$

Вычитая первое уравнение из второго, получим уравнение

$$r_1^2 + r_4^2 = r_2^2 + r_3^2, \quad (32)$$

номографическое представление которого дано на номограмме № 2.

Полный угол поворота коромысла определяется для этого случая по формуле

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{r_1}{r_3}.$$

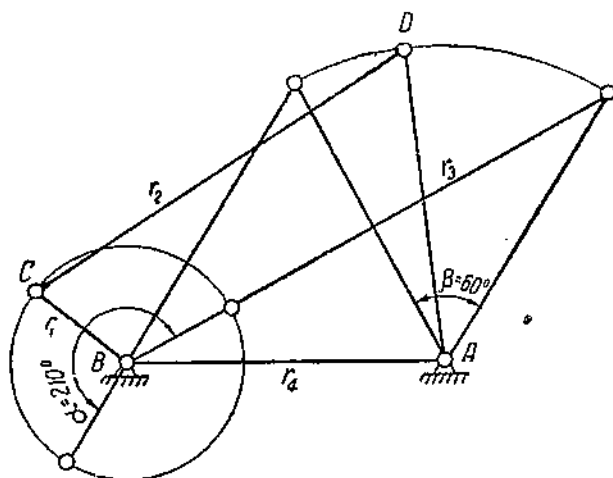


Рис. 15.

Согласно доказанному (в главах II и III), все механизмы с одинаковым временем прямого и обратного хода коромысла будут удовлетворять условию Грасгофа и иметь экстремальные значения угла давления, равноуклоняющиеся от наимыгоднейшего значения $\delta = 90^\circ$.

ГЛАВА V

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЗАКСИАЛЬНОГО КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПО ЗАДАНЫМ УСЛОВИЯМ ДЛЯ МЕРТВЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Рассмотрим два мертвых положения дезаксиального кривошипно-шатунного механизма. Из треугольников $OB'B''$, OCB'' и OCB' (рис. 16) имеем

$$\left. \begin{aligned} h^2 &= (l+r)^2 + (l-r)^2 + 2(l^2 - r^2) \cos \varphi, \\ a^2 + (h+BC)^2 &= (l+r)^2, \\ a^2 + (BC)^2 &= (l-r)^2, \end{aligned} \right\}$$

где h — ход ползушки, r — радиус кривошипа, l — длина шатуна, a — дезаксиал, φ — угол поворота кривошипа между мертвыми положениями механизма. Исключая из уравнений BC , получим

$$\left. \begin{aligned} h^2 &= 4l^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} + 4r^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \\ 4h^2 a^2 + (4rl - h^2)^2 &= 4h^2 (l-r)^2. \end{aligned} \right\} (42)$$

Система уравнений (42) связывает величины h , φ , r , l , a . По условиям проектирования задают обычно значения h и φ . Кроме того, дополнительно может быть задан один из размеров проектируемого механизма, после чего остальные размеры определяются из уравнений (42). Пусть дополнительно задан радиус кривошипа r . Тогда

$$\begin{aligned} l &= \frac{1}{2 \cos \frac{\varphi}{2}} \sqrt{h^2 - 4r^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}, \\ a &= \frac{1}{2h} \sqrt{4h^2 (l-r)^2 - (4rl - h^2)^2}. \end{aligned}$$

Пусть дополнительно задана длина шатуна l . Тогда

$$r = \frac{1}{2 \sin \frac{\varphi}{2}} \sqrt{h^2 - 4l^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}},$$

$$a = \frac{1}{2h} \sqrt{4h^2(l-r)^2 - (4rl - h^2)^2}.$$

Пусть дополнительно задан дезаксиал a . Тогда

$$r = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 \pm 2ah \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}},$$

$$l = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 \pm 2ah \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}}.$$

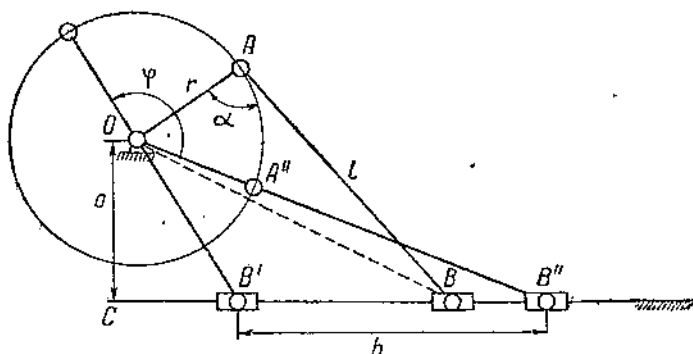


Рис. 16.

Из условия $(h+BC)^2 - BC^2 = 4lr$ находим, что $(h+2BC)l = 4lr$ или $2BC = \frac{4lr-h^2}{h}$, откуда $h^2 \leq 4lr$ при $BC \geq 0$.

Следовательно, $(l^2 + r^2) + (l^2 - r^2) \cos \varphi < 2lr$,
или, полагая $l > r$, $(l-r)^2 < (r^2 - l^2) \cos \varphi$.

и

$$r - l > (r + l) \cos \varphi$$

и

$$\cos \varphi < \frac{r-l}{r+l}.$$

Последнее условие удовлетворяется только при $\varphi > \frac{\pi}{2}$, когда $l > r$. Так как, кроме того, $\varphi < \pi$, то пределы изменения угла φ ограничены

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi.$$

Приведем уравнения (42) к виду

$$\left(\frac{h}{l}\right)^2 = 4 \cos^2 \frac{\varphi}{2} + 4 \left(\frac{r}{l}\right)^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}, \quad (43)$$

$$4 \left(\frac{h}{l}\right)^2 \left(\frac{a}{l}\right)^2 + \left[4 \left(\frac{r}{l}\right) - \left(\frac{h}{l}\right)^2\right] = 4 \left(\frac{h}{l}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{r}{l}\right)\right]^2 \quad (44)$$

и задавшись пределами изменения переменных

$$90^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ; \quad 0 \leq \frac{h}{l} \leq 1,9; \quad 0 \leq \frac{r}{l} \leq 0,7; \quad 0 \leq \frac{a}{l} \leq 0,7,$$

даем номографическое представление уравнений (43) и (44) соответственно на номограммах № 4 и 5. Номограмма № 4 уравнения (43) позволяет решить следующие задачи проектирования дезаксиального кривошипно-шатунного механизма:

1. По заданным значениям угла φ и величине отношения $\frac{r}{l}$.
2. По заданным значениям угла φ и величине отношения $\frac{h}{l}$.

Эта же номограмма позволяет определить всю группу механизмов, имеющих заданные значения угла φ , или отношения $\frac{r}{l}$, или $\frac{h}{l}$.

Работа по номограмме № 4 сводится к нахождению по двум заданным величинам третьей, для чего, соединяя по линейке две известные величины на третьей, находим искомый результат. При помощи номограммы № 5 уравнения (44)

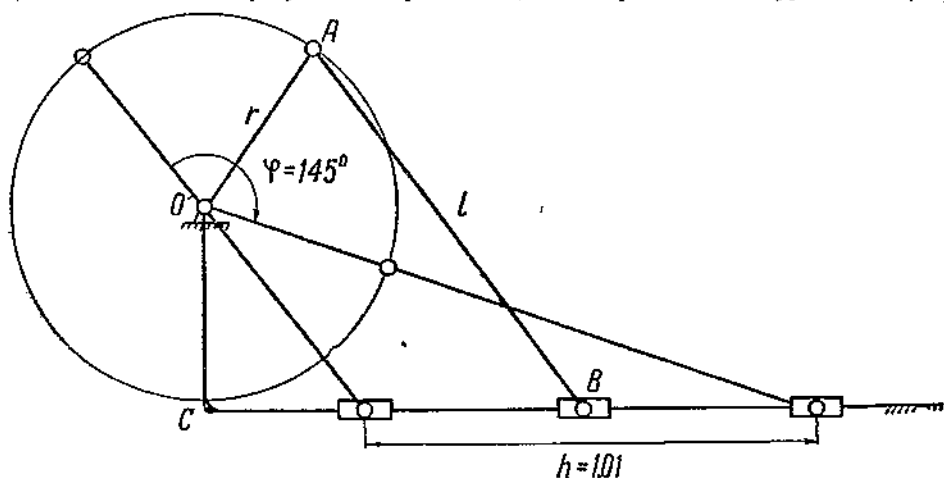


Рис. 17.

задача проектирования дезаксального кривошипно-шатунного механизма решается по следующим условиям:

1. По заданным значениям $\frac{h}{l}$ и $\frac{a}{l}$.
2. По заданным значениям $\frac{h}{l}$ и $\frac{r}{l}$.
3. По заданным значениям $\frac{r}{l}$ и $\frac{a}{l}$.

Эта же номограмма позволяет определить всю группу механизмов, имеющих заданное значение $\frac{a}{l}$, а также $\frac{h}{l}$ или $\frac{r}{l}$.

При решении задачи проектирования механизма по заданным $\frac{r}{l}$ и $\frac{a}{l}$ получаются два значения для $\frac{h}{l}$. Искомый механизм будет определяться только теми значениями $\frac{h}{l}$, для которых найденный по номограмме № 4 угол φ лежит в пределах

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi.$$

Практический интерес обычно представляют те механизмы, у которых ползушка в мертвых положениях расположена по одну сторону от вертикали OC (рис. 16). Звено OA таких механизмов, очевидно, может совершить полный оборот относительно неподвижного звена и является кривошипом. Условие существования кривошипа в механизме приводится, следовательно, к выполнению одного из неравенств (рис. 16)

$$BC > 0$$

или

$$r + a < l.$$

Как показано выше, при выполнении условия $BC > 0$ угол φ поворота кривошипа между мертвыми положениями механизма изменяется в пределах

$$\frac{\pi}{2} < \varphi < \pi.$$

Таким образом, все механизмы, полученные из номограммы № 4 (кроме тех для которых $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и $\varphi = \pi$), имеют кривошип.

Существенно отметить, что номограммы № 4 и 5 позволяют решать не только задачу синтеза, но и задачи анализа механизмов.

Пример 5. Спроектировать дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм по заданным значениям

$$\varphi = 145^\circ \text{ и } \frac{h}{l} = 1,01.$$

При помощи номограммы № 4 простым наложением линейки по заданным значениям φ и $\frac{h}{l}$ находим величину $\frac{r}{l} = 0,426$ и аналогичным образом из номограммы № 5 находим величину $\frac{a}{l} = 0,451$.

Найденный механизм (рис. 17), согласно доказанному, удовлетворяет условию существования кривошипа.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ГЛАВА VI

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО ТРЕМ ПОЛОЖЕНИЯМ КРИВОШИПА И КОРОМЫСЛА

Напишем уравнение замкнутости (3) для трех заданных положений, опуская сопряженные уравнения:

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{12})} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{22})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} &= 1, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{13})} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{23})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{33})} &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (45)$$

где γ_{jk} — углы, определяющие вращение звеньев механизма. Каждый из углов γ_{jk} отсчитывается против часовой стрелки от начального направления j -того звена в начальном положении механизма, определяемом первым из написанных уравнений. Введя обозначения $z_j = r_j e^{i\varphi_j}$, $u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}$, представим систему (45) в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} z_1 + z_2 + z_3 &= 1, \\ z_1 u_{12} + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} &= 1, \\ z_1 u_{13} + z_2 u_{23} + z_3 u_{33} &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

Решая полученную систему линейных уравнений, находим

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\delta_j}{\delta_0} \quad (j=1, 2, 3),$$

где

$$\begin{aligned} \delta_0 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ u_{13} & u_{23} & u_{33} \end{vmatrix} \\ \delta_1 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{22} & u_{32} \\ 1 & u_{23} & u_{33} \end{vmatrix} \\ \delta_2 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{32} \\ 1 & u_{13} & u_{33} \end{vmatrix} \\ \delta_3 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{22} \\ 1 & u_{13} & u_{23} \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (47)$$

Подставляя значения z_j в первое уравнение системы (46), освобождаясь от знаменателя и перенося слагаемые в правую часть, получим уравнение

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 = 0, \quad (48)$$

определяющее искомый механизм в начальном его положении. Очевидно, что для построения искомого механизма достаточно вычислить значения только трех комплексных определителей.

Вычисление и построение определителей. Так как комплексные определители, необходимые для решения задачи, однотипны, то методы вычисления достаточно рассмотреть для одного из них, например определителя

δ_2 . Разлагаем определитель δ_2 по элементам первой строки и находим его значение в развернутом виде

$$\delta_2 = u_{12}u_{33} - u_{13}u_{32} - u_{33} + u_{13} + u_{32} - u_{12}. \quad (49)$$

Полагая $\delta_2 = x_2 + i y_2$ и приравнявая действительные и мнимые части, получим

$$\begin{aligned} x_2 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \cos(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{33} + \cos \gamma_{13} + \cos \gamma_{32} - \cos \gamma_{12}, \\ y_2 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \sin(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{33} + \sin \gamma_{13} + \sin \gamma_{32} - \sin \gamma_{12}. \end{aligned}$$

По заданным значениям γ_{12} , γ_{13} , γ_{32} и γ_{63} вычисление x_2 и y_2 приводится к простому сложению тригонометрических функций. Зная x_2 и y_2 , находим

$$\text{mod } \delta_p = r_p = +\sqrt{x_p^2 + y_p^2} \quad (50)$$

$$\arg \delta_2 = \varphi_2 = \arctg \frac{y_2}{x_2}, \quad (51)$$

Формулы для x_2 и y_2 легко преобразовать к сумме произведений

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} x_2 &= \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} \cos \frac{\gamma_{13} + \gamma_{32}}{2} - \sin \frac{\gamma_{33}}{2} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \cos \frac{\gamma_{13} + \gamma_{33}}{2}, \\ \frac{1}{4} y_2 &= \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{33}}{2} \sin \frac{\gamma_{13} + \gamma_{32}}{2} - \sin \frac{\gamma_{33}}{2} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{12} + \gamma_{33}}{2}. \end{aligned}$$

Для графических построений удобна такая формула

$$\frac{1}{4} \delta_2 = \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i \frac{\gamma_{13} + \gamma_{32}}{2}} - \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{33}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12} + \gamma_{33}}{2}}, \quad (52)$$

которая определяет δ_2 как сумму двух комплексных чисел (векторов). Заметим, что множитель $\frac{1}{4}$ как общий для всех комплексных определителей может быть при вычислениях отброшен. Для графического построения δ_2 по формуле (49)

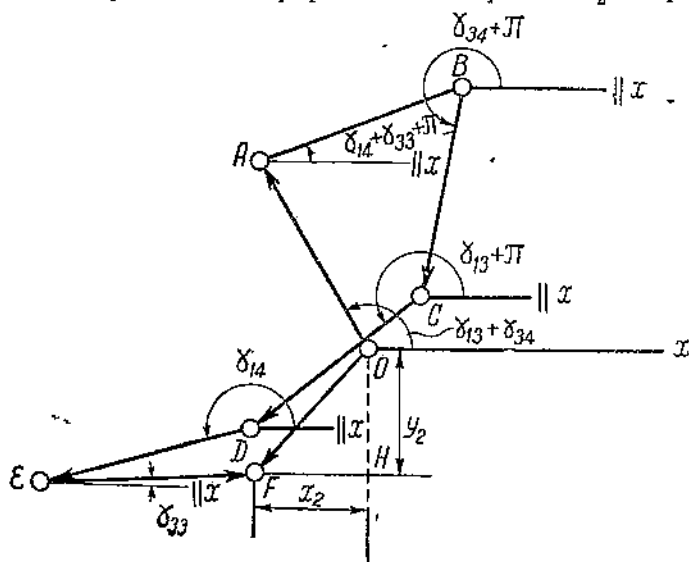


Рис. 18.

откладываем отрезки $OA=AB=BC=CD=DE=EF=1$ соответственно под углами $\gamma_{12}+\gamma_{35}$, $\gamma_{13}+\gamma_{32}+\pi$, $\gamma_{33}+\pi$, $\gamma_{12}+\pi$, γ_{13} , γ_{32} к оси x . Вектор, соединяющий точку O с точкой F (рис. 18), дает графическое изображение комплексного определителя δ_2 . По чертежу находим (рис. 18)

$$OF \equiv \text{mod } \hat{o}_2 = r_2,$$

$$(x, OF) = \arg \delta_2 = \varphi_2,$$

$$HF = x_2; \quad OH = y_2,$$

Для построения δ_2 по формуле (52) откладываем в выбранном масштабе (отбрасывая общий множитель $\frac{1}{4}$) $OA = \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{23}}{2}$ под углом $\frac{\gamma_{12} + \gamma_{23}}{2}$ к оси x и из точки A отрезок $AB = \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{23}}{2}$ под углом $\frac{\gamma_{12} + \gamma_{23}}{2} + \pi$ к оси x . Вектор OB (рис. 19) дает графическое изображение комплексного определителя δ_2 . Если раскрыть определители $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ уравнений (47), то получим

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= u_{22}u_{33} - u_{23} - u_{33} - [u_{23}u_{32} - u_{23} - u_{32}], \\ \delta_2 &= u_{13}u_{33} - u_{12} - u_{33} - [u_{13}u_{32} - u_{13} - u_{32}], \\ \delta_3 &= u_{12}u_{23} - u_{12} - u_{23} - [u_{13}u_{22} - u_{13} - u_{22}]. \end{aligned} \right\} \quad (53)$$

Проекции величин $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ на оси координат xoy выразятся так

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \cos(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{33} - [\cos(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{23} - \cos \gamma_{32}], \\ y_1 &= \sin(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{33} - [\sin(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{23} - \sin \gamma_{32}], \\ x_2 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{33} - [\cos(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{13} - \cos \gamma_{32}], \\ y_2 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{33} - [\sin(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{13} - \sin \gamma_{32}], \\ x_3 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{23}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{23} - [\cos(\gamma_{13} + \gamma_{22}) - \cos \gamma_{13} - \cos \gamma_{22}], \\ y_3 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{23}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{23} - [\sin(\gamma_{13} + \gamma_{22}) - \sin \gamma_{13} - \sin \gamma_{22}]. \end{aligned} \right\} \quad (54)$$

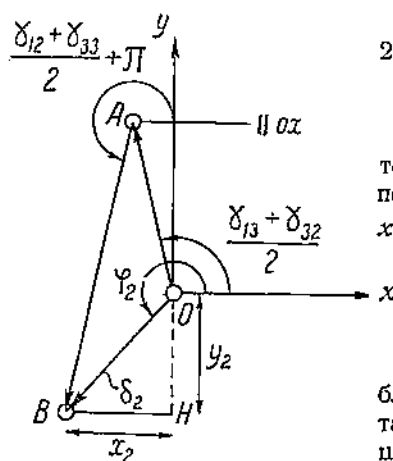


Рис. 19.

Если представить величины x_k и y_k ($k=1, 2, 3$) в виде

$$\left. \begin{aligned} x_k &= x_k^I - x_k^{II}, \\ y_k &= y_k^I - y_k^{II}, \end{aligned} \right\} \quad (55)$$

то для определения величин x_k, y_k достаточно подсчитать все значения x , относительные величинам x_k^I и x_k^{II} , и значения y , относительные y_k^I и y_k^{II} :

$$\left. \begin{aligned} x &= \cos(\gamma_{jp} + \gamma_{nm}) - \cos \gamma_{jp} - \cos \gamma_{nm}, \\ y &= \sin(\gamma_{jp} + \gamma_{nm}) - \sin \gamma_{jp} - \sin \gamma_{nm}. \end{aligned} \right\} \quad (56)$$

Для определения величин x и y дается таблица № I^а, в которой значения x и y рассчитаны для различных значений γ_{jp} и γ_{nm} , изменяющихся в пределах от 0° до 360° . В первых строчках таблицы даются значения x и во второй даются значения y .

Величины x_k^I, x_k^{II} и y_k^I, y_k^{II} находим по таблице I по заданным значениям $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{22}, \gamma_{23}, \gamma_{32}, \gamma_{33}$, пользуясь схемой:

Схема 1

Векторы	δ_1		δ_2		δ_3	
Величины	x_1^I, y_1^I	x_1^{II}, y_1^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	γ_{22}, γ_{33}	γ_{23}, γ_{32}	γ_{12}, γ_{33}	γ_{13}, γ_{32}	γ_{12}, γ_{23}	γ_{13}, γ_{22}

Величины x_k, y_k ($k=1, 2, 3$) находятся по формуле (55). Значения x_0 и y_0 находим по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_1 - x_2 + x_3, \\ y_0 &= y_1 - y_2 + y_3, \end{aligned} \right\} \quad (57)$$

* Таблицы I и II даны в конце книги.

непосредственно вытекающим из условия замкнутости шарнирного четырехзвенника.

Формулы (50) и (51) для определения величин r_k и φ_k даны соответственно на номограммах № 6 и 7.

Пользуясь номограммой № 6 по известным значениям x_k и y_k , найдем размеры звеньев r_k вспомогательного четырехзвенника, а по номограмме № 7 — углы φ_k , определяющие его начальное положение.

Номограмма № 6, для определения модуля r_k по заданным x_k и y_k представляет собой номограмму из выравненных точек с тремя шкалами x_k , y_k и r_k , градуированных в пределах

$$0 \leq x_k \leq 1; \quad 0 \leq y_k \leq 1; \quad 0 \leq r_k \leq 1,4.$$

Искомая величина r_k отсчитывается на соответствующей шкале в точке ее пересечения с прямой, соединяющей заданные значения x_k и y_k . Простота зависимости, устанавливаемой формулой (58)

$$r_k = \sqrt{x_k^2 + y_k^2}, \quad (58)$$

делает номограмму № 6 весьма гибкой и позволяет работать на ней с пересчетом. Так, например, для определения r_k при $x_k = 0,0255$ и $y_k = 0,0475$ можно определить величину r_k , полагая $x_k = 0,255$ и $y_k = 0,475$, и уменьшить найденный результат $r_k = 0,54$ в десять раз, т. е. $r_k = 0,054$.

В тех случаях, когда x_k и y_k различаются в десять раз и более, к пересчету прибегать не следует, так как меньшая величина весьма мало влияет на результат в определении r_k . Номограмма № 7 для определения аргумента φ_k представляет собой номограмму из выравненных точек, шкалы x_k и y_k у которой расположены на эллипсе, а ответная шкала φ_k^* — на диаметре. Шкалы размечены в пределах

$$0 \leq x_k \leq 10; \quad 0 \leq y_k \leq 10; \quad 0^\circ \leq \varphi_k^* \leq 90^\circ.$$

В зависимости от знаков x_k и y_k угол φ_k будет находиться в различных квадрантах. Если $x_k > 0$ и $y_k > 0$, то φ_k будет в I квадранте, и найденное значение φ_k^* из номограммы № 7 будет соответствовать искомой величине φ_k . Если $x_k < 0$ и $y_k > 0$, то φ_k будет во II квадранте, и искомый угол φ_k найдется из условия $\varphi_k = 180^\circ - \varphi_k^*$.

Если $x_k < 0$ и $y_k < 0$, то φ_k будет в III квадранте, и искомый угол φ_k найдется из условия

$$\varphi_k = 180^\circ + \varphi_k^*.$$

Наконец, если $x_k > 0$, а $y_k < 0$, то φ_k будет в IV квадранте, и искомый угол φ_k найдется из условий

$$\varphi_k = 360^\circ - \varphi_k^*.$$

Пример 6. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм по трем заданным положениям кривошипа: $\gamma_{12} = 60^\circ$, $\gamma_{13} = 90^\circ$ и трем положениям коромысла: $\gamma_{23} = 25^\circ$, $\gamma_{33} = 50^\circ$. Задаваясь различными γ_{22} и γ_{23} , соответствующими трем положениям механизма, будем получать различные механизмы. Пусть, например, $\gamma_{22} = -20^\circ$ и $\gamma_{23} = -25^\circ$.

Согласно схеме 1 имеем:

Т а б л и ц а 2

Векторы	δ_1		δ_2		δ_3	
Величины	x_1^I, y_1^I	x_1^{II}, y_1^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	$\gamma_{22} = -20^\circ$ $\gamma_{33} = 50^\circ$	$\gamma_{23} = -25^\circ$ $\gamma_{32} = 25^\circ$	$\gamma_{12} = 60^\circ$ $\gamma_{23} = 50^\circ$	$\gamma_{13} = 90^\circ$ $\gamma_{32} = 25^\circ$	$\gamma_{12} = 60^\circ$ $\gamma_{23} = -25^\circ$	$\gamma_{13} = 90^\circ$ $\gamma_{22} = -20^\circ$

По таблице I находим

$$\begin{array}{ll} x_1^I = -0,71645; & y_1^I = 0,07597; \\ x_1^{II} = -0,81261; & y_1^{II} = 0,00000; \\ x_2^I = -1,48480; & y_2^I = -0,69237; \\ x_2^{II} = -1,32892; & y_2^{II} = -0,51631; \\ x_3^I = -0,58715; & y_3^I = 0,13016; \\ x_3^{II} = -0,59767; & y_3^{II} = 0,28171. \end{array}$$

Пользуясь формулами (55), определяем величины x_k, y_k ($k=1, 2, 3$)

$$\begin{array}{ll} x_1 = 0,0962; & y_1 = 0,0759; \\ x_2 = -0,1559; & y_2 = -0,1761; \\ x_3 = 0,0105; & y_3 = -0,1516. \end{array}$$

Эти же значения x_k, y_k ($k=1, 2, 3$) мы получим, если сделаем аналитический расчет по формулам (54).

По известным значениям x_k, y_k ($k=1, 2, 3$) по формуле (57) определяем значения x_0 и y_0

$$\begin{array}{l} x_0 = x_1 - x_2 + x_3 = 0,262; \\ y_0 = y_1 - y_2 + y_3 = 0,100. \end{array}$$

По номограммам № 6 и 7 найдем величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие искомый механизм в начальном положении

$$\begin{array}{ll} r_0 = 0,282; & \varphi_0 = 20^\circ 40'; \\ r_1 = 0,122; & \varphi_1 = 38^\circ 00'; \\ r_2 = 0,237; & \varphi_2 = 228^\circ 30'; \\ r_3 = 0,151; & \varphi_3 = 273^\circ 30'. \end{array}$$

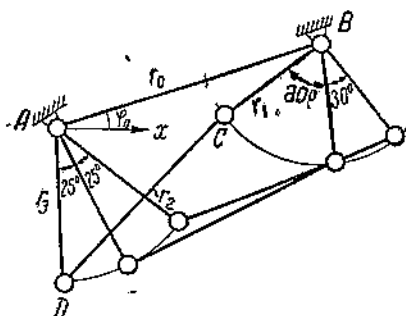


Рис. 20.

Найденный механизм показан на

рис. 20. Существенно отметить, что так

как таблица I рассчитана только для положительных значений параметров γ_{jp}, γ_{nm} , то для отрицательных величин следует брать положительные значения углов, дополнительных до 360° .

ГЛАВА VII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО ЧЕТЫРЕМ ПОЛОЖЕНИЯМ КРИВОШИПА И КОРОМЫСЛА

Напишем уравнение замкнутости (3) для четырех заданных положений, опуская пока сопряженные уравнения:

$$\left. \begin{array}{l} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} = 1, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{12})} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{22})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} = 1, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{13})} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{23})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{33})} = 1, \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{14})} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{24})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{34})} = 1, \end{array} \right\} \quad (59)$$

где γ_{jk} — углы, определяющие вращение звеньев механизма. Каждый из углов γ_{jk} отсчитывается против часовой стрелки от начального направления соответствующего j -того звена в начальном положении механизма, определяемом первым из написанных уравнений.

Введя обозначения $z_j = r_j e^{i\varphi_j}$, $u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}$, представим систему (43) в таком виде

$$\left. \begin{array}{l} z_1 + z_2 + z_3 = 1, \\ z_1 u_{12} + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} = 1, \\ z_1 u_{13} + z_2 u_{23} + z_3 u_{33} = 1, \\ z_1 u_{14} + z_2 u_{24} + z_3 u_{34} = 1. \end{array} \right\} \quad (60)$$

Система линейных уравнений (60) относительно неизвестных x_j будет совместна, если определитель, составленный из коэффициентов и свободных членов, равен 0

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ 1 & u_{13} & u_{23} & u_{33} \\ 1 & u_{14} & u_{24} & u_{34} \end{vmatrix} = 0. \quad (61)$$

Уравнение совместности $D=0$ вместе с сопряженным уравнением $\bar{D}=0$ определяет значения двух неизвестных величин u_{jk} . Считая, что положения кривошипа заданы углами γ_{1k} , а положения коромысла — углами γ_{3k} , примем за неизвестные углы γ_{22} , γ_{23} и γ_{24} . Разлагаем определитель D по элементам третьего столбца

$$D = \Delta_1 - \Delta_2 u_{22} + \Delta_3 u_{23} - \Delta_4 u_{24} = 0, \quad (62)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \begin{vmatrix} 1 & u_{12} & u_{32} \\ 1 & u_{13} & u_{33} \\ 1 & u_{14} & u_{34} \end{vmatrix} \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{13} & u_{33} \\ 1 & u_{14} & u_{34} \end{vmatrix} \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{32} \\ 1 & u_{14} & u_{34} \end{vmatrix} \\ \Delta_4 &= \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{33} \\ 1 & u_{13} & u_{33} \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (63)$$

Комплексные определители Δ_j не зависят от неизвестных углов γ_{22} , γ_{23} и γ_{24} . При $\gamma_{22} = \gamma_{23} = \gamma_{24} = 0$ и, следовательно, $u_{22} = u_{23} = u_{24} = 1$ уравнение $D=0$ удовлетворяется тождественно, так как в этом случае определитель D содержит два одинаковых столбца, состоящих из единиц. Полагая в (62) $u_{22} = u_{23} = u_{24} = 1$, получим зависимость между определителями Δ_j :

$$\Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4 = 0, \quad (64)$$

которая служит как для проверки правильности вычислений, так и для определения любого из Δ_j по трем остальным.

Полагая в уравнении (62) $\Delta_1 - \Delta_2 u_{22} = \bar{\Delta}_0$ и воспользовавшись сопряженным уравнением, получим систему уравнений для определения γ_{23} и γ_{24}

$$\left. \begin{aligned} \Delta_0 + \Delta_3 u_{23} - \Delta_4 u_{24} &= 0, \\ \bar{\Delta}_0 + \frac{\bar{\Delta}_3}{u_{23}} - \frac{\bar{\Delta}_4}{u_{24}} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (65)$$

где $\bar{\Delta}_0$, $\bar{\Delta}_3$, $\bar{\Delta}_4$ — комплексные числа, сопряженные соответственно числам Δ_0 , Δ_3 , Δ_4 . Исключая из системы (65) u_{24} , получим квадратное уравнение для определения u_{23}

$$\bar{\Delta}_0 \Delta_3 u_{23}^2 - (r_4^2 - r_0^2 - r_3^2) u_{23} + \bar{\Delta}_3 \Delta_0 = 0,$$

где $r_j = \text{mod } \Delta_j$ — модули соответствующих комплексных чисел. Решая квадратное уравнение, находим

$$u_{23} = \frac{r_4^2 - r_0^2 - r_3^2 \pm \sqrt{(r_4^2 - r_0^2 - r_3^2)^2 - 4r_0^2 r_3^2}}{2\bar{\Delta}_0 \Delta_3}.$$

Полагая $(r_4^2 - r_0^2 - r_3^2) < 4r_0^2 r_3^2$ и переходя к обозначениям $u_{23} = e^{i\gamma_{23}}$, $\Delta_3 = r_3 e^{i\gamma_3}$, $\bar{\Delta}_0 = r_0 e^{-i\gamma_0}$, имеем

$$e^{i(\gamma_{23} + \gamma_3 - \gamma_0)} = \frac{r_4^2 - r_0^2 - r_3^2 \pm ik}{2r_0 r_3},$$

где k — число действительное, а $\varphi_j = \arg \Delta_j$ — аргументы комплексных чисел Δ_j . Приравнявая действительные части, находим

$$\cos(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_0) = \frac{r_4^2 - r_0^2 - r_3^2}{2r_0r_3}. \quad (66)$$

Исключая из системы (65) γ_{23} , аналогичным образом находим

$$\cos(\gamma_{24} + \varphi_4 - \varphi_0) = \frac{r_0^2 + r_4^2 - r_3^2}{2r_0r_4}. \quad (67)$$

Полученные формулы легко преобразуются к виду, удобному для логарифмирования

$$\begin{aligned} \sin \frac{\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_0}{2} &= \sqrt{\frac{p(p-r_3)}{r_0r_3}}, \\ \cos \frac{\gamma_{24} + \varphi_4 - \varphi_0}{2} &= \sqrt{\frac{p(p-r_3)}{r_0r_4}}, \end{aligned}$$

где $2p = r_0 + r_3 + r_4$.

Решение уравнения совместности (61) значительно упрощается в частных случаях. Пусть, например, требуется, чтобы направления шатунов были параллельны в двух произвольных положениях искомого шарнирного четырехзвенника. Очевидно, такому дополнительному условию будут удовлетворять $C_4^3 = 6$ различных вариантов искомого механизма. Условия параллельности звеньев шатуна записываются в следующем виде

$$\begin{aligned} \gamma_{22} = \gamma_{23} = \gamma_{24} &= 0, \\ \gamma_{22} = \gamma_{23}, \gamma_{22} = \gamma_{24}, \gamma_{23} = \gamma_{24}. \end{aligned}$$

Полагая в уравнении (62) $u_{22} = 1$ ($\gamma_{22} = 0$) и воспользовавшись уравнением (64), получим

$$\Delta_0 + \Delta_3 u_{23} - (\Delta_0 + \Delta_3) u_{24} = 0, \quad (68)$$

где $\Delta_0 = \Delta_1 - \Delta_2$. Исключаем u_{24} при помощи сопряженных уравнений

$$u_{24} = \frac{\Delta_0 + \Delta_3 u_{23}}{\Delta_0 + \Delta_3} = \frac{(\bar{\Delta}_0 + \bar{\Delta}_3) u_{23}}{\bar{\Delta}_0 u_{23} + \bar{\Delta}_3}$$

и получаем уравнение для определения γ_{23}

$$\Delta_3 \bar{\Delta}_0 (u_{23} - 1) u_{23} - \Delta_0 (u_{23} - 1) = 0.$$

При $u_{23} = 1$ решение задачи возможно только при условии, что $u_{23} \neq 1$ и $u_{24} \neq 1$. Следовательно,

$$u_{23} = \frac{\Delta_0 \bar{\Delta}_3}{\Delta_0 \Delta_3} = e^{2i(\varphi_0 - \varphi_3)},$$

где $\varphi_j = \arg \Delta_j$. В рассматриваемом частном случае получаем для вычисления γ_{23} более простую формулу, нежели (66)

$$\gamma_{23} = 2(\varphi_0 - \varphi_3); \quad \gamma_{24} = 2(\varphi_0 - \varphi_4).$$

Полагая в уравнении (62) $u_{23} = u_{23}$ ($\gamma_{22} = \gamma_{23}$) и воспользовавшись уравнением (64), получим

$$\Delta_1 + \Delta_0 u_{23} - (\Delta_0 + \Delta_1) u_{24} = 0,$$

где $\Delta_0 = \Delta_2 - \Delta_3$. Воспользовавшись аналогией между написанным уравнением и уравнением (68), получим

$$\gamma_{23} = \gamma_{22} = 2(\varphi_1 - \varphi_0).$$

Решение уравнения совместности для остальных четырех частных случаев ничем не отличается от рассмотренных выше. При $\gamma_{23} = 0$ имеем

$$\gamma_{23} = 0; \quad \gamma_{22} = 2(\varphi_0 - \varphi_2),$$

где $\Delta_0 = \Delta_1 + \Delta_3$ и $\varphi_0 = \arg \Delta_0$.

При $\gamma_{24} = 0$ имеем

$$\gamma_{23} = 2(\varphi_0 - \varphi_3),$$

где $\Delta_0 = \Delta_2 + \Delta_4$ и $\varphi_0 = \arg \Delta_0$.

При $\gamma_{22} = \gamma_{34}$ имеем

$$\gamma_{22} = \gamma_{34} = 2(\varphi_3 - \varphi_0),$$

где $\Delta_0 = \Delta_2 + \Delta_4$ и $\varphi_0 = \arg \Delta_0$.

При $\gamma_{23} = \gamma_{24}$ имеем

$$\gamma_{23} = \gamma_{24} = 2(\varphi_2 - \varphi_0),$$

где $\Delta_0 = \Delta_3 - \Delta_4$ и $\varphi_0 = \arg \Delta_0$.

Для графического решения уравнения совместности (62) откладываем от начала O отрезок $OA = \text{mod } \Delta_1$ под углом $\varphi_1 = \arg \Delta_1$ к оси x (рис. 21). Задав произвольным значением γ_{22} , откладываем от точки A отрезок $AB = \text{mod } \Delta_2$ под углом

$$\varphi_2 + \gamma_{22} + \pi = \arg \Delta_2 + \gamma_{22} + \pi$$

к оси x . Описываем из точки B окружность радиусом $r_3 = \text{mod } \Delta_3$, а из точки O — окружность радиусом $r_4 = \text{mod } \Delta_4$. Находим точки их пересечения C_1 и C_2 . Замкнутые векторные четырехугольники $OABC_1O$ и $OABC_2O$ дают два варианта графического представления уравнения (62). Проводя через точку B ось BD под углом $\varphi_3 = \arg \Delta_3$ к оси x , измеряем два значения угла γ_{23} :

$(BD, BC_1) = \gamma_{23}^I, (BD, BC_2) = \gamma_{23}^{II}$. Проводя через точку O ось OE под углом $\varphi_4 = -\arg \Delta_4$ к оси x , измеряем соответствующие значения

угла γ_{24} : $(OE, OC_1) = \gamma_{24}^I, (OE, OC_2) = \gamma_{24}^{II}$. Считая γ_{22} заданным, а γ_{23} определенным из уравнения совместности (62), находим неизвестные z_1, z_2, z_3 из первых трех уравнений (60) по формуле

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\delta_j}{\delta_0} \quad (j=1, 2, 3),$$

где значения δ_j ($j=0, 1, 2, 3$) определяются по формулам (47). Для построения самого механизма достаточно вычислить значения только трех комплексных определителей δ_j . Так как, кроме того, $\delta_2 = \Delta_4$, то для полного решения задачи достаточно найти значения шести комплексных определителей $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \delta_1, \delta_3$. Остальные определители Δ_1 и δ_0 , отличающиеся от названных по структуре, проще всего, в случае необходимости, вычислить по формулам (64) и (48).

Пример 7. Зададим следующие значения углов:

Таблица 3

γ_{12}	γ_{13}	γ_{14}	γ_{32}	γ_{33}	γ_{34}
60°	120°	180°	20°	45°	50°

Разлагаем определители Δ_3 и Δ_4 по элементам первых строк. Полагая $\Delta_3 = x_3 + iy_3$ и $\Delta_4 = x_4 + iy_4$, находим выражения для x_3, y_3, x_4, y_4 ,

$$x_3 = \cos(\gamma_{12} + \gamma_{34}) - \cos(\gamma_{14} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{34} + \cos \gamma_{14} + \cos \gamma_{32},$$

$$y_3 = \sin(\gamma_{12} + \gamma_{34}) - \sin(\gamma_{14} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{34} + \sin \gamma_{14} + \sin \gamma_{32},$$

$$x_4 = \cos(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \cos(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{33} + \cos \gamma_{13} + \cos \gamma_{32},$$

$$y_4 = \sin(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \sin(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{33} + \sin \gamma_{13} + \sin \gamma_{32}.$$

Подставляя значения заданных углов в формулы для x_j и y_j ($j=2, 3, 4$), вычисляем

Таблица 4

j	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4
x_j	-0,368149	-0,713382	-0,605422	-0,250189
y_j	-0,077820	-0,044207	-0,008336	-0,041949

где значения x_1 и y_1 определены согласно условию (64) по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_2 - x_3 + x_4, \\ y_1 &= y_2 - y_3 + y_4. \end{aligned} \right\} \quad (69)$$

Задаваясь значением $\gamma_{22} = 15^\circ$, вычисляем, согласно условию $\Delta_0 = \Delta_1 - \Delta_2 u_{22}$, значения x_0 и y_0 по формулам

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 - x_2 \cos \gamma_{22} + y_2 \sin \gamma_{22} = 0,309483, \\ y_0 &= y_1 - y_2 \cos \gamma_{22} - x_2 \sin \gamma_{22} = 0,149518. \end{aligned}$$

Определяем по формулам (50) и (51) величины $r = \text{mod } \Delta_j$ и $\varphi = \text{arg } \Delta_j$, необходимые для вычисления γ_{23} .

Таблица 5

r_0	r_3	r_4	φ_0	φ_3
0,343699	0,605471	0,263549	25°47'	180°47'20"

Подставляя найденные величины (табл. 5) в формулу (66), определяем два значения угла γ_{23}

$$\gamma_{23}^I = 28^\circ 48', \quad \gamma_{23}^{II} = 21^\circ 12'$$

и принимаем для дальнейших вычислений $\gamma_{23}^{II} = 21^\circ 12'$. Разлагаем определители δ_1 и δ_3 по элементам первых строк. Полагая $\delta_1 = x_1 + iy_1$ и $\delta_3 = x_3 + iy_3$, находим

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \cos(\gamma_{23} + \gamma_{33}) - \cos(\gamma_{23} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{33} + \cos \gamma_{23} + \cos \gamma_{32}, \\ y_1 &= \sin(\gamma_{23} + \gamma_{33}) - \sin(\gamma_{23} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{33} + \sin \gamma_{23} + \sin \gamma_{32}, \\ x_3 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \cos(\gamma_{13} + \gamma_{22}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{33} + \cos \gamma_{13} + \cos \gamma_{22}, \\ y_3 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \sin(\gamma_{13} + \gamma_{22}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{33} + \sin \gamma_{13} + \sin \gamma_{22}. \end{aligned} \right\} \quad (70)$$

Подставляя значение углов γ_{jk} в формулы для x_j и y_j ($j=1, 3$), вычисляем

Таблица 6

j	δ_0	δ_1	δ_2	δ_3
x_j	0,09591	-0,049301	-0,260189	-0,114978
y_j	0,166917	-0,052405	-0,041949	0,177373

где x_2 и y_2 определяются из условия $\delta_2 = \Delta_4$, а значения x_0 и y_0 определены согласно уравнению замкнутости (48) по формулам (57).

По формулам (50), (51) определяем размеры и положения звеньев искомого механизма

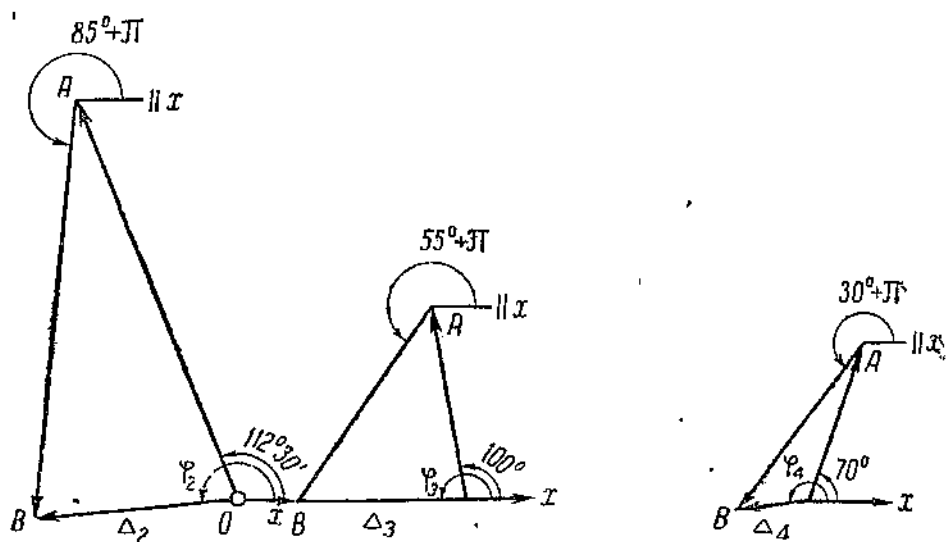


Рис. 22 а.

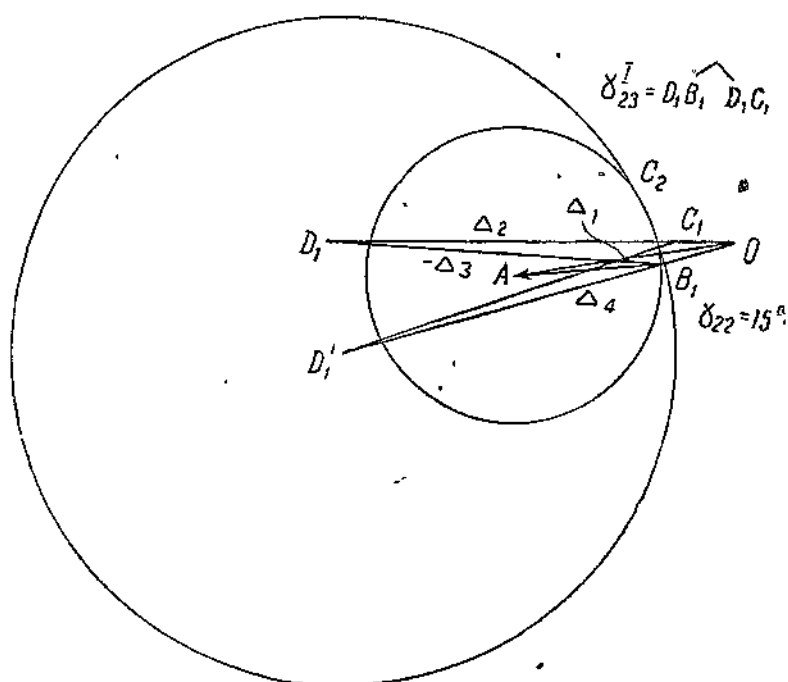


Рис. 22 б.

Таблица 7

r_0	r_1	r_2	r_3	φ_0	φ_1	φ_2	φ_3
0,192511	0,07195	0,263549	0,211382	60°07'	226°45'	189°10'	122°57'

который изображен в начальном положении на рис. 23б.

Для графического решения задачи воспользуемся типовым выражением комплексных определителей в виде (52). По заданным углам находим

$$\Delta_2 = \sin \frac{\gamma_{11}}{2} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i \frac{\gamma_{11} + \gamma_{22}}{2}} - \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{21}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12} + \gamma_{21}}{2}},$$

$$\Delta_3 = \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12} + \gamma_{22}}{2}} - \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{23}}{2} e^{i \frac{\gamma_{13} + \gamma_{23}}{2}},$$

$$\Delta_4 = \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i \frac{\gamma_{13} + \gamma_{22}}{2}} - \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{21}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12} + \gamma_{21}}{2}},$$

и строим их изображения (рис. 22a). Образовав из найденных векторов контур $OA = OD_1 + D_1B_1 + B_1A = \Delta_2 - \Delta_3 + \Delta_4$ (рис. 22b), находим значение комплексного определителя $\Delta_1 = OA$. Поворачиваем отрезок OD_1 на заданный угол γ_{22} и описываем из точек A и D_1' окружности соответственно радиусами AB_1 и B_1D_1 . Точки пересечения C_1 и C_2 окружностей определяют углы:

$(B_1D_1, D_1'C_1) = \gamma_{23}^I, (B_1D_1, D_1'C_2) = \gamma_{23}^{II}$. Принимаем $\gamma_{23}^{II} = 21^\circ 12'$ и строим комплексные определители δ_1 и δ_3 по формулам (рис. 23a)

$$\delta_1 = \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12} + \gamma_{22}}{2}} - \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{23}}{2} e^{i \frac{\gamma_{13} + \gamma_{23}}{2}},$$

$$\delta_3 = \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i \frac{\gamma_{13} + \gamma_{22}}{2}} - \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \frac{\gamma_{21}}{2} e^{i \frac{\gamma_{12} + \gamma_{21}}{2}}.$$

Образуем из векторов $\delta_1, \delta_2 = \Delta_4$ (в масштабе рис. 23a) и δ_3 контур $OA + AB + BC = \delta_1 - \delta_2 + \delta_3 = \delta_0$. Получим искомый механизм (рис. 23b) в начальном положении.

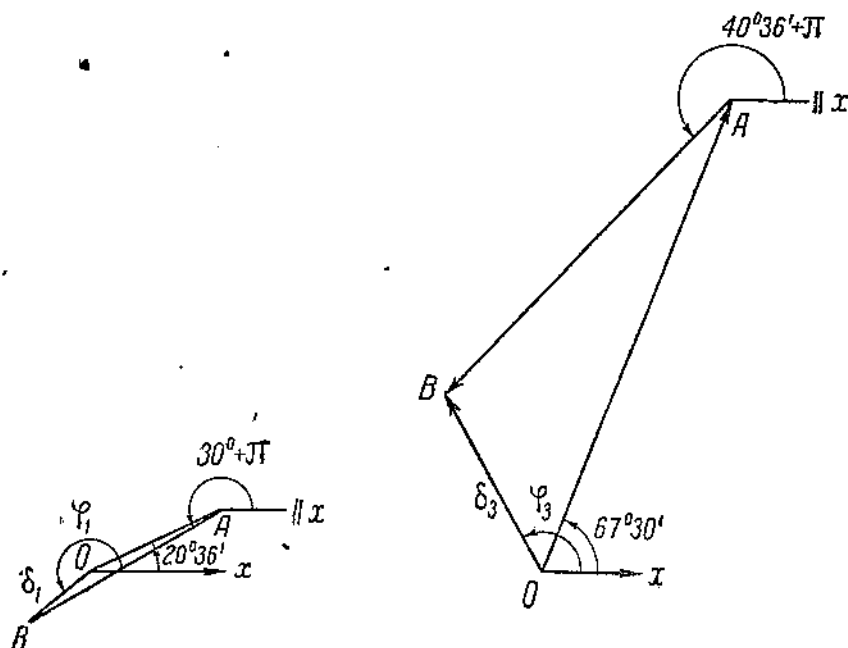


Рис. 23a.

Уравнение совместности (62) можно интерпретировать так же, как замкнутый четырехзвенник (вспомогательный механизм), стороны которого образованы векторами $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$; величина сторон определяется модулями $\text{mod } \Delta_1, \text{mod } \Delta_2, \text{mod } \Delta_3, \text{mod } \Delta_4$, а относительное положение сторон — их аргументами $\arg \Delta_1 = \varphi_1, \arg \Delta_2 = \varphi_2, \arg \Delta_3 = \varphi_3, \arg \Delta_4 = \varphi_4$.

Так как четырехзвено имеет одну степень подвижности, то очевидно, если мы из данного его положения, определяемого величинами r_k, φ_k ($k=1, 2, 3, 4$), повернем звено 2 на некоторый угол γ_{23} , что по существу соответствует умножению комплексного числа Δ_2 на число $e^{i\gamma_{23}}$ (орт-единичный вектор), то звенья 3 и 4 переместятся относительно своего начального положения соответственно на углы γ_{23} и γ_{24} , что соответствует умножению комплексных чисел Δ_3 и Δ_4 на единичные орты $e^{i\gamma_{23}}$ и $e^{i\gamma_{24}}$.

Так как комплексное уравнение (62) содержит три неизвестных $\gamma_{23}, \gamma_{23}, \gamma_{24}$ и как всякое векторное уравнение определяет лишь два из них, то, задаваясь одним в качестве параметра, мы можем определить два другие. Итак, каждому значению параметра γ_{22} будет соответствовать вполне определенное значение углов γ_{23} и γ_{24} .

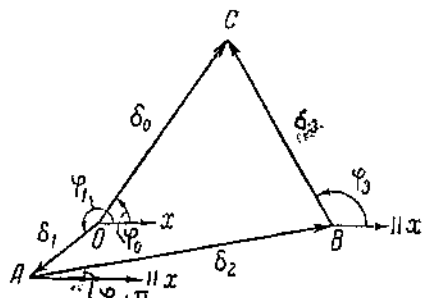


Рис. 23 б.

Схема практического решения задачи

По заданным углам поворота кривошипа $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{14}$ и коромысла — $\gamma_{32}, \gamma_{33}, \gamma_{34}$ составляем выражения, определяющие звенья вспомогательного механизма в начальном его положении:

$$\begin{aligned} \text{кривошипа } \Delta_2 &= e^{i(\gamma_{12} + \gamma_{13})} - e^{i\gamma_{12}} - e^{i\gamma_{13}} - [e^{i(\gamma_{12} + \gamma_{13})} - e^{i\gamma_{12}} - e^{i\gamma_{13}}], \\ \text{шатуна } \Delta_3 &= e^{i(\gamma_{12} + \gamma_{13})} - e^{i\gamma_{12}} - e^{i\gamma_{13}} - [e^{i(\gamma_{12} + \gamma_{13})} - e^{i\gamma_{12}} - e^{i\gamma_{13}}], \\ \text{коромысла } \Delta_4 &= e^{i(\gamma_{12} + \gamma_{13})} - e^{i\gamma_{12}} - e^{i\gamma_{13}} - [e^{i(\gamma_{12} + \gamma_{13})} - e^{i\gamma_{12}} - e^{i\gamma_{13}}], \end{aligned}$$

откуда проекции этих векторов определяются соответственно формулами

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{13} - [\cos(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{13}] = x_2^I - x_2^{II}, \\ y_2 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{13} - [\sin(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{13}] = y_2^I - y_2^{II}, \\ x_3 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{13} - [\cos(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{13}] = x_3^I - x_3^{II}, \\ y_3 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{13} - [\sin(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{13}] = y_3^I - y_3^{II}, \\ x_4 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{13} - [\cos(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{13}] = x_4^I - x_4^{II}, \\ y_4 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{13} - [\sin(\gamma_{12} + \gamma_{13}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{13}] = y_4^I - y_4^{II}. \end{aligned} \right\} \quad (71)$$

В силу полной однозначности составляющих x_k^I, x_k^{II} и y_k^I, y_k^{II} достаточно составить расчетную таблицу величин

$$\left. \begin{aligned} x &= \cos(\gamma_{jp} + \gamma_{nm}) - \cos \gamma_{jp} - \cos \gamma_{nm}, \\ y &= \sin(\gamma_{jp} + \gamma_{nm}) - \sin \gamma_{jp} - \sin \gamma_{nm} \end{aligned} \right\} \quad (72)$$

для различных значений γ_{jp} и γ_{nm} . Таблица I составлена для значений $0^\circ \leq \gamma_{jp}, \gamma_{nm} \leq 360^\circ$. В верхних строчках каждой клетки даны значения x и в нижней — значения y .

Величины x_k^I, x_k^{II} и y_k^I, y_k^{II} находим по таблице I (см. приложение) согласно схеме 2, дающей зависимость проекций векторов $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ вспомогательного механизма от заданных значений γ_{1k} и γ_{3k} ($k=2, 3, 4$)

Схема 2

Векторы	Δ_2		Δ_3		Δ_4	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}	x_4^I, y_4^I	x_4^{II}, y_4^{II}
Зависят от	γ_{13}, γ_{34}	γ_{14}, γ_{33}	γ_{12}, γ_{34}	γ_{14}, γ_{32}	γ_{12}, γ_{33}	γ_{13}, γ_{32}

и нужные нам величины x_k, y_k находим из условия (55).

Значения x_1 и y_1 находим по формулам (69), непосредственно вытекающим из условия замкнутости вспомогательного четырехзвенного механизма (64) в начальном его положении.

Величины x_2^I и y_2^I найдутся в клетке таблицы I (см. приложение) на пересечении строки и столбца соответствующих значений γ_{13} γ_{34} (при этом совершенно безразлично, взять ли γ_{13} за столбец, а γ_{34} за строку или наоборот).

Аналогично значения x_2^{II} и y_2^{II} найдутся в клетке, соответствующей величинам γ_{14} и γ_{33} ; значения x_3^I и y_3^I — в клетке, соответствующей величинам γ_{12} и γ_{34} ; значения x_3^{II} и y_3^{II} — в клетке, соответствующей величинам γ_{14} и γ_{32} ; значения x_4^I и y_4^I — в клетке, соответствующей величинам γ_{12} и γ_{33} , и значения x_4^{II} и y_4^{II} — в клетке, соответствующей величинам γ_{13} и γ_{32} .

Зная величины x_k^I, x_k^{II} и y_k^I, y_k^{II} и определив величины x_k и y_k согласно формуле (55), найдем величины r_k и φ_k и по номограммам № 6 и 7.

Зная величины $r_1, r_2, r_3, r_4, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, можем решить уравнение совместности (62), которое можно представить так

$$r_1 e^{i\varphi_1} - r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{23})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} - r_4 e^{i(\varphi_4 + \gamma_{41})} = 0.$$

Решение этого уравнения преследует две цели:

а) Определить область существования решений уравнения (62) для заданных значений параметра γ_{23} (т. е. область существования значений параметра γ_{23} для заданных значений параметра γ_{32}).

б) Вычислить значения γ_{23} , соответствующие заданным значениям γ_{32} . Умножим все члены уравнения (62) на $e^{-i\varphi_1}$, преобразуем его к виду

$$r_1 - r_2 e^{i(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1)} + r_3 e^{i(\gamma_{32} + \varphi_3 - \varphi_1)} - r_4 e^{i(\gamma_{41} + \varphi_4 - \varphi_1)} = 0$$

или, записав в виде проекции на оси координат, получим

$$\left. \begin{aligned} r_1 - r_2 \cos(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1) + r_3 \cos(\gamma_{32} + \varphi_3 - \varphi_1) - r_4 \cos(\gamma_{41} + \varphi_4 - \varphi_1) &= 0, \\ -r_2 \sin(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1) + r_3 \sin(\gamma_{32} + \varphi_3 - \varphi_1) - r_4 \sin(\gamma_{41} + \varphi_4 - \varphi_1) &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Возведя оба уравнения в квадрат и складывая, исключим параметр γ_{41}

$$\begin{aligned} r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2 + 2r_1 r_3 \cos(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1) - 2r_1 r_2 \cos(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1) - \\ - 2r_2 r_3 \cos(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1) \cos(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1) - \\ - 2r_2 r_3 \sin(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1) \sin(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1) = 0. \end{aligned} \quad (73)$$

Непосредственное номографическое представление этого уравнения весьма затруднительно.

Введем следующие обозначения:

$$A = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2, \quad (74)$$

$$B = 2r_1 r_2 \cos(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (75)$$

$$C = \frac{B - A}{2r_3}, \quad (76)$$

$$D = r_1 - r_2 \cos(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (77)$$

$$E = r_2 \sin(\gamma_{23} + \varphi_2 - \varphi_1). \quad (78)$$

В этом случае уравнение (73) приводится к виду

$$D \cos(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1) - E \sin(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1) = 0. \quad (79)$$

Номографическое представление этого уравнения возможно с помощью номограммы типа Коши с бинарным полем, но так как искомая величина $(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1)$ в этом случае получается в поле, то это решение не дает нам достаточной точности. Если обозначить

$$D = k \cos \theta \text{ и } E = k \sin \theta,$$

где $k = \sqrt{D^2 + E^2}$,

то уравнение (79) легко привести к виду

$$\cos(\gamma_{23} + \varphi_3 - \varphi_1 + \theta) = \frac{C}{D} \cos \theta, \quad (80)$$

где новый вспомогательный параметр θ легко определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{E}{D}. \quad (81)$$

Допуская, что параметры γ_{22} и γ_{23} могут принимать любые значения в пределах от 0° до 360° (или все равны в пределах от 0° до 360°), легко установить из анализа уравнения (69), что величина C будет изменяться в пределах

$$-2,236 \leq C \leq +2,236.$$

Естественно, что для всех случаев, когда величина C имеет значения, выходящие за указанные пределы, уравнение (79) не имеет действительных решений для заданных значений параметра γ_{22} . Таким образом, для решения уравнения совместности поступаем следующим образом. При помощи таблиц квадратов (пр. Барлоу, Hütte и др.) или номограммы № 8, где дана шкала квадратов чисел, находим r_k^2 ($k=1, 2, 3, 4$) и по формуле (74) вычисляем величину A .

Далее, при помощи номограммы № 9 по известным значениям $r_1, r_2, \varphi_1, \varphi_2$ и задаваемому значению параметра γ_{22} находим величину B .

Номограмма № 9 для определения величины B представляет собой номограмму из выравненных точек с пятью шкалами $r_1, r_2, I, \varphi_1 = \alpha + \varphi_2 - \varphi_1$ и B , где I — вспомогательная шкала и $\alpha = \gamma_{22}$.

Шкалы r_1 и r_2 расположены на малом эллипсе и проградуированы в пределах от 0 до 5,0.

Шкалы φ_1 и B расположены на большем эллипсе и проградуированы в пределах

$$0^\circ \leq \varphi_1 \leq 360^\circ; 0 \leq B \leq 4.$$

Найдя точку пересечения прямой, соединяющей заданные значения r_1 и r_2 с вспомогательной шкалой I , и соединив эту отметку с заданным значением φ_1 , найдем на шкале B искомую величину.

Для значений φ_1 от 90° до 270° величина B будет отрицательна.

Соединив известные значения $B - A$ и r_3 прямой, найдем по номограмме № 10 величину C . Когда разность $B - A$ отрицательна, найденная величина C также берется со знаком минус. Шкала C проградуирована в пределах от 0 до $\pm 2,236$, для которых возможно существование решения.

Если в рассматриваемой задаче для заданного значения $\gamma_{22} = \alpha$ величина C выходит за пределы шкалы C номограммы № 10, то для этого значения γ_{22} не существует действительных значений γ_{23} и задача не имеет решения. Таким образом, номограмма № 10 устанавливает необходимый признак существования решения задачи для заданного значения параметра γ_{22} .

Если величина C находится в пределах номограммы № 10, то для определения числовых значений искомого параметра γ_{23} нужно по номограммам № 11, 12 и 13 определить соответственно величины D, E и θ .

Номограмма № 11 для определения D состоит из бинарного поля значений r_2 и r_1 , из ответной шкалы D и шкалы $\varphi_1 = \alpha + \varphi_2 - \varphi_1$, где под α для этой задачи понимается параметр γ_{22} .

Значения r_1 и r_2 проградуированы в пределах от 0 до 1, значения $\alpha + \varphi_2 - \varphi_1$ проградуированы в пределах от 0° до 360° и ответная шкала D в пределах

$$-1 \leq D \leq 2.$$

Схема пользования дана на самой номограмме. Для того чтобы определить величину D по заданным значениям r_1 , r_2 , φ_1 , φ_2 и γ_{22} , нужно соединить прямой линией точку пересечения значений r_1 и r_2 с соответствующим значением ϕ_1 и в пересечении с ответной шкалой прочитать результат.

Номограмма № 12 для определения E представляет собой номограмму из выравненных точек, состоящих из шкал $\phi_1 = \alpha + \varphi_2 - \varphi_1$ (где $\alpha = \gamma_{22}$) и r_2 , расположенных на дугах эллипса, и ответной шкалы, расположенной на диаметре. Пределы переменных:

$$\phi_1 \text{ от } 0^\circ \text{ до } 360^\circ \text{ и } E \text{ от } 0 \text{ до } 1 \text{ и } r_2 \text{ от } 0 \text{ до } 1.$$

Искомая величина E определяется в пересечении ответной шкалы с прямой, соединяющей заданные значения ϕ_1 и r_2 .

Как легко установить из уравнения (80), необходимым и достаточным условием существования действительных решений будет выполнение неравенства

$$|C| \leq |VD^2 + E^2|. \quad (82)$$

Величина C определяется из номограммы № 10, а величина $\sqrt{D^2 + E^2}$ определится при помощи номограммы № 13, совершенно аналогичной известной уже нам номограмме № 6. Если условие (82) выполняется, то решение существует и следует продолжать расчет.

Если условие (82) не выполняется, то для заданного значения параметра γ_{22} решения не существует.

Номограмма № 14 для определения величины θ совершенно аналогична рассмотренной нами выше номограмме № 7 для определения φ_k .

Из этой номограммы мы также находим значение θ^* и, пользуясь прилагаемой на номограмме таблицей в зависимости от знаков E и D , получаем искомое значение величины θ .

Зная вспомогательные величины D , C и θ по номограмме № 15, легко найдем два значения аргумента ϕ_2^I и ϕ_2^{II} , где $\phi_2 = \gamma_{22} + \varphi_2 - \varphi_1 + \theta$, а следовательно, два значения γ_{23}^I и γ_{23}^{II} по формуле $\beta = \phi_2 - \varphi_2 + \varphi_1 - \theta$, где $\beta = \gamma_{23}$, так как φ_1 , φ_2 и θ известны. Номограмма № 15 для определения параметра $\gamma_{23} = \beta$ представляет собой номограмму из выравненных точек и состоит из четырех шкал θ , C , D , ϕ_2 и вспомогательной шкалы I . Пределы переменных: θ от 0° до 360° , C от 0 до $\pm 2,236$, D от 0 до $\pm 2,0$ и ответная шкала ϕ_2 от 0° до 360° .

Так как каждой отметке ответной шкалы будут соответствовать четыре значения угла, то выбор двух из них в качестве искомых значений следует производить по таблице, данной на номограмме № 15. В том случае, когда знаки C и D одинаковые (оба положительные или оба отрицательные) и параметр θ задается в I или IV квадрантах (от 0° до 90° или от 270° до 360°), следует принимать те два ответных значения ϕ_2 , отметки которых соответствуют I и IV квадрантам.

В том случае, когда D и C с одинаковыми знаками и параметр θ задается в II или III квадрантах, ответными значениями ϕ_2 будут те, отметки которых соответствуют II и III квадрантам.

В том случае, когда знаки C и D различны и параметр θ задан в I или II квадрантах, искомыми значениями ϕ_2 будут соответствующие II и III квадрантам. В том случае, когда знаки C и D различны и параметр θ задан во II или IV квадрантах, искомыми величинами ϕ_2 будут значения, соответствующие I и IV квадрантам.

Схема пользования дана на номограмме. Для того чтобы определить величину ϕ_2 по заданным значениям θ , C и D , нужно в пересечении с прямой, соединяющей величины θ и C , найти отметку вспомогательной шкалы I и соединить эту отметку с заданным значением D . Искомые значения ϕ_2 найдутся в пересечении с ответной шкалой.

Задаваясь различными значениями $\gamma_{22} = \alpha$ при известных φ_2 и φ_1 (по указанной схеме), находим различные значения $\gamma_{23} = \beta$ (φ_2 и φ_1 нам тоже известны).

Зная, таким образом, значения γ_{23} и γ_{32} и величины γ_{12} , γ_{13} , γ_{14} , γ_{32} , γ_{33} , γ_{34} согласно формуле (52), находим проекции трех звеньев искомого механизма δ_1 , δ_2 , δ_3

$$\begin{aligned} x_1 &= x_1^I - x_1^{II}; & x_2 &= x_2^I - x_2^{II}; & x_3 &= x_3^I - x_3^{II} \\ y_1 &= y_1^I - y_1^{II}; & y_2 &= y_2^I - y_2^{II}; & y_3 &= y_3^I - y_3^{II} \end{aligned}$$

в зависимости от величин γ_{12} , γ_{13} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} , γ_{34} по схеме 3 при помощи таблицы I.

Схема 3

Векторы	δ_1		$\delta_2 = \Delta_4$		δ_3	
Величины	x_1^I, y_1^I	x_1^{II}, y_1^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	γ_{23}, γ_{32}	γ_{23}, γ_{32}	γ_{12}, γ_{33}	γ_{13}, γ_{32}	γ_{12}, γ_{33}	γ_{13}, γ_{32}

Зная проекции трех звеньев: x_1, y_1 — кривошипа, x_2, y_2 — шатуна и x_3, y_3 — коромысла, определяем проекции x_0 и y_0 стойки по формулам (57).

По известным значениям x_0, y_0 ; x_1, y_1 ; x_2, y_2 ; x_3, y_3 ; по номограмме № 6 определяем размеры r_0, r_1, r_2, r_3 звеньев искомого механизма и по номограмме № 7 — углы $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ в начальном его положении, аналогично тому, как это было сделано для вспомогательного механизма.

Пример 8. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, у которого при заданных положениях кривошипа $\gamma_{12} = 60^\circ$, $\gamma_{13} = 120^\circ$, $\gamma_{14} = 180^\circ$, отсчитанных от некоторого начального положения механизма, коромысло будет занимать положения $\gamma_{32} = 20^\circ$, $\gamma_{33} = 45^\circ$, $\gamma_{34} = 50^\circ$. В соответствии со схемой 2

Таблица 8

Векторы	Δ_2		Δ_3		Δ_4	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}	x_4^I, y_4^I	x_4^{II}, y_4^{II}
Зависят от	$\gamma_{13} = 120^\circ$ $\gamma_{34} = 50^\circ$	$\gamma_{14} = 180^\circ$ $\gamma_{33} = 45^\circ$	$\gamma_{12} = 60^\circ$ $\gamma_{34} = 50^\circ$	$\gamma_{14} = 180^\circ$ $\gamma_{33} = 20^\circ$	$\gamma_{12} = 60^\circ$ $\gamma_{33} = 45^\circ$	$\gamma_{13} = 120^\circ$ $\gamma_{32} = 20^\circ$

По таблице I (см. приложение) найдем

$$\begin{aligned} x_2^I &= -1,127596; & x_2^{II} &= -0,414214; \\ y_2^I &= -1,458421; & y_2^{II} &= -1,414214; \\ x_3^I &= -1,484808; & x_3^{II} &= -0,879386; \\ y_3^I &= -0,692376; & y_3^{II} &= -0,684040; \\ x_4^I &= -1,465926; & x_4^{II} &= -1,205737; \\ y_4^I &= -0,607206; & y_4^{II} &= -0,565257. \end{aligned}$$

Далее из условия (55) находим

$$\begin{aligned} x_2 &= -0,7134; & y_2 &= -0,04421; \\ x_3 &= -0,6054; & y_3 &= -0,00834; \\ x_4 &= -0,2602; & y_4 &= -0,04195. \end{aligned}$$

Из условия (69) определяем величины x_1 и y_1

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 - x_3 + x_4 = -0,3681, \\ y_1 &= y_2 - y_3 + y_4 = -0,0778. \end{aligned}$$

По известным значениям x_k и y_k ($k=1, 2, 3, 4$), пользуясь номограммой № 6, определим размеры звеньев вспомогательного механизма r_k ($k=1, 2, 3, 4$) и по номограмме № 7 найдем величины φ_k ($k=1, 2, 3, 4$)¹, определяющие начальное положение вспомогательного механизма:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,376; & \varphi_1 &= 191^\circ 40'; \\ r_2 &= 0,715; & \varphi_2 &= 183^\circ 30'; \\ r_3 &= 0,605; & \varphi_3 &= 180^\circ 45'; \\ r_4 &= 0,265; & \varphi_4 &= 189^\circ 00'. \end{aligned} \quad (83)$$

Если определить величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3, 4$) по формулам (50) и (51), то найдем

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,376; & \varphi_1 &= 191^\circ 56' 10''; \\ r_2 &= 0,714; & \varphi_2 &= 183^\circ 32' 45''; \\ r_3 &= 0,605; & \varphi_3 &= 180^\circ 47' 20''; \\ r_4 &= 0,263; & \varphi_4 &= 189^\circ 09' 30''. \end{aligned} \quad (84)$$

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает, что величина ошибки при работе по номограммам № 6 и 7 не превосходит 1%. Так, например величина r_4 определена с ошибкой 0,76%, а величина φ_1 с ошибкой в 0,56%.

Зададимся следующими значениями параметра $\gamma_{22} = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 60^\circ, \dots, 270^\circ, 300^\circ, 330^\circ, 345^\circ, 350^\circ, 355^\circ$.

Пользуясь таблицами квадратов (или двоянной шкалой номограммы № 8), находим квадраты чисел r_k ($k=1, 2, 3, 4$):

$$\begin{aligned} r_1^2 &= 0,1414; \\ r_2^2 &= 0,5112; \\ r_3^2 &= 0,3660; \\ r_4^2 &= 0,0702 \end{aligned}$$

и по формуле (74) определяем величину вспомогательного параметра A

$$A = 0,1414 + 0,5112 + 0,3660 - 0,0702 = 0,9484.$$

Величина A как не зависящая от параметров γ_{22} и γ_{23} вычисляется для каждой задачи лишь один раз. По известным значениям $r_1, r_2, \varphi_1, \varphi_2$, пользуясь номограммой № 9, вычисляем вспомогательную величину B (для всех значений параметра γ_{22}). Например, для $\gamma_{22} = 120^\circ$, $\varphi_1 = 111^\circ 50'$ и $B = -0,2$.

Определяя разность $B - A = -1,1484$ по номограмме № 10, находим, что $C = -0,953$. Так как величина C не вышла за пределы $-2,336 \leq C \leq +2,336$, то, следовательно, выполняется необходимое условие существования решения и, следовательно, необходимо продолжить расчет. По номограмме № 11 находим, что вспомогательная величина $D = 0,641$ и по номограмме № 12 находим величину $E = 0,663$. Пользуясь номограммой № 14, находим величину радикала $\sqrt{D^2 + E^2} = 0,922$ и, сравнивая с величиной $C = -0,953$, находим, что $|C| > |\sqrt{D^2 + E^2}|$, и следовательно, для параметра $\gamma_{22} = 120^\circ$ задача решения не имеет, так как не выполняется условие (82).

Аналогичный расчет делаем для всех заданных значений γ_{22} .

Например, для значения $\gamma_{22} = 330^\circ$, находим, что

$$\varphi_1 = 330^\circ + 183^\circ 30' - 191^\circ 40' = 321^\circ 50'.$$

Величина A уже определена выше. По номограммам № 9, 10, 11, 12 находим вспомогательные величины B, C, D и E : $B = 0,418$; $B - A = -0,5304$; $C = -0,425$; $D = -0,188$; $E = -0,441$. Определяя по номограмме № 14 величину радикала

$$\sqrt{D^2 + E^2} = 0,47$$

¹ Методика пользования номограммами № 6 и 7 указана в гл. V.

и сравнивая с величиной $|C|$, устанавливаем, что необходимое и достаточное условие (82) существования решения выполняется. Продолжаем расчет.

По номограмме № 14 находим, что $\theta = 245^\circ 50'$, и по номограмме № 15 определяем два значения параметра ϕ_2

$$\phi_2^I = 204^\circ 20' \quad \text{и} \quad \phi_2^{II} = 155^\circ 40'.$$

В соответствии с формулой

$$\beta = \phi_2 - \phi_1 - \varphi_3 - \theta,$$

где $\beta = \gamma_{23}$, находим

$$\gamma_{23}^I = -30^\circ 35' \quad \text{и} \quad \gamma_{23}^{II} = -79^\circ 15'$$

или, что то же самое,

$$\gamma_{23}^I = 329^\circ 25' \quad \text{и} \quad \gamma_{23}^{II} = 280^\circ 45'.$$

Отрицательные углы γ_{23}^I и γ_{23}^{II} заменяются соответствующими им положительными величинами, так как таблица I рассчитана только для положительных значений угла.

Если определить величины γ_{23}^I и γ_{23}^{II} по формуле (66), то найдем

$$\gamma_{23}^I = 328^\circ 30' \quad \text{и} \quad \gamma_{23}^{II} = 278^\circ 50'.$$

Сравнение номографического результата с аналитическим подсчетом показывает, что, решая уравнение совместности при помощи номограмм, мы допускаем ошибку в пределах $0,5-1^\circ$.

Зная значения параметров γ_{12} , γ_{13} , γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} , определяем величину x_1 , y_1 и x_3 , y_3 согласно формулам (47), причем, так как каждому значению γ_{23} соответствуют два значения γ_{23} , то, следовательно, находим два механизма, удовлетворяющих условиям поставленной задачи.

В соответствии со схемой 3 для значений γ_{12} , γ_{13} , γ_{22} , γ_{23}^I , γ_{32} , γ_{33}

Таблица 9

Векторы	δ_1		$\delta_2 = \Delta_4$		δ_3	
Величины	x_1^I, y_1^I	x_1^{II}, y_1^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	$\gamma_{12} = 330^\circ$	$\gamma_{23}^I = 329^\circ 25'$	$\gamma_{12} = 60^\circ$	$\gamma_{13} = 120^\circ$	$\gamma_{12} = 60^\circ$	$\gamma_{13} = 120^\circ$
	$\gamma_{33} = 45^\circ$	$\gamma_{32} = 20^\circ$	$\gamma_{33} = 45^\circ$	$\gamma_{32} = 20^\circ$	$\gamma_{23}^I = 329^\circ 25'$	$\gamma_{23} = 330^\circ$

По таблице I (см. приложение) найдем

$$\begin{aligned} x_1^I &= -0,607206; & x_3^I &= -0,500000; \\ y_1^I &= 0,051712; & y_3^I &= 0,133975; \\ x_1^{II} &= -0,820910; & x_3^{II} &= -0,366025; \\ y_1^{II} &= -0,015668; & y_3^{II} &= 0,633975. \end{aligned}$$

При этом значения параметра γ_{23}^I в соответствии с данными округляем по таблице до целых градусов.

Далее, из условий (55) для значений γ_{12} , γ_{13} , γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} находим

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,2137; & y_1 &= 0,0674; \\ x_3 &= -0,1339; & y_3 &= -0,5000. \end{aligned}$$

Величины x_2 и y_2 нам известны, так как $\delta_2 = \Delta_4$

$$x_2 = -0,2602; \quad y_2 = -0,0419.$$

Из условия (57) определяем величины x_0 и y_0

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 - x_2 - x_3 = 0,3400; \\ y_0 &= y_1 - y_2 - y_3 = -0,3907. \end{aligned}$$

Пользуясь номограммами № 6 и 7, находим размеры r'_k и начальные положения φ_k звеньев проектируемого механизма

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,519; & \varphi_0 &= 311^\circ 40'; \\ r_1 &= 0,225; & \varphi_1 &= 17^\circ 30'; \\ r_2 &= 0,265; & \varphi_2 &= 189^\circ 00'; \\ r_3 &= 0,520; & \varphi_3 &= 255^\circ 00', \end{aligned}$$

где r_0 — стойка, r_2 — кривошип, r_2 — шатун, r_3 — коромысло.

Если определить величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$) для точных значений γ_{23}^I и γ_{23}^{II} по формулам (47), то найдем

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,5178; & \varphi_0 &= 311^\circ 01'; \\ r_1 &= 0,2241; & \varphi_1 &= 17^\circ 30'; \\ r_2 &= 0,2635; & \varphi_2 &= 189^\circ 10'; \\ r_3 &= 0,5176; & \varphi_3 &= 255^\circ 00'. \end{aligned}$$

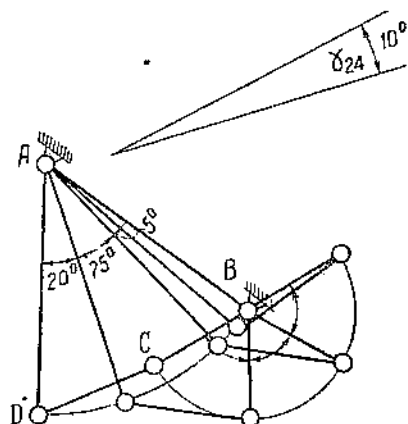


Рис. 24.

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает, что, работая при помощи номограмм и таблиц, мы допускаем ошибку в пределах 0,5—1%.

Найденный механизм изображен на рис. 24. Проведя аналогичный расчет для всех заданных значений γ_{23} , установим область существования решений и найдем всю совокупность механизмов, удовлетворяющих поставленным условиям. На рис. 25 дан график зависимости параметров γ_{23} и γ_{22} .

Так как каждому значению γ_{22} соответствуют два значения γ_{23} , то кривые $\gamma_{23} = f(\gamma_{22})$ имеют соответствующие пометки I и II.

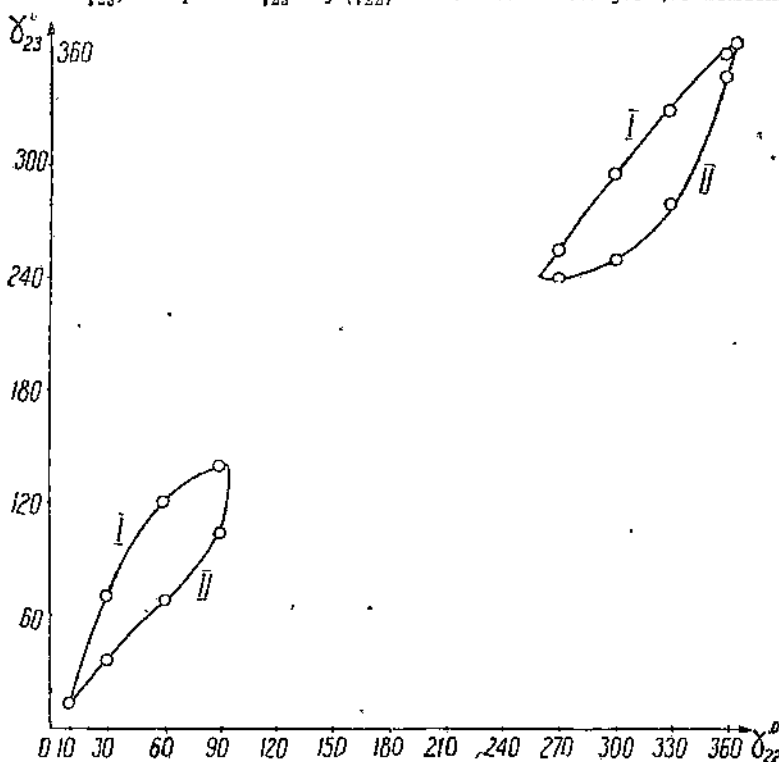


Рис. 25.

Из графика рис. 25 видно, что поставленная задача не имеет решений в интервалах γ_{22} от 0° до 10° и от 95° до 260° и имеет решения в интервалах

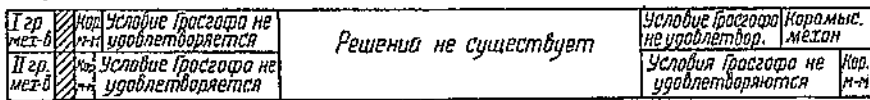


Рис. 26.

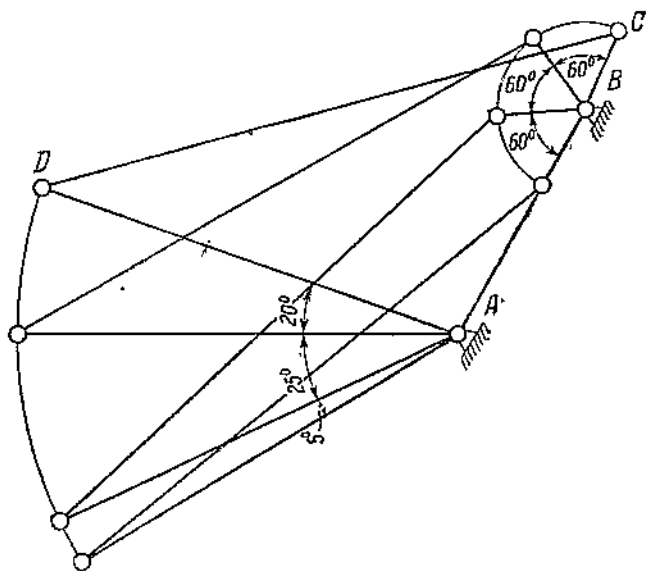


Рис. 27.

10° — 95° и 260° — 360° Так как практический интерес в большинстве случаев могут иметь механизмы, удовлетворяющие условию Грасгофа, т. е. обладающие кривошипом, то естественно из всей совокупности механизмов, удовлетворяющих условиям задачи, выделить эти механизмы. При задании значений параметров γ_{22}

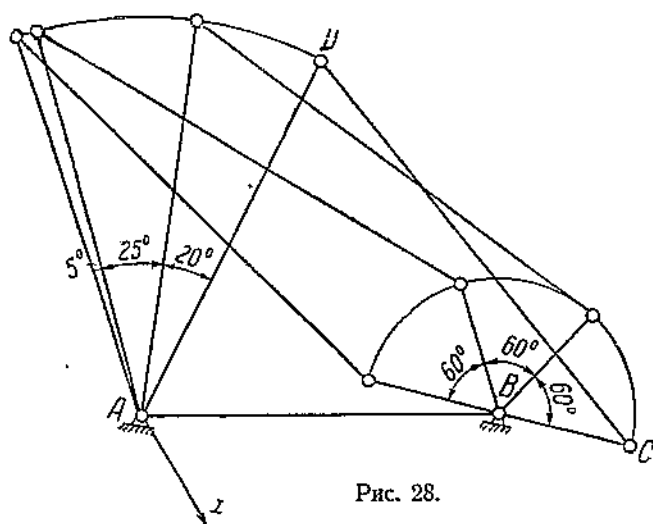


Рис. 28.

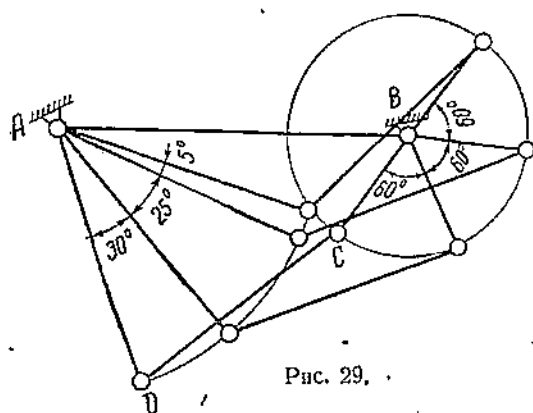


Рис. 29.

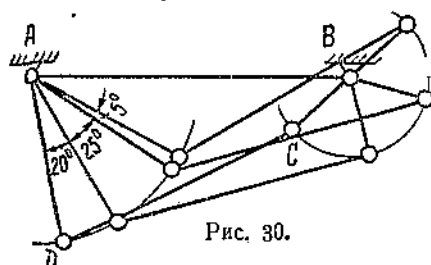


Рис. 30.

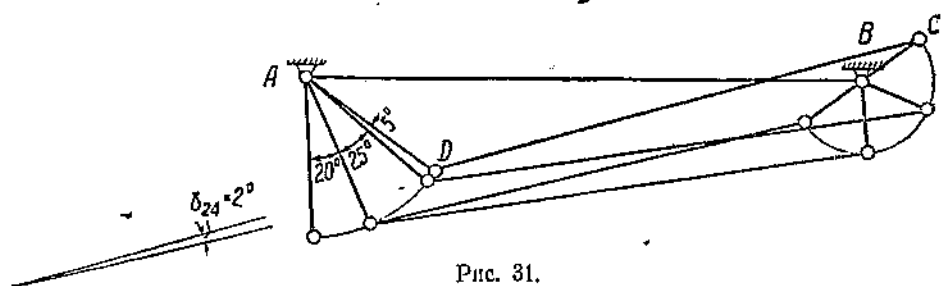


Рис. 31.

следует иметь в виду их геометрический смысл — угол поворота шатуна. На рис. 26 даны графики размеров звеньев r_k ($k=0, 1, 2, 3$) в функции параметра γ_{22} и отмечены участки, в которых найденные механизмы удовлетворяют условию Грасгофа и дают коромысловые механизмы, и участки, в которых условие Грасгофа не удовлетворяется. Участки, в которых решения не существуют, выделены особо.

В приводимой таблице дано еще несколько механизмов, удовлетворяющих заданным положениям коромысла и кривошипа и условию Грасгофа (рис. 27 — 31).

Таблица 10

№ пп.	Рис. №	γ_{22}^0	γ_{23}^0	δ_0		δ_1		δ_2		δ_3	
				r_0	φ_0	r_1	φ_1	r_2	φ_2	r_3	φ_3
1	27	15°	28°48	0,1130	54°30	0,0371	238°15	0,2635	189°10	0,1931	155°00
2	28	15°	21°22	0,192	60°07	0,0719	226°45	0,2635	189°10	0,2113	122°57
3	29	345°	344°52	0,369	332°46	0,112	25°00	0,2635	189°10	0,261	262°30
4	30	350°	350°10	0,326	342°45	0,0754	27°30	0,2635	189°10	0,174	265°0
5	31	355°	355°20	0,290	354°48	0,0377	30°0	0,2635	189°10	0,0872	267°30

Полученные результаты позволяют считать предлагаемую практическую схему решения задачи с применением номограмм весьма целесообразной.

В тех случаях, когда необходима большая точность, выбрав описанным методом необходимый механизм, целесообразно сделать для него точный аналитический расчет.

ГЛАВА VIII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО ЧЕТЫРЕМ ЗАДАНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ УГЛА ДАВЛЕНИЯ

Образует из звеньев механизма замкнутый векторный контур и назовем углом давления θ угол между направлением вектора шатуна AB и коромысла BC (рис. 32)

$$\theta_k = \arg(-\delta_{2k}) - \arg \delta_{2k},$$

индекс k соответствует некоторому k -му положению механизма.

При таком способе отсчета для некоторых схем механизмов углы θ будут больше 180° . В этих случаях изменение углов θ достаточно задавать значениями $\theta_1 - \pi$, совпадающими с обычными углами давления. Для произвольного k -того положения механизма

$$\theta_k = \varphi_{3k} - \varphi_{2k}.$$

Так как $\gamma_{2k} = \varphi_{2k} - \varphi_{21}$, $\gamma_{3k} = \varphi_{3k} - \varphi_{31}$, то, воспользовавшись значением $\theta_1 = \varphi_{31} - \varphi_{21}$ для начального положения механизма, получим

$$\gamma_{2k} = \gamma_{3k} + \theta_1 - \theta_k = \gamma_{3k} + \gamma_{0k} \quad (k=2, 3, 4), \quad (85)$$

где γ_{0k} — углы, определяющие приращения угла θ

$$\gamma_{0k} = \theta_1 - \theta_k \quad (k=2, 3, 4). \quad (85')$$

Исключая из уравнения совместности (61) углы γ_{2k} , найдем

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{32}u_{02} & u_{32} \\ 1 & u_{13} & u_{33}u_{03} & u_{33} \\ 1 & u_{14} & u_{34}u_{04} & u_{34} \end{vmatrix} = 0,$$

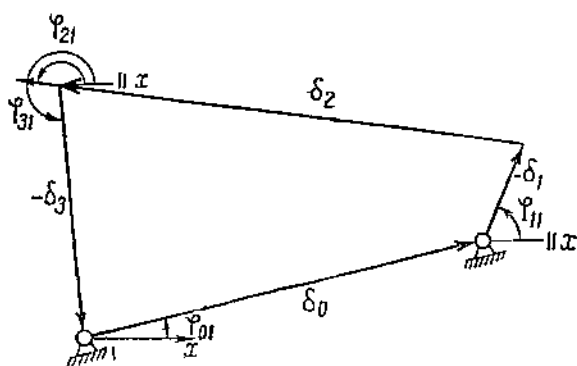


Рис. 32.

где $u_{0k} = e^{i\gamma_{0k}}$. При решении уравнения совместности принимаем за неизвестные углы γ_{13} и γ_{14} и разлагаем определитель D по элементам второго столбца

$$D = \Delta_1 - \Delta_2 u_{12} + \Delta_3 u_{13} - \Delta_4 u_{14} = 0, \quad (86)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= u_{23}u_{34} + u_{22}u_{33} + u_{24}u_{32} - u_{23}u_{32} - u_{21}u_{33} - u_{22}u_{34}, \\ \Delta_2 &= u_{23}u_{34} - u_{22}u_{33} + u_{33} + u_{24} - u_{23} - u_{34}, \\ \Delta_3 &= u_{22}u_{34} - u_{24}u_{32} + u_{24} + u_{32} - u_{22} - u_{34}, \\ \Delta_4 &= u_{23}u_{33} - u_{23}u_{32} + u_{23} + u_{32} - u_{22} - u_{33}. \end{aligned} \right\} \quad (87)$$

Для вычисления имеем: $\Delta_j = x_j + iy_j$.

Воспользовавшись найденным ранее решением уравнения (62), получим для рассматриваемого случая

$$\cos(\gamma_{13} + \varphi_3 - \varphi_0) = \frac{r_4^2 - r_0^2 - r_3^2}{2r_0r_3}, \quad (88)$$

где

$$r_j = \text{mod } \Delta_j, \quad \varphi_j = \arg \Delta_j \text{ и } \Delta_0 = \Delta_1 - \Delta_2 u_{12}.$$

После определения γ_{13} искомым механизм строится по уравнению

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 = 0,$$

в котором

$$\left. \begin{aligned} \delta_0 &= u_{22}u_{33} + u_{13}u_{32} + u_{12}u_{23} - u_{13}u_{22} - u_{23}u_{32} - u_{12}u_{33}, \\ \delta_1 &= u_{22}u_{33} - u_{23}u_{32} + u_{23} + u_{32} - u_{22} - u_{33}, \\ \delta_2 &= u_{12}u_{33} - u_{13}u_{32} + u_{13} + u_{22} - u_{12} - u_{33}, \\ \delta_3 &= u_{12}u_{23} - u_{13}u_{22} + u_{13} + u_{22} - u_{12} - u_{23}. \end{aligned} \right\} \quad (89)$$

В формулах (87) и (89) величина $u_{2k} = e^{i(\gamma_{2k} + \gamma_{0k})}$. Произволом в выборе γ_{12} можно воспользоваться для получения допустимого или наперед заданного начального значения угла θ_1 . Угол θ_1 определяется углом между векторами δ_2 и $-\delta_3$. Записываем значения δ_2 и $-\delta_3$ в такой форме

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i \left(\frac{\gamma_{12} + \gamma_{32}}{2} \right)} - \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{33}}{2} e^{i \left(\frac{\gamma_{12} + \gamma_{31}}{2} \right)}, \\ \delta_3 &= \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{23}}{2} e^{i \left(\frac{\gamma_{12} + \gamma_{23}}{2} \right)} - \sin \frac{\gamma_{13}}{2} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i \left(\frac{\gamma_{12} + \gamma_{21}}{2} \right)}. \end{aligned}$$

Вычисляя по формуле (88) значения γ_{13} , соответствующие различным задаваемым значениям γ_{12} , и подставляя определяемые таким образом пары значений γ_{12} и γ_{13} в формулы для δ_2 и δ_3 , находим соответствующие частные значения аргументов этих комплексных чисел, разность которых дает значение угла θ_1 .

$$\arg(-\delta_3) - \arg \delta_2 = \theta_1. \quad (90)$$

Останавливаемся на тех значениях γ_{12} и γ_{13} , при которых угол θ близок к заданному, после чего вычисляем модули и аргументы комплексных чисел δ_j , определяющих искомым механизм в начальном его положении.

Пусть для построения механизма заданы углы поворота коромысла γ_{32} , γ_{33} , γ_{34} и соответствующие им приращения угла давления γ_{01} , γ_{02} , γ_{03} . Так как по (85)

$$\gamma_{2k} = \gamma_{3k} + \gamma_{0k},$$

то заданные величины определяют углы γ_{22} , γ_{23} , γ_{24} поворота шатуна искомого механизма, отчитываемые от некоторого начального положения этого звена. Следовательно, для решения рассматриваемой задачи можно воспользоваться всеми формулами, таблицами и номограммами, разработанными в VI главе, считая, что механизм строится по заданным углам γ_{32} , γ_{33} , γ_{34} и γ_{22} , γ_{23} , γ_{24} , из уравнений совместности определяются углы γ_{13} и γ_{14} , а свободным параметром является угол γ_{12} .

В этом случае проекции коэффициентов $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ уравнения совместности (86) определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \cos(\gamma_{23} + \gamma_{34}) - \cos \gamma_{23} - \cos \gamma_{34} - \\ &\quad - [\cos(\gamma_{24} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{24} - \cos \gamma_{33}] = x_2^I - x_2^{II}; \\ y_2 &= \sin(\gamma_{23} + \gamma_{34}) - \sin \gamma_{23} - \sin \gamma_{34} - \\ &\quad - [\sin(\gamma_{24} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{24} - \sin \gamma_{33}] = y_2^I - y_2^{II}; \\ x_3 &= \cos(\gamma_{22} + \gamma_{34}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{34} - \\ &\quad - [\cos(\gamma_{24} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{24} - \cos \gamma_{32}] = x_3^I - x_3^{II}; \\ y_3 &= \sin(\gamma_{22} + \gamma_{34}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{34} - \\ &\quad - [\sin(\gamma_{24} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{24} - \sin \gamma_{32}] = y_3^I - y_3^{II}; \\ x_4 &= \cos(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{33} - \\ &\quad - [\cos(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{23} - \cos \gamma_{32}] = x_4^I - x_4^{II}; \\ y_4 &= \sin(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{33} - \\ &\quad - [\sin(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{23} - \sin \gamma_{32}] = y_4^I - y_4^{II}. \end{aligned} \right\} \quad (91)$$

Зависимость проекций векторов $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ от параметров $\gamma_{22}, \gamma_{23}, \gamma_{24}, \gamma_{32}, \gamma_{33}, \gamma_{34}$ устанавливается схемой 4.

Схема 4

Векторы	Δ_2		Δ_3		Δ_4	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}	x_4^I, y_4^I	x_4^{II}, y_4^{II}
Зависят от	γ_{23}, γ_{34}	γ_{24}, γ_{33}	γ_{22}, γ_{34}	γ_{24}, γ_{32}	γ_{22}, γ_{33}	γ_{22}, γ_{32}

Величины x_1 и y_1 определяются из условий (69).

Зная величины x_k, y_k ($k=1, 2, 3, 4$), при помощи номограмм № 6 и 7 определяем величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3, 4$).

Введя обозначения

$$A = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2, \quad (92)$$

$$B = 2r_1 r_2 \cos(\gamma_{12} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (93)$$

$$C = \frac{B - A}{2r_1} \quad (94)$$

$$D = r_1 - r_2 \cos(\gamma_{12} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (95)$$

$$E = r_2 \sin(\gamma_{12} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (96)$$

$$\theta = \arg \operatorname{tg} \frac{E}{D}, \quad (97)$$

приведем уравнение совместности (73) к виду

$$\cos(\gamma_{13} + \varphi_3 - \varphi_1 + \theta) = \frac{C}{D} \cos \theta, \quad (98)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \cos(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{33} - \\ &\quad - [\cos(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{23} - \cos \gamma_{32}] = x_1^I - x_1^{II} \\ y_1 &= \sin(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{33} - \\ &\quad - [\sin(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{23} - \sin \gamma_{32}] = y_1^I - y_1^{II} \\ x_2 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{33} - \\ &\quad - [\cos(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{13} - \cos \gamma_{32}] = x_2^I - x_2^{II} \\ y_2 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{33} - \\ &\quad - [\sin(\gamma_{13} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{13} - \sin \gamma_{32}] = y_2^I - y_2^{II} \\ x_3 &= \cos(\gamma_{12} + \gamma_{23}) - \cos \gamma_{12} - \cos \gamma_{23} - \\ &\quad - [\cos(\gamma_{13} + \gamma_{22}) - \cos \gamma_{13} - \cos \gamma_{22}] = x_3^I - x_3^{II} \\ y_3 &= \sin(\gamma_{12} + \gamma_{23}) - \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{23} - \\ &\quad - [\sin(\gamma_{13} + \gamma_{22}) - \sin \gamma_{13} - \sin \gamma_{22}] = y_3^I - y_3^{II} \end{aligned} \right\} \quad (99)$$

Отметим при этом, что $\delta_1 = \Delta_1$ и, следовательно, величины x_1, y_1, r_1 и φ_1 нам уже известны.

Составляющие x_k^I, y_k^I и x_k^{II}, y_k^{II} величин x_k и y_k находим по таблице I согласно схеме 5.

Схема 5

Векторы	δ_2		δ_3	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	γ_{12}, γ_{23}	γ_{12}, γ_{32}	γ_{12}, γ_{23}	γ_{12}, γ_{32}

Уравнения (93), (94), (95), (96), (97), (98) разрешены соответственно на номограммах № 9, 10, 11, 12, 14, 15¹. При этом значению α соответствует параметр γ_{12} и значению β — параметр γ_{13} .

Задаваясь различными значениями параметра $\gamma_{12} = \alpha (0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, \dots, 300^\circ)$ и определив величину A при помощи таблиц B по номограмме № 9 и C по номограмме № 10, установим, выполняется ли необходимое условие существования решения рассматриваемой задачи, и в том случае, когда решение существует, находим величину C .

Далее, пользуясь номограммами № 11, 12 и 14, определяем вспомогательные величины D, E и θ . Зная величины D и E , определим по номограмме № 13 величину радикала $\sqrt{D^2 + E^2}$ и по формуле (82)

$$|C| \leq \sqrt{D^2 + E^2}$$

установим, существует ли решение задачи для заданного значения γ_{12} , и лишь тогда продолжим расчет.

По номограмме № 15, зная величины C, D и θ , найдем два значения величины ϕ_2 , где

$$\phi_2 = \gamma_{13} + \varphi_3 - \varphi_1 + \theta.$$

Зная величины φ_1, φ_3 и θ из условий

$$\begin{aligned} \gamma_{12}^I &= \phi_2^I - \varphi_3 + \varphi_1 - \theta, \\ \gamma_{12}^{II} &= \phi_2^{II} - \varphi_3 + \varphi_1 - \theta, \end{aligned}$$

определим значения искомого параметра γ_{13} .

По известным величинам $\gamma_{12}, \gamma_{13}, \gamma_{22}, \gamma_{23}$ и γ_{32}, γ_{33} , согласно формулам (99), определяем компоненты векторов $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ и, согласно условию (57), найдем величины x_2, y_2 и x_3, y_3 .

Зная величины $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$, по формуле (57) найдем проекции x_0, y_0 вектора δ_0 .

Пользуясь номограммами № 6 и 7, найдем величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие искомый механизм в начальном положении.

Пример 9. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, у которого при заданных положениях коромысла $\gamma_{32} = 10^\circ, \gamma_{33} = 40^\circ, \gamma_{34} = 60^\circ$ приращение угла давления $\gamma_{0k} = \theta_1 - \theta_k$ принимает заданные значения

$$\gamma_{02} = 15^\circ; \gamma_{03} = -10^\circ \text{ и } \gamma_{04} = -30^\circ.$$

По заданным значениям параметров $\gamma_{32}, \gamma_{33}, \gamma_{34}$ и $\gamma_{02}, \gamma_{03}, \gamma_{04}$ по формуле (85) находим

$$\begin{aligned} \gamma_{22} &= \gamma_{32} + \gamma_{02} = 25^\circ, \\ \gamma_{23} &= \gamma_{33} + \gamma_{03} = 30^\circ, \\ \gamma_{24} &= \gamma_{34} + \gamma_{04} = 30^\circ. \end{aligned}$$

¹ Методика пользования номограммами № 6—15 изложена в гл. VI.

В соответствии со схемой 4 найдем

Таблица 11

Векторы	Δ_2		Δ_3		Δ_4	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}	x_4^I, y_4^I	x_4^{II}, y_4^{II}
Зависят от	$\gamma_{23} = 30^\circ$ $\gamma_{24} = 60^\circ$	$\gamma_{24} = 30^\circ$ $\gamma_{32} = 40^\circ$	$\gamma_{22} = 25^\circ$ $\gamma_{34} = 60^\circ$	$\gamma_{24} = 30^\circ$ $\gamma_{32} = 10^\circ$	$\gamma_{22} = 25^\circ$ $\gamma_{33} = 40^\circ$	$\gamma_{23} = 30^\circ$ $\gamma_{32} = 10^\circ$

По таблице I найдем

$$\begin{aligned}
 x_2^I &= -1,366025; & x_2^{II} &= -1,290049; \\
 y_2^I &= -0,366025; & y_2^{II} &= -0,203095; \\
 x_3^I &= -1,319152; & x_3^{II} &= -1,084789; \\
 y_3^I &= -0,292448; & y_3^{II} &= -0,030860; \\
 x_4^I &= -1,249734; & x_4^{II} &= -1,084789; \\
 y_4^I &= -0,159098; & y_4^{II} &= -0,030860.
 \end{aligned}$$

Далее, согласно условиям (55), находим

$$\begin{aligned}
 x_2 &= -0,0760; & y_2 &= -0,1629; \\
 x_3 &= -0,2344; & y_3 &= -0,2616; \\
 x_4 &= -0,1649; & y_4 &= -0,1282.
 \end{aligned}$$

И из условия (69) определим величины x_1 и y_1 :

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x_2 - x_3 + x_4 = 0,00656; \\
 y_1 &= y_2 - y_3 + y_4 = 0,02958.
 \end{aligned}$$

По известным значениям x_k и y_k ($k=1, 2, 3, 4$), пользуясь номограммами № 6 и 7, найдем r_k и φ_k

$$\begin{aligned}
 r_1 &= 0,0303; & \varphi_1 &= 257^\circ 30'; \\
 r_2 &= 0,181; & \varphi_2 &= 245^\circ 30'; \\
 r_3 &= 0,351; & \varphi_3 &= 228^\circ 20'; \\
 r_4 &= 0,209; & \varphi_4 &= 218^\circ 00'.
 \end{aligned}$$

Если определить величины r_k и φ_k по формулам (50) и (51), то

$$\begin{aligned}
 r_1 &= 0,0303; & \varphi_1 &= 257^\circ 30'; \\
 r_2 &= 0,1798; & \varphi_2 &= 245^\circ 00'; \\
 r_3 &= 0,3513; & \varphi_3 &= 228^\circ 09'; \\
 r_4 &= 0,2089; & \varphi_4 &= 217^\circ 45'.
 \end{aligned}$$

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает, что величина ошибки при работе с номограммами № 6 и 7 не превосходит 1% .

Задаемся значениями параметра γ_{12} и находим для них соответствующие решения. Положим $\gamma_{12} = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 210^\circ, 240^\circ, 270^\circ, 300^\circ, 330^\circ$.

Как показывает исследование, в рассматриваемой задаче решения для γ_{13} существуют при всех значениях γ_{12} . В качестве примера произведем расчет для значения $\gamma_{12} = 60^\circ$.

По известным значениям r_k ($k=1, 2, 3, 4$), согласно формуле (92), находим

$$A = 0,0009 + 0,0328 + 0,1282 - 0,0437 = 0,1132.$$

Зная γ_{12} , r_k и φ_k ($k=1, 2, 3, 4$), по номограммам № 9 и 10 находим B и C

$$\phi_1 = 60^\circ + 245^\circ 30' - 257^\circ 30' = 48^\circ;$$

$$B = 0,00734; B - A = -0,1059;$$

$$C = 0,151.$$

Так как величина C не выходит за пределы $-2,236 \leq C \leq +2,236$, то выполняется необходимое условие существования решения.

По номограммам № 11, 12 и 13 находим, что D , E и $\sqrt{D^2 + E^2}$:

$$D = -0,09, E = 0,135, \sqrt{D^2 + E^2} = 0,164.$$

Так как величина $|C| < |\sqrt{D^2 + E^2}|$, то выполняются необходимые и достаточные условия существования решения.

По номограммам № 14 и 15 находим θ и два значения ϕ_2 (ϕ_2^I и ϕ_2^{II})

$$\theta = 123^\circ 45'.$$

$$\phi_2^I = 201^\circ; \quad \phi_2^{II} = 159^\circ;$$

$$\gamma_{13}^I = 106^\circ 30'; \quad \gamma_{13}^{II} = 64^\circ 30'.$$

Если определить γ_{13}^I и γ_{13}^{II} аналитически, то найдем

$$\gamma_{13}^I = 105^\circ 40'; \quad \gamma_{13}^{II} = 64^\circ 00'.$$

Сравнение номографического и аналитического расчетов показывает, что ошибка не превосходит $10/0$.

Зная значения γ_{12} , γ_{13} , γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} , можем определить искомый механизм согласно формуле (89).

Для значений γ_{12} , γ_{13}^I , γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} согласно схеме 5 имеем

Т а б л и ц а 12

Векторы	δ_2		δ_3	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	$\gamma_{12} = 60^\circ$ $\gamma_{22} = 40^\circ$	$\gamma_{13} = 106^\circ 30'$ $\gamma_{23} = 10^\circ$	$\gamma_{12} = 60^\circ$ $\gamma_{23} = 30^\circ$	$\gamma_{13} = 106^\circ 30'$ $\gamma_{22} = 25^\circ$

По таблице I находим

$$x_2^I = -1,439692; \quad y_2^I = -0,524005;$$

$$x_2^{II} = -1,148607; \quad y_2^{II} = -0,233266;$$

$$x_3^I = -1,366025; \quad y_3^I = -0,366025;$$

$$x_3^{II} = -1,290277; \quad y_3^{II} = -0,62250.$$

Согласно условиям (55) находим

$$x_2 = -0,290985; \quad y_2 = -0,290739;$$

$$x_3 = -0,075748; \quad y_3 = +0,256475.$$

Величины x_1 и y_1 нам уже известны из условия $\delta_1 = \Delta_1$

$$x_1 = -0,164945; \quad y_1 = -0,128238.$$

Из условия (57) определяем величины x_0 и y_0

$$x_0 = x_1 - x_2 + x_3 = 0,0441;$$

$$y_0 = y_1 - y_2 + y_3 = 0,4284.$$

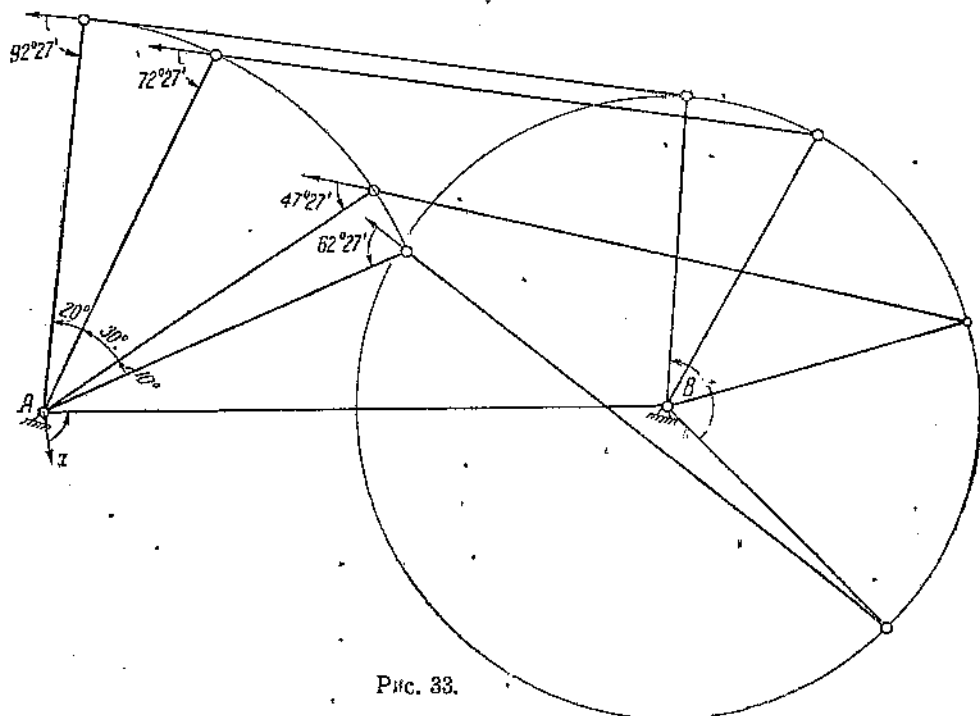


Рис. 33.

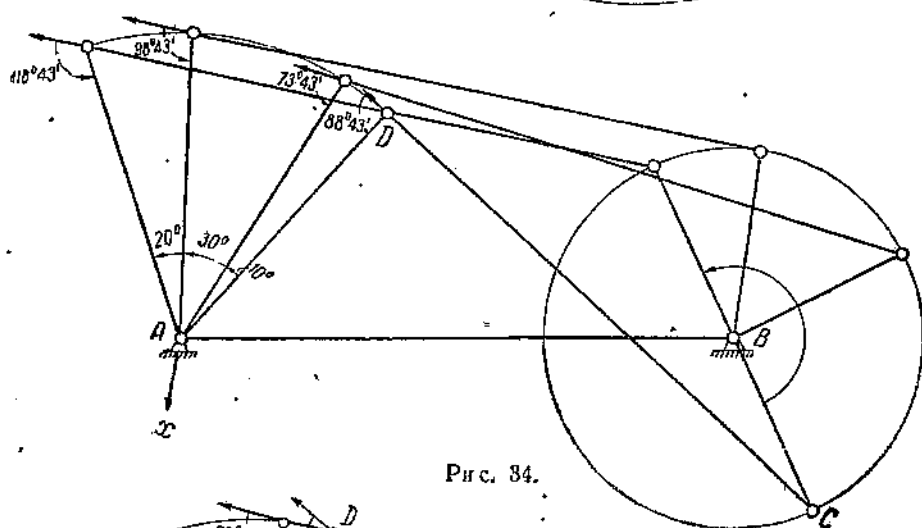


Рис. 34.

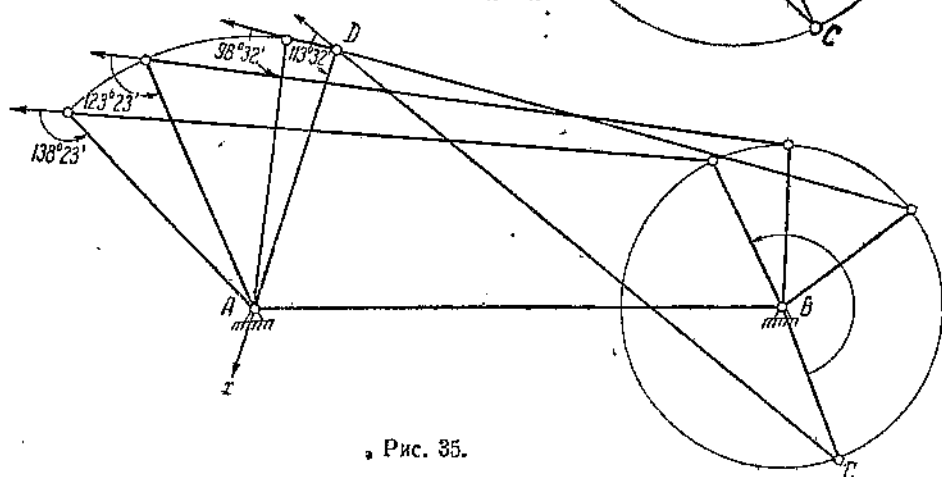


Рис. 35.

Пользуясь номограммами № 6 и 7, находим размеры r_k и начальные положения φ_k звеньев проектируемого механизма

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,421; & \varphi_0 &= 83^\circ 00'; \\ r_1 &= 0,209; & \varphi_1 &= 218^\circ 00'; \\ r_2 &= 0,410; & \varphi_2 &= 225^\circ; \\ r_3 &= 0,267; & \varphi_3 &= 106^\circ 30', \end{aligned}$$

где r_0 — стойка, r_1 — кривошип, r_2 — шатун, r_3 — коромысло.

Если определить величины r_k и φ ($k=0, 1, 2, 3$) аналитически для точных значений γ_{12}^I и γ_{23}^I по формулам (99), то найдем

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,422; & \varphi_0 &= 83^\circ 08'; \\ r_1 &= 0,2089; & \varphi_1 &= 217^\circ 45'; \\ r_2 &= 0,4114; & \varphi_2 &= 224^\circ 58'; \\ r_3 &= 0,2674; & \varphi_3 &= 106^\circ 27'. \end{aligned}$$

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает, что величины ошибки находятся в пределах 1%. Таким образом, точность окончательного результата в общем достаточна для того, чтобы сделать предварительный выбор необходимого механизма.

Найденный механизм показан на рис. 33. Легко видеть, что этот механизм удовлетворяет условию Грасгофа.

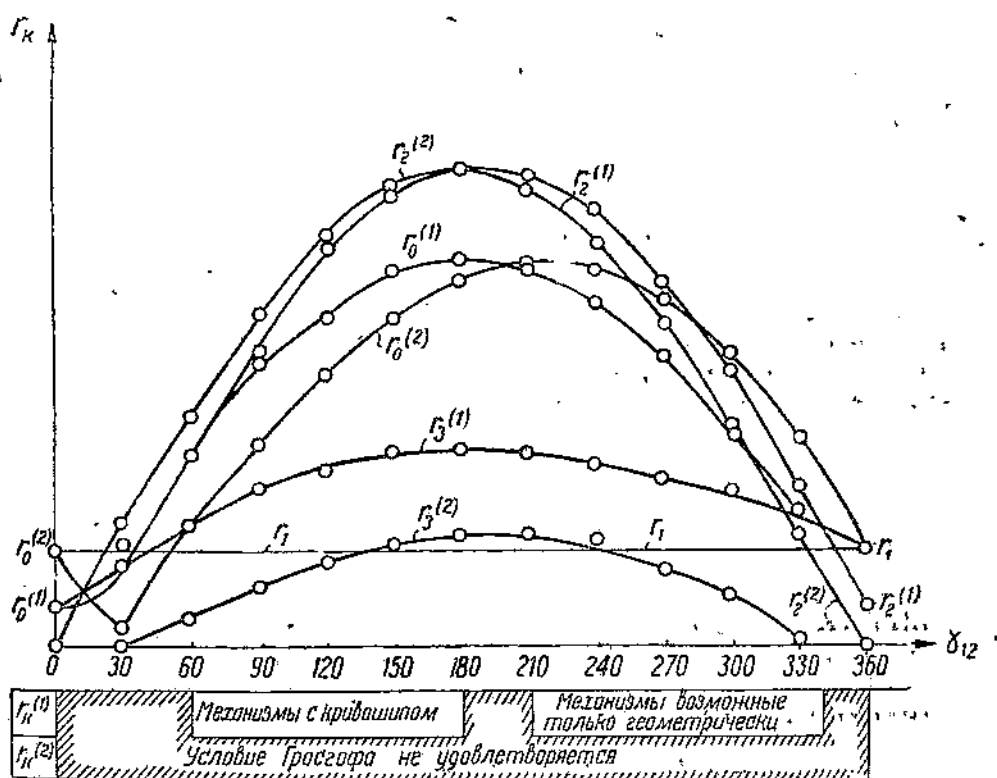
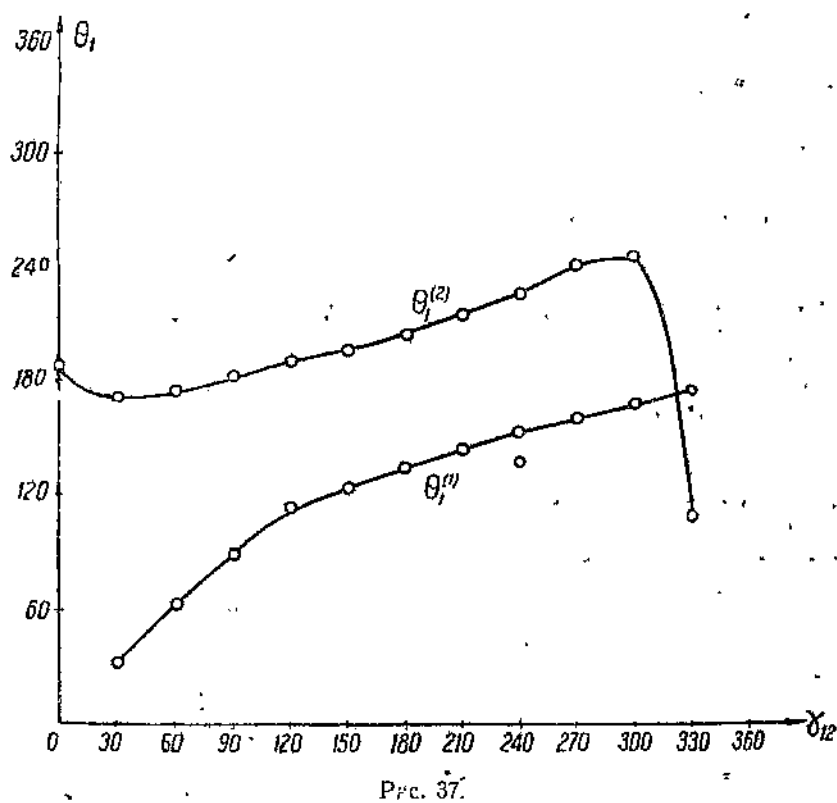
Проведя аналогичный расчет для значений γ_{12}^I , γ_{12}^{II} , γ_{23}^I , γ_{23}^{II} , γ_3 , γ_{32} , установим, что соответствующий этим значениям механизм не удовлетворяет условию Грасгофа.

Ниже приводим еще несколько механизмов (рис. 34, 35, 36), обладающих кривошипом и удовлетворяющих условиям поставленной задачи:

Таблица 13

№ п. п.	№ рис.	γ_{12}	γ_{13}	δ_0		δ_1		δ_2		δ_3	
				r_0	φ_0	r_1	φ_1	r_2	φ_2	r_3	φ_3
1	34	90	142°54'	0,6245	101°17'	0,2089	217°45'	0,6467	238°37'	0,3493	147°20'
2	35	120	175°33'	0,7132	108°30'	0,2089	217°45'	0,8794	248°36'	0,3825	182°08'
3	36	150	204°39'	1,8262	130°21'	0,2089	217°45'	0,9919	270°45'	0,427	213°13'

Так как по условию задачи задавались лишь приращения угла давления для заданных положений коромысла, то для выбора механизма с наилучшей возмож-



ностью передачи движения следует по формуле (90) определить величины углов давления θ_1 в начальном положении для всех найденных механизмов

$$\theta_1 = \varphi_3 + \pi - \varphi_1.$$

Так, для приведенного на рис. 33 механизма $\theta_1 = 106^\circ 27' + 180^\circ - 217^\circ 45' = 62^\circ 27'$ и, следовательно, по формуле (85') $\theta_2 = 47^\circ 27'$, $\theta_3 = 72^\circ 27'$ и $\theta_4 = 92^\circ 27'$.

Наиболее благоприятными с точки зрения величины угла давления будут механизмы, у которых значения углов θ_k ($k=1, 2, 3, 4$) не выходят за пределы $45^\circ \leq \theta_k \leq 135^\circ$.

На рис. 37 дан для рассмотренного примера график зависимости угла давления θ_1 в начальном положении механизма в функции угла поворота кривошипа γ_{12} . На рис. 38 даны графики изменения величины размеров звеньев r_k в функции того же параметра γ_{12} и выделены интервалы изменения γ_{12} , для которых рассматриваемое решение дает: 1) механизмы, не удовлетворяющие условиям Грасгофа, 2) механизмы с кривошипом, 3) геометрически возможные механизмы. Под последними нами понимаются механизмы, которые не могут быть установлены во все заданные по условию положения без нарушения связи между

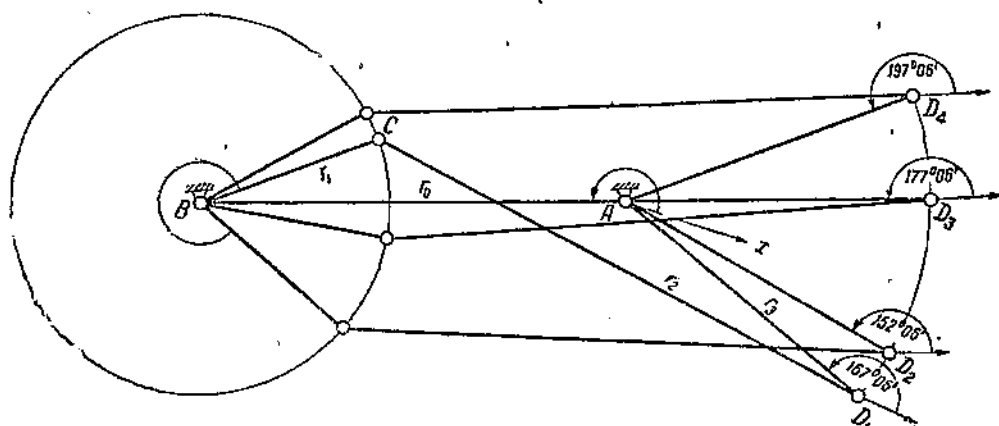


Рис. 39.

звеньями. В качестве примера такой геометрически возможный механизм показан на рис. 39. В нем коромысло AD не может быть переведено из положения AD_3 в положение AD_4 , хотя углы в четырех положениях механизма полностью отвечают условиям поставленной задачи.

ГЛАВА IX

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЗАКСИАЛЬНОГО КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПО ТРЕМ ПОЛОЖЕНИЯМ КРИВОШИПА И ПОЛЗУШКИ

Напишем уравнения замкнутости (7) для трех положений механизма, полагая $k=1, 2, 3$, $r_{41}=1$; опуская сопряженные уравнения, получим

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1, \\ r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{23})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} &= r_{42}, \\ r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{23})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} &= r_{43}, \end{aligned} \right\} \quad (100)$$

где γ_{jk} — углы, определяющие вращение звеньев механизма, а r_{4k} — расстояние ползушки от начала O (рис. 40). Обозначая $z_j = r_j e^{i\gamma_j}$; $u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}$, представим систему в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} z_1 + z_2 + z_3 &= 1, \\ z_1 + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} &= r_{42}, \\ z_1 + z_2 u_{23} + z_3 u_{33} &= r_{43}. \end{aligned} \right\} \quad (101)$$

Решением системы линейных уравнений будет

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\delta_j}{\delta_0},$$

где

$$\left. \begin{aligned} \delta_0 &= u_{22} u_{33} - u_{23} - u_{33} - [u_{23} u_{32} - u_{23} - u_{32}], \\ \delta_1 &= u_{22} (u_{33} - u_{32}) + r_{43} (u_{32} - u_{22}) + r_{42} (u_{23} - u_{33}), \\ \delta_2 &= u_{33} (1 - r_{42}) + r_{42} - [u_{32} (1 - r_{43}) + r_{43}], \\ \delta_3 &= u_{23} (1 - r_{42}) + r_{42} - [u_{22} (1 - r_{43}) + r_{43}]. \end{aligned} \right\} \quad (102)$$

Подставляя значения z_j в первое уравнение системы (101), освобождаясь от знаменателя и перенося все члены в правую часть, получим уравнение

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 = 0, \quad (103)$$

определяющее искомый механизм в начальном его положении, причем за единицу измерений следует принимать

$$\text{mod } \delta_0 = r_{41}.$$

Проекции величин $\delta_0, \delta_2, \delta_3$ на оси координат xoy равны

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \cos(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{33} - [\cos(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{23} - \cos \gamma_{32}] = \\ &= x_0^I - x_0^{II}; \\ y_0 &= \sin(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{33} - [\sin(\gamma_{23} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{23} - \sin \gamma_{32}] = \\ &= y_0^I - y_0^{II}; \end{aligned} \right\} \quad (104)$$

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= (r_{42} - 1)(1 - \cos \gamma_{33}) - [(r_{43} - 1)(1 - \cos \gamma_{32})] = x_2^I - x_2^{II}; \\ y_2 &= -(r_{42} - 1)(\sin \gamma_{33} - [(r_{43} - 1) \sin \gamma_{32}]) = y_2^I - y_2^{II}; \end{aligned} \right\} \quad (105)$$

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= (r_{42} - 1)(1 - \cos \gamma_{23}) - [(r_{43} - 1)(1 - \cos \gamma_{22})] = x_3^I - x_3^{II}; \\ y_3 &= -(r_{42} - 1) \sin \gamma_{23} - [(r_{43} - 1) \sin \gamma_{22}] = y_3^I - y_3^{II}. \end{aligned} \right\} \quad (106)$$

Ввиду однотипности уравнений (104) с уравнениями (54) для вычисления значений x_0^I, x_0^{II} и y_0^I, y_0^{II} воспользуемся таблицей I.

Для определения величин x_k, y_k ($k=2, 3$) необходимо подсчитать значения x , однотипные величинам x_k^I, x_k^{II} , и значения y , однотипные y_k^I, y_k^{II} ,

$$\left. \begin{aligned} x &= (r - 1)(1 - \cos \gamma), \\ y &= -(r - 1) \sin \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (107)$$

Для определения значений x и y следует воспользоваться таблицей II, в которой сделан расчет для величин $1 \leq r \leq 2$ и $0^\circ \leq \gamma \leq 360^\circ$.

Таким образом, по заданным значениям $\gamma_{22}, \gamma_{23}, \gamma_{32}, \gamma_{33}, r_{42}, r_{43}$ при помощи таблиц I и II можно определить величины x_k^I, x_k^{II} и y_k^I, y_k^{II} , пользуясь следующей схемой:

Схема 6

По таблице	I		II			
Векторы	δ_0		δ_2		δ_3	
Величины	x_0^I, y_0^I	x_0^{II}, y_0^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	γ_{22}, γ_{33}	γ_{23}, γ_{32}	r_{42}, γ_{33}	r_{43}, γ_{32}	r_{42}, γ_{23}	r_{43}, γ_{22}

Зная величины

$$x_k^I, x_k^{II} \text{ и } y_k^I, y_k^{II} \quad (k=0, 2, 3),$$

согласно формулам (104) — (106), определим величины

$$\begin{aligned} x_k &= x_k^I - x_k^{II}, \\ y_k &= y_k^I - y_k^{II}. \end{aligned} \quad (108)$$

По известным значениям $x_0, y_0, x_2, y_2, x_3, y_3$, согласно условию замкнутости шарнирного четырехзвенника (103), определим величины x_1 и y_1

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + x_2 - x_3, \\ y_1 &= y_0 + y_2 - y_3. \end{aligned} \quad (109)$$

Зная величины x_k, y_k ($k=0, 1, 2, 3$) по номограмме № 6 найдем величины r_k , определяющие размеры звеньев проектируемого механизма, а по номограмме № 7 найдем величины φ_k , определяющие начальное положение механизма. При этом звено r_0 есть направляющая ползушки, звено r_1 есть неподвижное звено, определяющее центр вращения кривошипа, звено r_2 — кривошип и звено r_3 — шатун.

Величину дезаксиала можно определить по номограмме № 16 согласно формуле

$$a = r_1 \sin(\widehat{r_1, r_0}), \quad (110)$$

где угол $(\widehat{r_1, r_0}) = |\varphi_1 - \varphi_0|$ равен абсолютной величине разности углов φ_1 и φ_0 и не должен быть больше 180° .

В тех случаях, когда разность φ_1 и φ_0 больше 180° , ее нужно уменьшить на 180° . По найденным значениям r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$) строим искомый механизм согласно формуле (103).

Из произвольной точки A под углом φ_0 к оси x выбранной системы координат отложим отрезок $r_0 = AB$; из точки B под углом $\varphi_1 + 180^\circ$ к линии, параллельной Ax , откладываем отрезок $BC = r_1$; из точки C под углом φ_2 к линии, параллельной Ax , отложим отрезок $CD = r_2$, а из точки D под углом $\varphi_3 + 180^\circ$ отрезок $DA = r_3$.

Пример 10. Спроектировать дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм, у которого при заданных относительных перемещениях кривошипа $\gamma_{32} = 40^\circ$, $\gamma_{23} = 80^\circ$ будут выполняться заданные относительные перемещения ползушки $r_{42} = 1,2$, $r_{43} = 1,4$.

Варируя различными значениями γ_{32} и γ_{23} , определяющими относительные перемещения шатуна, подберем интересующий нас механизм, удовлетворяющий условию Грасгофа. Пусть, например, $\gamma_{32} = 10^\circ$ и $\gamma_{23} = 15^\circ$, составляем таблицу, согласно схеме 6:

Таблица 14

По таблице	I		II			
Векторы	δ_0		δ_2	δ_3		
Величины	x_0^I, y_0^I	x_0^{II}, y_0^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}
Зависят от	$\gamma_{22} = 40^\circ$	$\gamma_{23} = 80^\circ$	$r_{42} = 1,2$	$r_{43} = 1,4$	$r_{42} = 1,2$	$r_{43} = 1,4$
	$\gamma_{33} = 15^\circ$	$\gamma_{32} = 10^\circ$	$\gamma_{33} = 15^\circ$	$\gamma_{22} = 10^\circ$	$\gamma_{23} = 80^\circ$	$\gamma_{32} = 40^\circ$

Пользуясь таблицей I, найдем значения x_0^I, x_0^{II} и y_0^I, y_0^{II}

$$\begin{aligned} x_0^I &= -1,158394; & y_0^I &= -0,082455; \\ x_0^{II} &= -1,158456; & y_0^{II} &= -0,158456. \end{aligned}$$

По таблице II найдем значения x_k^I, y_k^I и x_k^{II}, y_k^{II} ($k=2, 3$)

$$\begin{aligned} x_2^I &= 0,006815; & y_2^I &= -0,051764; \\ x_2^{II} &= 0,006077; & y_2^{II} &= -0,069459; \\ x_3^I &= 0,165270; & y_3^I &= -0,196961; \\ x_3^{II} &= 0,093582; & y_3^{II} &= -0,257115. \end{aligned}$$

Так как x_k и y_k определяются из условия

$$\begin{aligned} x_k &= x_k^I - x_k^{II} \text{ и } y_k = y_k^I - y_k^{II}, \text{ то} \\ x_0 &= 0,00006; & y_0 &= 0,0760; \\ x_2 &= 0,00074; & y_2 &= 0,01769; \\ x_3 &= 0,0717; & y_3 &= 0,06015. \end{aligned}$$

Зная x_k и y_k ($k=0, 2, 3$), согласно условию (109) найдем x_1 и y_1

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + x_2 - x_3 = -0,07095; \\ y_1 &= y_0 + y_2 - y_3 = 0,03354. \end{aligned}$$

Зная величины x_k и y_k ($k=0, 1, 2, 3$), по номограмме № 6 установим размеры звеньев проектируемого механизма r_k и по номограмме № 7 величины φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие начальное положение механизма:

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,076; & \varphi_0 &= 90^\circ; \\ r_1 &= 0,0782; & \varphi_1 &= 154^\circ 50'; \\ r_2 &= 0,0176; & \varphi_2 &= 87^\circ 45'; \\ r_3 &= 0,0939; & \varphi_3 &= 40^\circ 00'. \end{aligned}$$

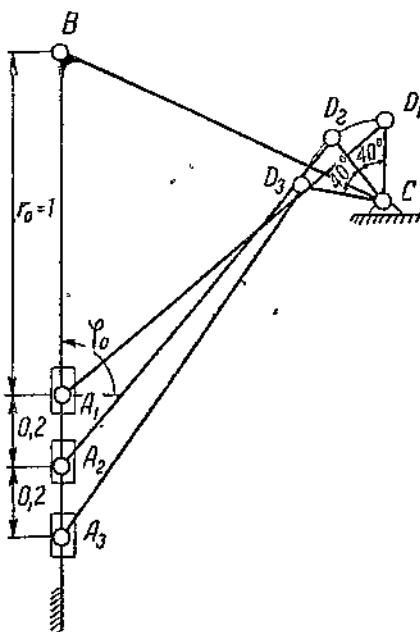


Рис. 40.

Сравнение номографического расчета величин r_k и φ_k с аналитическим расчетом показывает, что величина ошибки по номограммам не превосходит $2^\circ/0$. Найденный механизм показан на рис. 40.

ГЛАВА X

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЗАКСИАЛЬНОГО КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПО ЧЕТЫРЕМ ПОЛОЖЕНИЯМ КРИВОШИПА И ПОЛЗУШКИ

Напишем уравнение замкнутости (7) для четырех положений механизма, полагая $k=1, 2, 3, 4$ и $r_{41}=1$; опуская пока сопряженные уравнения, получим

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1; \\ r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{21})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{31})} &= r_{42}; \\ r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{22})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{32})} &= r_{43}; \\ r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{24})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{34})} &= r_{44}, \end{aligned} \right\} \quad (111)$$

где γ_{jk} — углы, определяющие вращение звеньев механизма, а r_{4k} — расстояние ползушки от начала O (рис. 41). Обозначая $z_j = r_j e^{i\varphi_j}$, $u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}$, представим систему (111) в таком виде

$$\left. \begin{aligned} z_1 + z_2 + z_3 &= 1, \\ z_1 + z_2 u_{21} + z_3 u_{31} &= r_{42}, \\ z_1 + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} &= r_{43}, \\ z_1 + z_2 u_{24} + z_3 u_{34} &= r_{44}, \end{aligned} \right\} \quad (112)$$

Система линейных уравнений (112) относительно неизвестных z_j будет совместна, если ее определитель равен нулю

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ r_{43} & 1 & u_{22} & u_{32} \\ r_{48} & 1 & u_{23} & u_{33} \\ r_{44} & 1 & u_{24} & u_{34} \end{vmatrix} = 0. \quad (113)$$

Уравнение совместности $D=0$, вместе с сопряженным уравнением $\bar{D}=0$, определяет значения двух неизвестных величин. Считая, что положения кривошипа заданы величинами γ_{22} , а соответствующие им положения ползушки — рас-

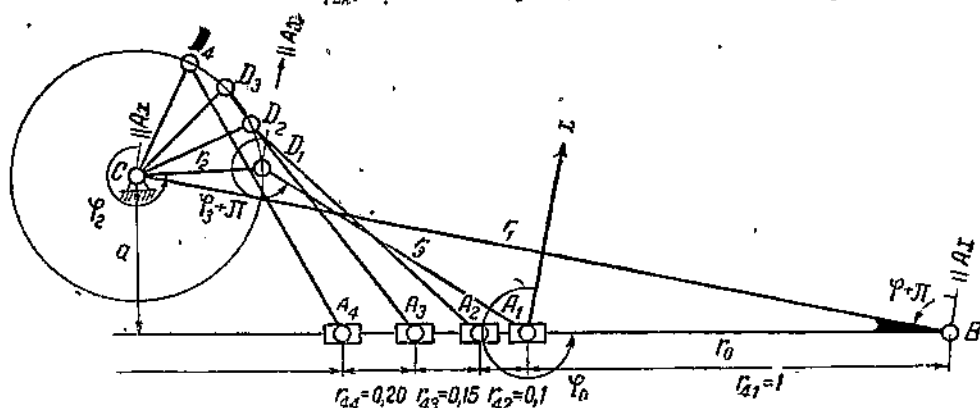


Рис. 41.

стоянием r_{4k} , примем за неизвестные углы γ_{33} и γ_{34} поворота шатуна. Разложим определитель D по элементам четвертого столбца

$$D = \Delta_1 - \Delta_2 u_{32} + \Delta_3 u_{33} - \Delta_4 u_{34} = 0, \quad (114)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= u_{22}(r_{43} - r_{44}) - u_{23}(r_{42} - r_{44}) + u_{24}(r_{43} - r_{43}), \\ \Delta_2 &= u_{24}(1 - r_{43}) + r_{43} - [u_{23}(1 - r_{44}) + r_{44}], \\ \Delta_3 &= u_{24}(1 - r_{42}) + r_{42} - [u_{22}(1 - r_{44}) + r_{44}], \\ \Delta_4 &= u_{23}(1 - r_{42}) + r_{42} - [u_{22}(1 - r_{43}) + r_{43}]. \end{aligned} \right\} \quad (115)$$

Для проверки вычислений, связанных с определением величин Δ_j , справедлива формула (64) главы VII. Уравнение (114) не отличается по форме от уравнения (62) главы VII.

Воспользовавшись решением уравнения (62) и полагая

$$\Delta_0 = \Delta_1 - \Delta_2 u_{32},$$

найдем

$$\cos(\gamma_{33} + \varphi_3 - \varphi_0) = \frac{r_4^2 - r_0^2 - r_3^2}{2r_0r_3} \quad (116)$$

$$\cos(\gamma_{34} + \varphi_4 - \varphi_0) = \frac{r_0^2 + r_4^2 - r_3^2}{2r_0r_4}. \quad (117)$$

Графическое решение уравнения (114) выполняется по схеме, изображенной на рис. 21. Отметим, что все частные решения уравнения (62) полностью справедливы и для уравнения (114).

Считая γ_{32} заданным, а γ_{33} определенным из уравнения совместности (114), находим z_1, z_2, z_3 из первых трех уравнений системы (112) по формулам

$$z_j = (-1)^{j+1} \cdot \frac{\delta_j}{\delta_0} \quad (j=1, 2, 3),$$

где δ_j ($j=0, 1, 2, 3$) определяются по формулам (102).

Для построения искомого механизма достаточно вычислить однотипные определители $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4 = \delta_3, \delta_1, \delta_2$ и решить уравнение совместности (114) относительно γ_{33} .

Отмечая однотипность уравнений, определяющих векторы $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4, \delta_2$ и δ_3 , преобразуем их к виду

$$\delta_k = \Delta_k = (r_{jp} - 1)(1 - e^{i\gamma_{nm}}) - (r_{jq} - 1)(1 - e^{i\gamma_{ni}}),$$

где

$$(k_1 = 2, 3) \text{ и } (k = 2, 3, 4).$$

Отсюда проекции x_k и y_k векторов Δ_k определяются согласно следующим формулам

$$\left. \begin{aligned} x_k &= (r_{jp} - 1)(1 - \cos \gamma_{nm}) - [(r_{jq} - 1)(1 - \cos \gamma_{ni})] = x_k^I - x_k^{II}, \\ y_k &= (r_{jp} - 1) \sin \gamma_{nm} - [(r_{jq} - 1) \sin \gamma_{ni}] = y_k^I - y_k^{II}. \end{aligned} \right\} \quad (118)$$

В силу полной однотипности составляющих x_k^I, y_k^I и x_k^{II}, y_k^{II} достаточно составить расчетную таблицу для вычисления

$$\left. \begin{aligned} x &= (r - 1)(1 - \cos \gamma), \\ y &= -(r - 1) \sin \gamma \end{aligned} \right\} \quad (119)$$

при различных значениях параметров r и γ . Таблица II составлена для (119), где $1 \leq r \leq 2$ и $0^\circ \leq \gamma \leq 360^\circ$.

Пользуясь таблицей II, легко определить компоненты x_k и y_k для коэффициентов $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ уравнения совместности (114) и величин δ_2 и δ_3 определителя механизма (100). При этом согласно (104), (105), (106)

$$x_k = x_k^I - x_k^{II} \text{ и } y_k = y_k^I - y_k^{II}.$$

Величины $x_k^I, y_k^I, x_k^{II}, y_k^{II}$ проекции Δ_k согласно (115) определяются по таблице II в соответствии со следующей схемой:

Схема 7

Векторы	Δ_2		Δ_3		Δ_4	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}	x_4^I, y_4^I	x_4^{II}, y_4^{II}
Зависят от	γ_{24}, r_{43}	γ_{23}, r_{44}	γ_{24}, r_{42}	γ_{23}, r_{44}	γ_{23}, r_{42}	γ_{22}, r_{43}

Величины x_1, y_1 определяем из условия замкнутости (69).

По известным значениям $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; x_4, y_4$ при помощи номограмм № 6 и 7 находим величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3, 4$), определяющие коэффициенты $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ уравнения совместности (114).

Вводя обозначения

$$A = r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 - r_4^2, \quad (120)$$

$$B = 2r_1 r_2 \cos(\gamma_{32} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (121)$$

$$C = \frac{B - A}{2r_3}, \quad (122)$$

$$D = r_1 - r_2 \cos(\gamma_{32} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (123)$$

$$E = r_2 \sin(\gamma_{32} + \varphi_2 - \varphi_1), \quad (124)$$

$$K = \sqrt{D^2 + E^2}, \quad (125)$$

$$\theta = \arctg \frac{E}{D}, \quad (126)$$

сведем уравнение совместности (114) к виду

$$\cos(\gamma_{32} + \varphi_3 - \varphi_1 + \theta) = \frac{C}{D} \cos \theta, \quad (127)$$

причем $\gamma_{32} = \alpha, \gamma_{33} = \beta$.

Уравнения (121), (122), (123), (124), (125), (126) и (127) разрешены соответственно на номограммах № 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, методика пользования которыми уже указана в главе VII.

Задавая различные значения параметра γ_{32} ($0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, \dots, 300^\circ, 330^\circ$), вычисляем величину A и находим по номограмме № 9 величину B и по номограмме № 10 установим, выполняется ли необходимое условие существования решений, и определим величину C для тех значений γ_{32} , для которых эти решения существуют.

Далее, пользуясь номограммами № 11, 12 и 13, определим вспомогательные величины D , E и величину радикала $\sqrt{D^2 + E^2}$. Если необходимое и достаточное условие (82) существования решения выполняется, то продолжаем расчет.

Вводя в номограмму № 15 найденные значения C , D и θ , находим два значения аргумента $\phi_2 = \gamma_{33} + \varphi_3 - \varphi_1 + \theta$, а, следовательно, найдем два значения параметра γ_{33} (γ_{33}^I и γ_{33}^{II}).

По известным значениям параметров γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} и r_{42} , r_{43} найдем компоненты векторов δ_0 , δ_2 , δ_3 проектируемого механизма

$$x_0 = \cos(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{33} = [\cos(\gamma_{22} + \gamma_{32}) - \cos \gamma_{22} - \cos \gamma_{32}] = x_0^I - x_0^{II}; \quad (128)$$

$$y_0 = \sin(\gamma_{22} + \gamma_{33}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{33} = [\sin(\gamma_{22} + \gamma_{32}) - \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{32}] = y_0^I - y_0^{II};$$

$$x_2 = (r_{42} - 1)(1 - \cos \gamma_{33}) - [(r_{43} - 1)(1 - \cos \gamma_{32})] = x_2^I - x_2^{II};$$

$$y_2 = -(r_{42} - 1) \sin \gamma_{33} - [-(r_{43} - 1) \sin \gamma_{32}] = y_2^I - y_2^{II}; \quad (129)$$

$$x_3 = (r_{42} - 1)(1 - \cos \gamma_{23}) - [(r_{43} - 1)(1 - \cos \gamma_{22})] = x_4^I - x_4^{II};$$

$$y_3 = -(r_{42} - 1) \sin \gamma_{23} - [-(r_{43} - 1) \sin \gamma_{22}] = y_4^I - y_4^{II}. \quad (130)$$

Компоненты x_3 , y_3 вектора δ_3 уже известны из формул (97), так как $\delta_3 = \Delta_4$.

Найдя составляющие x_2^I , y_2^I и x_2^{II} , y_2^{II} из таблицы II, определим компоненты x_2 , y_2 вектора δ_2 .

Составляющие x_0^I , y_0^I и x_0^{II} , y_0^{II} а, следовательно, компоненты x_0 , y_0 вектора δ_0 найдутся из таблицы I согласно схеме 8.

Схема 8

По таблице	I		II	
Векторы	δ_0		δ_2	
Величины	x_0^I, y_0^I	x_0^{II}, y_0^{II}	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}
Зависят от	γ_{22}, γ_{33}	γ_{22}, γ_{32}	r_{42}, γ_{33}	r_{43}, γ_{32}

Откуда $x_0 = x_0^I - x_0^{II}$, $y_0 = y_0^I - y_0^{II}$ и $x_2 = x_2^I - x_2^{II}$, $y_2 = y_2^I - y_2^{II}$.

Зная компоненты x_0 , y_0 , x_2 , y_2 , x_3 , y_3 , определим компоненты x_1 , y_1 вектора δ_1 из условия (109).

По известным значениям x_k , y_k ($k=0, 1, 2, 3$) при помощи номограмм № 6 и 7 найдем величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие искомый механизм в начальном положении.

Вектор δ_0 есть направляющая ползушки, вектор δ_1 — неподвижное звено, определяющее положение центра вращения кривошипа, δ_2 — кривошип и δ_3 — шатун.

Дезаксиал a кривошипно-шатунного механизма найдется номограммой № 16 согласно формуле (110), где угол (r_2, r_0) , равный разности углов $|\varphi_1 - \varphi_0|$, не

должен быть больше 180° . В тех случаях, когда разность φ_1 и φ_0 больше 180° , ее нужно уменьшить на 180° . По найденным r_k, φ_k ($k=0, 1, 2, 3$) строим механизм согласно уравнению (103). Выбрав произвольно систему координат xAy , отложим от точки A под углом φ_0 к оси x отрезок $r_0=AB$. Из точки B под углом φ_1+180° к линии, параллельной Ax , отложим отрезок $BC=r_1$, из точки C под углом φ_2 к линии, параллельной Ax , отрезок $CD=r_2$ и из точки D под углом φ_3+180° отрезок $DA=r_3$ (рис. 41).

Если вычисления и построения произведены правильно, то конец отрезка r_3 обязательно попадет в исходную точку A .

Пример 11. Спроектировать кривошипно-шатунный механизм, у которого при заданных относительных перемещениях ползушки $r_{43}=1,1$, $r_{43}=1,25$, $r_{44}=1,45$ кривошип будет занимать положения $\gamma_{23}=20^\circ$, $\gamma_{33}=40^\circ$, $\gamma_{24}=60^\circ$. В соответствии со схемой 7

Таблица 15

Векторы	Δ_2		Δ_3		Δ_4	
Величины	x_2^I, y_2^I	x_2^{II}, y_2^{II}	x_3^I, y_3^I	x_3^{II}, y_3^{II}	x_4^I, y_4^I	x_4^{II}, y_4^{II}
Зависят от	$\gamma_{24}=60^\circ$ $r_{43}=1,25$	$\gamma_{23}=40^\circ$ $r_{44}=1,45$	$\gamma_{34}=60^\circ$ $r_{42}=1,1$	$\gamma_{33}=20^\circ$ $r_{44}=1,45$	$\gamma_{33}=40^\circ$ $r_{42}=1,1$	$\gamma_{23}=20^\circ$ $r_{43}=1,25$

по таблице II найдем

$$\begin{aligned} x_2^I &= 0,125000; & x_2^{II} &= 0,105280; \\ y_2^I &= -0,216506; & y_2^{II} &= -0,289254; \\ x_3^I &= 0,050000; & x_3^{II} &= 0,027138; \\ y_3^I &= -0,086602; & y_3^{II} &= -0,153909; \\ x_4^I &= 0,023395; & x_4^{II} &= 0,015077; \\ y_4^I &= -0,064278; & y_4^{II} &= -0,085505. \end{aligned}$$

Из условия (108) находим

$$\begin{aligned} x_3 &= 0,01971; & y_2 &= 0,07275; \\ x_3 &= 0,02286; & y_3 &= 0,06731; \\ x_4 &= 0,00832; & y_4 &= 0,02123. \end{aligned}$$

Из условия (69) определяем величины x_1 и y_1

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 - x_3 + x_4 = 0,00517, \\ y_1 &= y_2 - y_3 + y_4 = 0,02667. \end{aligned}$$

По известным значениям x_k и y_k ($k=1, 2, 3, 4$), пользуясь номограммами № 6 и 7, определим величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3, 4$), необходимые для решения уравнения совместности

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,0272; & \varphi_1 &= 79^\circ 00'; \\ r_2 &= 0,0752; & \varphi_2 &= 74^\circ 45'; \\ r_3 &= 0,0710; & \varphi_3 &= 71^\circ 20'; \\ r_4 &= 0,0228; & \varphi_4 &= 68^\circ 30'. \end{aligned}$$

Если определить величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3, 4$) по формулам (115), (50), (51), (97), то

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,0272; & \varphi_1 &= 79^\circ 01'; \\ r_2 &= 0,0754; & \varphi_2 &= 74^\circ 50'; \\ r_3 &= 0,0711; & \varphi_3 &= 71^\circ 14'; \\ r_4 &= 0,0228; & \varphi_4 &= 68^\circ 36'. \end{aligned}$$

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает большую точность, получаемую при работе по номограммам (ошибка значительно

меньше 10°). Увеличив все найденные значения r_k ($k=1, 2, 3, 4$) в 10 раз и пользуясь номограммами № 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 и 15, установим область существования решений и значения параметров γ_{32} , соответствующих заданным значениям параметра γ_{33} (аналогично изложенному в главах VI и VII). В качестве примера проведем расчет для $\gamma_{32}=350^{\circ}$. По формуле (104) находим величину A

$$A=1,0916.$$

Далее подсчитываем ϕ_1

$$\phi_1=350^{\circ}+74^{\circ}45'-79^{\circ}00'=345^{\circ}45'$$

и по номограммам № 9 и 10 находим вспомогательные величины B и C

$$B=0,399;$$

разность

$$B-A=-0,6926;$$

$$C=-0,491.$$

Так как величина C не выходит за установленные пределы

$$-2,236 \leq C \leq +2,236,$$

то, следовательно, выполняется необходимое условие существования решения. Далее по номограммам № 11, 12 и 13 находим вспомогательные величины D , E и значение радикала $\sqrt{D^2+E^2}$

$$D=-0,456,$$

$$E=-0,185,$$

$$\sqrt{D^2+E^2}=0,492.$$

Так как $|C| \leq |\sqrt{D^2+E^2}|$, то для параметра $\gamma_{32}=350^{\circ}$ задача решается. По номограмме № 14 находим величину θ

$$\theta=202^{\circ}20'$$

и по номограмме № 15 определяем два значения ϕ_2

$$\phi_2^I=187^{\circ} \text{ и } \phi_2^{II}=173^{\circ}$$

и, следовательно, определяем два значения искомого параметра γ_{33}

$$\gamma_{33}^I=187+79^{\circ}-71^{\circ}20'-202^{\circ}20'=-7^{\circ}40';$$

$$\gamma_{33}^{II}=173+79^{\circ}-71^{\circ}20'-202^{\circ}20'=-21^{\circ}40',$$

что равносильно

$$\gamma_{33}^I=352^{\circ}20' \text{ и } \gamma_{33}^{II}=338^{\circ}20'.$$

Если определить значения γ_{33} аналитически, то найдем

$$\gamma_{33}^I=352^{\circ}55' \text{ и } \gamma_{33}^{II}=338^{\circ}49'.$$

Сравнение номографического и аналитического результатов показывает, что ошибка незначительная.

Зная значения параметров γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33} , r_{42} , r_{43} , определим величины x_0 , y_0 и x_2 , y_2 согласно формулам (128) и (129) по таблицам I и II (см. схему 8).

Для значения γ_{22} , γ_{23} , γ_{32} , γ_{33}^{II} , r_{42} , r_{43} находим

$$x_0^I=-0,8793;$$

$$y_0^I=0;$$

$$x_0^{II}=-0,8848;$$

$$y_0^{II}=0,03086;$$

$$x_2^I=+0,00603;$$

$$y_2^I=0,0342;$$

$$x_2^{II}=+0,00379;$$

$$y_2^{II}=0,0434,$$

откуда

$$x_0=0,00550;$$

$$y_0=-0,03086;$$

$$x_2=0,00224;$$

$$y_2=-0,00921.$$

Величины x_3 и y_3 нам уже известны из формул (97), так как $\delta_3=\Delta$,

$$x_3=0,0083;$$

$$y_3=0,02122.$$

Из условия (115) определяем величины

$$\begin{aligned}x_1 &= x_0 + x_2 - x_3 = -0,00058; \\y_1 &= y_0 + y_2 - y_3 = -0,06129.\end{aligned}$$

Пользуясь номограммами № 6 и 7, находим размеры r_k и начальные положения φ_k звеньев проектируемого механизма

$$\begin{aligned}r_0 &= 0,03086; & \varphi_0 &= 280^\circ 00'; \\r_1 &= 0,06129; & \varphi_1 &= 271^\circ 00'; \\r_2 &= 0,0095; & \varphi_2 &= 283^\circ 35'; \\r_3 &= 0,0228; & \varphi_3 &= 68^\circ 30',\end{aligned}$$

где r_0 — направляющая ползушки, r_1 — неподвижное звено, определяющее положение оси вращения кривошипа, r_2 — кривошип, r_3 — шатун. Если определить эти же величины аналитически, то найдем

$$\begin{aligned}r_0 &= 0,03134; & \varphi_0 &= 280^\circ 00'; \\r_1 &= 0,06129; & \varphi_1 &= 269^\circ 24'; \\r_2 &= 0,00948; & \varphi_2 &= 283^\circ 38'; \\r_3 &= 0,02279; & \varphi_3 &= 68^\circ 36'.\end{aligned}$$

Этот механизм показан на рис. 41. Сравнение номографического и аналитического результатов показывает, что ошибка по номограмме весьма незначительна (ниже $1^\circ/0$).

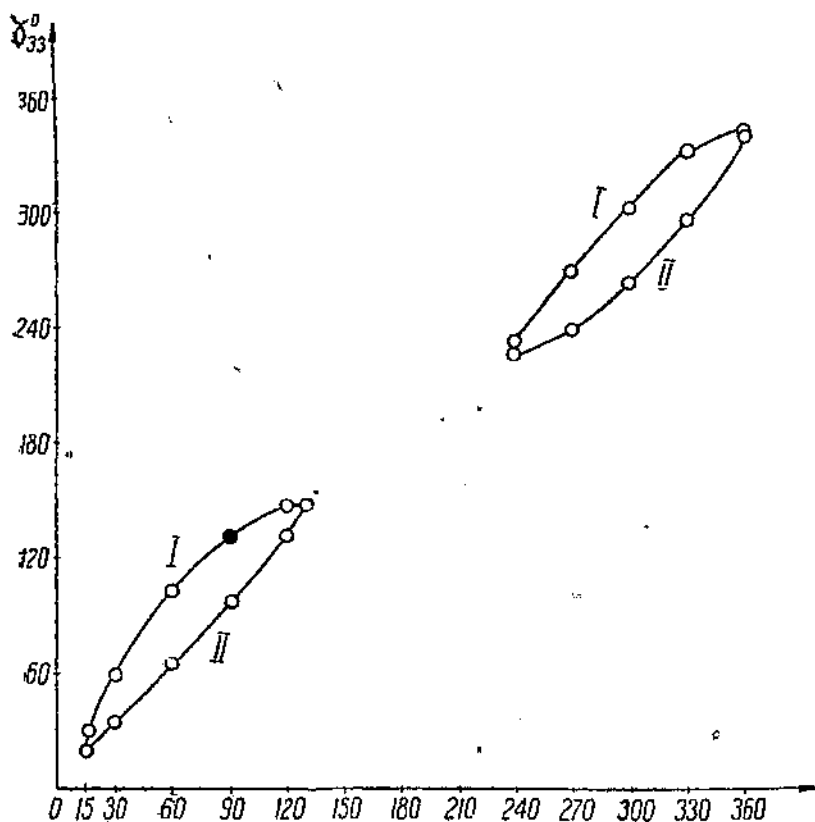


Рис. 42.

Определив величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), можно по номограмме № 16 найти величину дезаксиала a . Так как $\widehat{r_1}, r_0 = |\varphi_1 - \varphi_0| = 9^\circ 00'$, то $a = 0,01$.

На рис. 42 дан график зависимости параметра γ_{32} в функции параметра $\gamma_{32} \cdot \gamma_{33} = f(\gamma_{32})$ для рассмотренного примера.

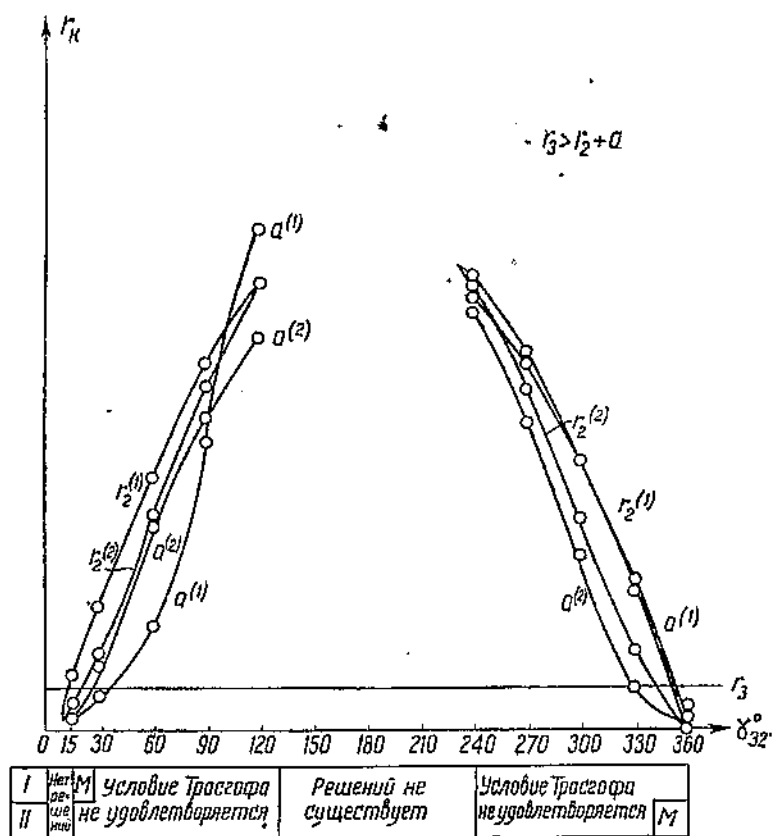


Рис. 43.

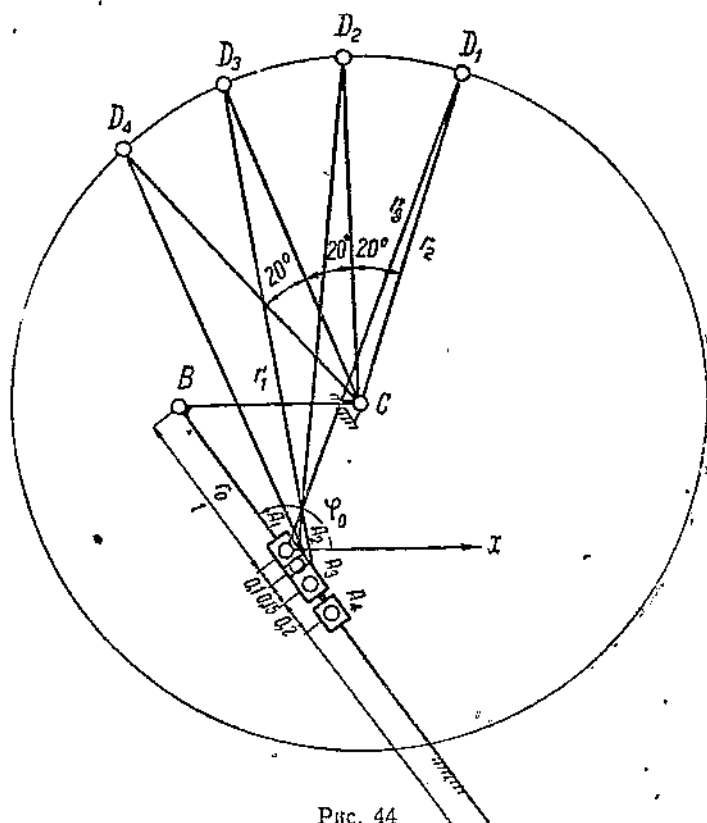


Рис. 44

На рис. 43 для этого же примера построены графики изменения величин r_k проектируемого механизма в функции независимого параметра γ_{82} , при

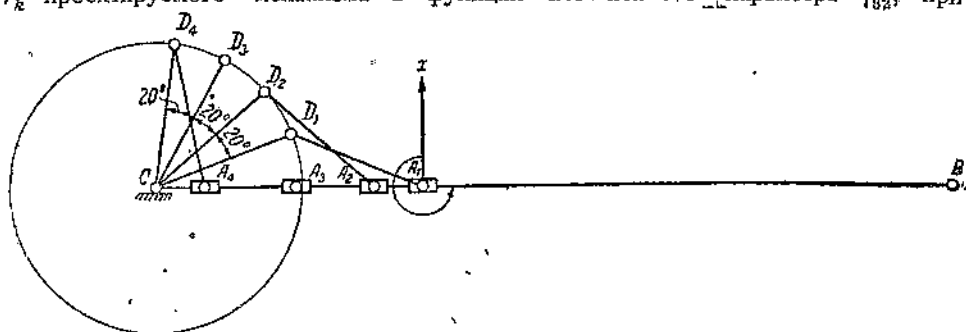


Рис. 45.

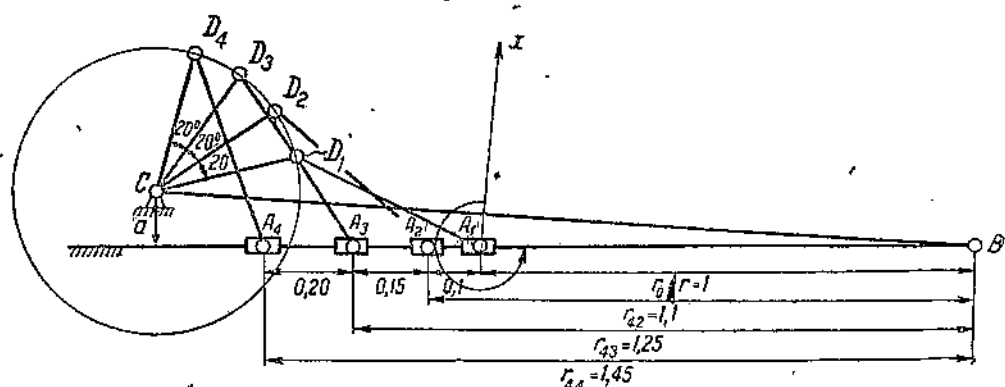


Рис. 46.

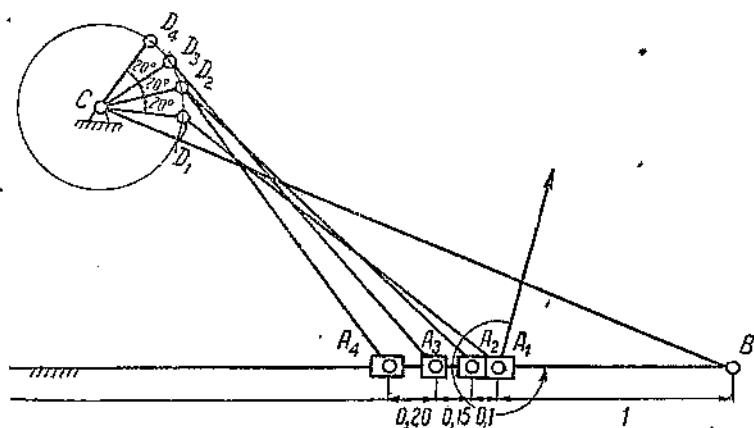


Рис. 47.

этом выделены отдельные участки γ_{82} и указаны соответствующие им решения. Буква M соответствует тем значениям γ_{82} , при которых механизмы имеют кривошип и, следовательно, представляют наибольший практический интерес.

Как показывает рис. 43, в рассмотренном примере механизмы с кривошипом,

Таблица 16

№ пп.	№ рис.	γ_{22}	γ_{33}	δ_0		δ_1		δ_2		δ_3	
				r_0	φ_0	r_1	φ_1	r_2	φ_2	r_3	φ
1	44	15°	29°55'	0,00791	125°00'	0,007976	180°18'	0,01549	71°38'	0,022798	68°36'
2	45	340°	319°43'	0,0825	270°00'	0,1249	270°00'	0,022798	291°24'	0,022798	68°36'
3	46	345°	329°01'	0,0545	275°00'	0,09025	270°50'	0,01549	288°12'	0,022798	68°36'
4	47	355°	349°08'	0,01311	285°00'	0,03856	263°31'	0,00446	277°19'	0,022798	68°36'

удовлетворяющие заданным условиям, определяются значениями параметра γ_{22} в интервалах 15—25° и 340—360°.

Ниже приводятся еще несколько механизмов с кривошипам, удовлетворяющие условиям поставленной задачи (см. рис. 44—47).

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ГЛАВА XI

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННИКА ПО ДВУМ ПОЛОЖЕНИЯМ КРИВОШИПА И КОРОМЫСЛА И УГЛОВЫМ СКОРОСТЯМ ЗВЕНЬЕВ В ЭТИХ ПОЛОЖЕНИЯХ

Напишем уравнения замкнутости (3) и скоростей (5) для двух рассматриваемых положений искомого механизма:

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1; \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_1)} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_2)} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_3)} &= 1; \\ r_1 e^{i\varphi_1} \omega_{11} + r_2 e^{i\varphi_2} \omega_{21} + r_3 e^{i\varphi_3} \omega_{31} &= 0; \\ r_1 e^{i(\varphi_1 + \gamma_1)} \omega_{12} + r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_2)} \omega_{22} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_3)} \omega_{32} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (131)$$

Введя обозначения $z_j = r_j e^{i\varphi_j}$, $u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}$, представим составленную систему в таком виде

$$\left. \begin{aligned} z_1 + z_2 + z_3 &= 1; \\ z_1 u_{12} + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} &= 1; \\ z_1 \omega_{11} + z_2 \omega_{21} + z_3 \omega_{31} &= 0; \\ z_1 u_{12} \omega_{12} + z_2 u_{22} \omega_{22} + z_3 u_{32} \omega_{32} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (132)$$

Полученная система линейных уравнений совместна, если определитель, составленный из коэффициентов и свободных членов, равен нулю

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & u_{12} & u_{22} & u_{32} \\ 0 & \omega_{11} & \omega_{21} & \omega_{31} \\ 0 & u_{12} \omega_{12} & u_{22} \omega_{22} & u_{32} \omega_{32} \end{vmatrix} = 0. \quad (133)$$

Считая заданными положения кривошипа и коромысла и их угловые скорости, принимаем за неизвестные угловые скорости шатуна ω_{21} и ω_{32} , а угол поворота шатуна γ_{22} за свободный параметр. Разлагая определитель D по элементам третьего столбца, содержащего неизвестные, получим уравнение

$$\Delta_1 - u_{22} \Delta_1 + \omega_{21} \Delta_2 - \omega_{22} u_{22} \Delta_3, \quad (134)$$

где

$$\Delta_1 = \omega_{11} \omega_{32} u_{32} - \omega_{12} \omega_{31} u_{12}; \quad (135)$$

$$\Delta_2 = (\omega_{32} - \omega_{12}) u_{12} u_{32} - \omega_{32} u_{32} + \omega_{12} u_{12}; \quad (136)$$

$$\Delta_3 = \omega_{31} u_{12} - \omega_{11} u_{32} - \omega_{31} + \omega_{11}. \quad (137)$$

Уравнение совместности (134) может быть приведено к виду

$$\Delta_1 + \Delta_2 \omega_{21} - \Delta_3 \omega_{22} = 0, \quad (138)$$

где

$$\Delta_1 = (\omega_{12} \omega_{31} u_{12} - \omega_{11} \omega_{32} u_{32}) \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma_{22}}{2})}; \quad (139)$$

$$\Delta_2 = \omega_{32} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \gamma_{22} + \frac{\gamma_{12}}{2})} - \omega_{12} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \gamma_{12} + \frac{\gamma_{32}}{2})}; \quad (140)$$

$$\Delta_3 = \omega_{31} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \gamma_{22} + \frac{\gamma_{12}}{2})} - \omega_{11} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \gamma_{22} + \frac{\gamma_{32}}{2})}. \quad (141)$$

Полагая $\Delta_j = x_j + iy_j$ ($j = 1, 2, 3$) и приравняв к нулю действительную и мнимую части уравнения (138), получим систему линейных уравнений для определения ω_{21} и ω_{22}

$$x_3 \omega_{22} - x_2 \omega_{21} = x_1;$$

$$y_3 \omega_{22} - y_2 \omega_{21} = y_1,$$

решая которую, находим

$$\left. \begin{aligned} \omega_{21} &= \frac{x_3 y_1 - y_3 x_1}{x_2 y_3 - y_2 x_3}; \\ \omega_{22} &= \frac{x_2 y_1 - y_2 x_1}{x_2 y_3 - y_2 x_3}. \end{aligned} \right\} \quad (142)$$

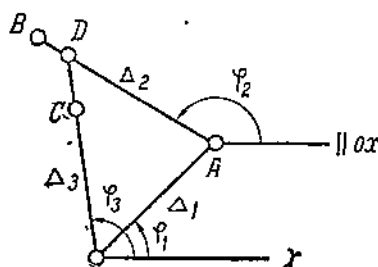
Значения x_j и y_j вычисляются по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \left[\omega_{11} \omega_{32} \sin \left(\gamma_{32} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right) - \omega_{12} \omega_{31} \sin \left(\gamma_{12} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right) \right] \sin \frac{\gamma_{32}}{2}; \\ y_1 &= \left[\omega_{12} \omega_{31} \cos \left(\gamma_{12} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right) - \omega_{11} \omega_{32} \cos \left(\gamma_{32} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right) \right] \sin \frac{\gamma_{32}}{2}; \end{aligned} \right\} \quad (143)$$

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \omega_{12} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} \sin \left(\frac{\gamma_{32}}{2} + \gamma_{12} \right) - \omega_{32} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \left(\gamma_{32} + \frac{\gamma_{12}}{2} \right); \\ y_2 &= \omega_{32} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \left(\gamma_{32} + \frac{\gamma_{12}}{2} \right) - \omega_{12} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} \cos \left(\gamma_{12} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right); \end{aligned} \right\} \quad (144)$$

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= \omega_{11} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} \sin \left(\gamma_{22} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right) - \omega_{31} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \sin \left(\gamma_{32} + \frac{\gamma_{12}}{2} \right); \\ y_3 &= \omega_{31} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} \cos \left(\gamma_{22} + \frac{\gamma_{12}}{2} \right) - \omega_{11} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} \cos \left(\gamma_{22} + \frac{\gamma_{32}}{2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (145)$$

Для графического решения уравнения совместности (138) откладываем вектор $OA = \Delta_1$ (рис. 48). Через точку A проводим прямую AB под углом $\varphi_2 = \arg \Delta_2$ к оси x , а через O — прямую OC под углом φ_3 к оси x . Точка D пересечения прямых AB и OC определяет векторный контур $OADO$, являющийся графическим представлением уравнения (142). Измеряя отрезки AD и OD , находим



$$\omega_{21} = \pm \frac{AD}{\text{mod } \Delta_3},$$

$$\omega_{22} = \pm \frac{OD}{\text{mod } \Delta_3}.$$

Рис. 48.

ω_{21} и ω_{22} считаются положительными, если направления векторов AB и OD совпадают

соответственно с направлениями векторов Δ_2 и Δ_3 .

Считая γ_{22} заданным и ω_{21} определенным из уравнения совместности, находим неизвестные z_1, z_2, z_3 из первых трех уравнений системы (132)

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\delta_j}{\delta_0} \quad (j = 1, 2, 3),$$

где

$$\delta_0 = u_{22} \omega_{31} + u_{32} \omega_{11} + u_{12} \omega_{21} - u_{22} \omega_{11} - u_{32} \omega_{21} - u_{12} \omega_{31}; \quad (146)$$

$$\delta_1 = u_{22} \omega_{31} + \omega_{31} - \omega_{21} u_{32} - \omega_{31}; \quad (147)$$

$$\delta_2 = u_{12} \omega_{31} + \omega_{11} - \omega_{11} u_{32} - \omega_{31}; \quad (148)$$

$$\delta_3 = u_{12} \omega_{31} + \omega_{11} - \omega_{11} u_{22} - \omega_{21}. \quad (149)$$

Подставляя найденные значения z_j в первое уравнение системы (117), умножая на $\delta_0 \neq 0$ и перенося все члены в левую часть, получим уравнение

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 \equiv 0, \quad (150)$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} x_0 - x_1 + x_2 - x_3 &\equiv 0, \\ y_0 - y_1 + y_2 - y_3 &\equiv 0, \end{aligned} \right\} \quad (151)$$

определяющие искомый механизм в начальном его положении.

Для построения механизма достаточно вычислить однотипные определители $\delta_1, \delta_2, \delta_3$. Кроме того, отметим, что комплексные числа Δ_3 и Δ_2 связаны простой зависимостью

$$\Delta_3 = \delta_2 u_{22},$$

из которой следует, что

$$\text{mod } \Delta_3 = \text{mod } \delta_2,$$

$$\arg \Delta_3 = \arg \delta_2 + \gamma_{22}.$$

При графическом решении задачи вектор δ_2 получается из вектора Δ_3 простым поворотом последнего на заданный угол γ_{22} . Следовательно, для решения задачи достаточно вычислить (построить) по общим формулам значения только пяти комплексных чисел: $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \delta_1$ и δ_3 .

Для вычисления и графического построения величин δ_1 и δ_3 имеем

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= \omega_{31} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma_{22}}{2})} - \omega_{21} \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma_{32}}{2})}; \\ \delta_3 &= \omega_{21} \sin \frac{\gamma_{12}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma_{12}}{2})} - \omega_{11} \sin \frac{\gamma_{22}}{2} e^{i(\frac{\pi}{2} + \frac{\gamma_{22}}{2})}; \\ x_1 &= \omega_{21} \sin^2 \frac{\gamma_{32}}{2} - \omega_{31} \sin^2 \frac{\gamma_{22}}{2}; \\ y_1 &= \frac{1}{2} (\omega_{31} \sin \gamma_{22} - \omega_{21} \sin \gamma_{32}); \\ x_3 &= \omega_{11} \sin^2 \frac{\gamma_{22}}{2} - \omega_{21} \sin^2 \frac{\gamma_{12}}{2}; \\ y_3 &= \frac{1}{2} (\omega_{21} \sin \gamma_{12} - \omega_{11} \sin \gamma_{22}). \end{aligned} \right\} \quad (152)$$

Формулы для вычисления $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ были уже приведены выше (139)–(141).

Считая кривошип проектируемого механизма вращающимся с постоянной угловой скоростью $\omega_{ik} = \text{const}$, упростим задачу, положив $\omega_{11} = \omega_{12} = 1$.

При сделанном допущении согласно формулам (135)–(137) величины $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ выражаются соответственно

$$\Delta_1 = \omega_{32} u_{32} - \omega_{31} u_{12}; \quad (153)$$

$$\Delta_2 = \omega_{32} u_{12} u_{32} + u_{12} - \omega_{32} u_{32} - u_{12} u_{32}; \quad (154)$$

$$\Delta_3 = \omega_{31} u_{12} - u_{32} - \omega_{31} + 1. \quad (155)$$

Значения компонент x_j и y_j определяются формулами:

$$x_1 = \omega_{32} \cos \gamma_{32} - \omega_{31} \cos \gamma_{12}; \quad (156)$$

$$y_1 = \omega_{32} \sin \gamma_{32} - \omega_{31} \sin \gamma_{12}; \quad (157)$$

$$x_2 = (\omega_{32} - 1) \cos (\gamma_{12} + \gamma_{32}) - \omega_{32} \cos \gamma_{32} + \cos \gamma_{12}; \quad (158)$$

$$y_2 = (\omega_{32} - 1) \sin (\gamma_{12} + \gamma_{32}) - \omega_{32} \sin \gamma_{32} + \sin \gamma_{12}; \quad (159)$$

$$x_3 = \omega_{31} (\cos \gamma_{12} - 1) + (1 - \cos \gamma_{32}); \quad (160)$$

$$y_3 = \omega_{31} \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{32}. \quad (161)$$

Уравнения (156), (157) и (158), (159) для определения величин x_1, y_1 и x_2, y_2 разрешены на номограммах № 17, 18, 19, 20.

Уравнения типа (160), (161)

$$x_k = \omega_{nm} (\cos \gamma_{jp} - 1) + \omega_{jq} (1 - \cos \gamma_{nt}); \quad (162)$$

$$y_k = \omega_{nm} \sin \gamma_{jp} - \omega_{jq} \sin \gamma_{nt} \quad (163)$$

разрешены на номограммах № 21 и 22.

Таким образом, для определения величин x_3 и y_3 следует воспользоваться номограммами № 21 и 22, положив в них $\omega_{nm} = \omega_{31}$, $\gamma_{jp} = \gamma_{12}$, $\gamma_{nt} = \gamma_{32}$ и $\omega_{jq} = 1$.

Для вычислений величин x_2 и y_2 удобно составить следующую схему:

Схема 9

Параметры номограмм № 21 и 22	ω_{11}	γ_{12}	γ_{13}	ω_{14}
Искомые величины x_2 и y_2	ω_{21}	γ_{12}	γ_{22}	1

Схемы пользования даны на номограммах.

Угловые параметры γ приняты изменяющимися в пределах от 0° до 360° , а угловые скорости ω считаем изменяющимися в пределах от 0 до 1.

Принятые пределы переменных охватывают весьма большую группу практически интересных механизмов.

Номограммы № 17 и 18 для определения величин x_1 и y_1 состоят из бинарной шкалы I значений ω_{22} и γ_{22} , из бинарного поля значений ω_{21} и искомой величины x_1 (или y_1) и из шкалы значений γ_{12} .

Для определения величины x_1 (или y_1) поступаем следующим образом. Находя точку пересечения заданных значений ω_{22} и γ_{22} , выносим ее по горизонтали на шкалу I. Далее, соединяя найденную отметку шкалы I с заданным значением γ_{12} прямой линией, находим точку ее пересечения с заданным значением ω_{21} . Эта точка поля и определяет искомое значение x_1 (или y_1).

Номограммы № 19 и 20 для определения величин x_2 и y_2 состоят из шкалы значений $\gamma_{12} + \gamma_{22}$, бинарного поля значений ω_{22} и γ_{22} , немой шкалы I, шкалы искомой величины x_2 (или y_2) и шкалы значений γ_{12} .

Для нахождения величины x_2 по номограмме № 19 поступаем следующим образом.

В поле значений ω_{22} и γ_{22} находим точку пересечения заданных значений ω_{22} и γ_{22} , соединяем ее прямой линией с заданным значением шкалы ($\gamma_{12} + \gamma_{22}$) и находим отметку вспомогательной шкалы I.

Соединяя найденную отметку шкалы I с заданным значением γ_{12} прямой линией в пересечении с ответной шкалой, найдем искомое значение x_2 . Величина y_2 определяется аналогично из номограммы № 20. Номограммы № 21 и 22 для определения величин x_2 и y_2 совершенно однотипны с номограммами № 17 и 18 для определения величин x_1 и y_1 . Зная величины x_k , y_k ($k=1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, определим величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3$).

Зная величины r_1 , φ_1 , r_2 , φ_2 , r_3 , φ_3 и задавшись произвольным γ_{22} , переходим к решению уравнения совместности.

Запишем уравнение совместности (136) в проекциях по оси координат

$$\begin{aligned} r_1 \cos \varphi_1 - r_1 \cos (\varphi_1 + \gamma_{22}) + r_2 \omega_{21} \cos \varphi_2 - r_3 \omega_{22} \cos (\varphi_3 + \gamma_{22}) &= 0; \\ r_1 \sin \varphi_1 - r_1 \sin (\varphi_1 + \gamma_{22}) + r_2 \omega_{21} \sin \varphi_2 - r_3 \omega_{22} \sin (\varphi_3 + \gamma_{22}) &= 0. \end{aligned}$$

Умножив первое уравнение на $\sin (\varphi_3 + \gamma_{22})$, второе на $\cos (\varphi_3 + \gamma_{22})$ и взяв их разность, исключим неинтересующий нас параметр ω_{22}

$$r_1 \sin (\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22}) - r_1 \sin (\varphi_1 - \varphi_3) + r_2 \omega_{21} \sin (\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}) = 0.$$

Введя обозначения

$$F = r_1 [\sin (\varphi_1 - \varphi_3) - \sin (\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22})], \quad (164)$$

найдем искомый параметр ω_{21} из уравнения

$$\omega_{21} = \frac{F}{r_2 \sin (\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22})}. \quad (165)$$

Величина F может быть определена по номограмме № 23.

Номограмма № 23 состоит из бинарного поля значений $(\varphi_1 - \varphi_3)$ и r_1 , ответной шкалы F и шкалы $(\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22})$. Пределы переменных

$$\begin{aligned} 0^\circ &\leq \varphi_1 - \varphi_3 \leq 360^\circ; \\ 0^\circ &\leq \varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22} \leq 360^\circ; \\ 0 &\leq r_1 \leq 1; \\ -2 &\leq F \leq +2. \end{aligned}$$

Для определения вспомогательной величины F находим в поле r_1 $(\varphi_1 - \varphi_3)$ точку пересечения заданных значений $(\varphi_1 - \varphi_3)$ и r_1 и соединяем ее прямой линией с заданным значением $(\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22})$. Пересечение этой прямой с ответной шкалой даст искомую величину F .

Из анализа уравнения (165) легко видеть, что пределы $0 \leq \omega_{21} \leq 1$, которыми мы ограничили круг рассматриваемых механизмов, соблюдаются лишь для значений F от 0 до 1 при $0 \leq \varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22} \leq 180$ и для значений F в пределах от 0 до -1 при

$$180^\circ \leq \varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22} \leq 360^\circ.$$

Таким образом, номограмма № 23 позволяет весьма просто установить область значений параметра γ_{22} , для которой существуют интересующие нас значения параметра ω_{21} .

В тех случаях, когда величина F очень мала (близка к нулю) и численно не может быть достаточно точно определена по номограмме № 23, следует воспользоваться номограммой № 24.

Уравнение (164), определяющее величину F , легко преобразовать к виду: $F = F_1 - F_2$, где $F_1 = r_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)$ и $F_2 = r_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22})$.

Выражения F_1 и F_2 совершенно однотипны и могут быть определены из номограммы № 24 для уравнения

$$\begin{aligned} F_k &= r_1 \sin \alpha_k \\ (k=1, 2; \alpha_1 &= \varphi_1 - \varphi_3, \alpha_2 = \varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22}). \end{aligned}$$

Наконец, номограмму № 23 можно использовать и для определения области изменения значений параметра γ_{22} . При малых значениях F , соответствующих данному значению γ_{22} , целесообразно величину F определять аналитически по формуле (164). Искомый параметр ω_{21} определится из номограммы № 25 по известным значениям $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}$, r_2 и F . Номограмма № 25 состоит из двух совмещенных эллипсов, при помощи которых ответная величина ω_{21} найдется двумя ходами.

Определив отметку вспомогательной шкалы I в пересечении с прямой линией, соединяющей заданные значения $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}$ и F , соединим ее прямой с известным значением r_2 , тогда в пересечении с ответной шкалой найдется искомая величина ω_{21} . При этом знак ω_{21} определится в зависимости от знака F и величины $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}$.

Очевидно, ω_{21} отрицательно при $F > 0$ и значениях $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}$ от 180° до 360° , а также при $F < 0$ и значениях $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}$ от 0° до 180° .

Шкалы номограммы № 25 для определения ω_{21} проградуированы в пределах

$$\begin{aligned} 0^\circ &\leq \varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22} \leq 360^\circ; \\ 0 &\leq r_2 \leq 5; \\ 0 &\leq F \leq 3; \\ 0 &\leq \omega_{21} \leq 5. \end{aligned}$$

Такие большие пределы переменных иногда позволяют работать по этой номограмме с пересчетом. Этот метод пересчета весьма целесообразен при малых значениях F и r_2 и основан на том очевидном из формулы (165) факте, что величина ω_{21} не изменится при увеличении или уменьшении значений F и r_2 в одинаковое число раз. Обычно величины F и r_2 увеличиваются (или уменьшаются) в кратное десяти число раз при величинах F и r_2 , выходящих за пределы номограммы.

При работе с номограммами № 24 и 25 следует иметь в виду, что задаваемые величины $\varphi_1 - \varphi_2 - \gamma_{22}$, $\varphi_1 - \varphi_3$ и $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22}$ весьма часто будут принимать отрицательные значения, которые не нанесены на номограммах (чтобы не загромождать их излишними надписями). В этих случаях положительные углы получаются добавлением 2π к отрицательным их значениям.

Установив интересующую нас область изменения углов γ_{22} и определив в ней значения угловых скоростей шатуна ω_{21} , можем найти проектируемый механизм.

Легко установить, что проекции векторов δ_1 и δ_3 , соответственно определяющие размеры кривошипа и коромысла искомого механизма, приводятся к уравнениям типа (162), (163), разрешенным на номограммах № 21 и 22,

$$x_1 = \omega_{31} (\cos \gamma_{22} - 1) + \omega_{21} (1 - \cos \gamma_{32}); \quad (166)$$

$$y_1 = \omega_{31} \sin \gamma_{22} - \omega_{21} \sin \gamma_{32}; \quad (167)$$

$$x_3 = \omega_{21} (\cos \gamma_{12} - 1) + (1 - \cos \gamma_{22}); \quad (168)$$

$$y_3 = \omega_{21} \sin \gamma_{12} - \sin \gamma_{22}. \quad (169)$$

Таким образом, для определения величин x_1 , y_1 и x_3 , y_3 следует воспользоваться номограммами № 21 и 22 согласно схеме 10.

Схема 10

Параметры номограммы Искомые величины	ω_{nm}	γ_{jp}	γ_{nl}	ω_{jq}
x_1, y_1	ω_{31}	γ_{22}	γ_{32}	ω_{21}
x_3, y_3	ω_{21}	γ_{12}	γ_{22}	1

Проекция вектора δ_2 , определяющего размер и начальное положение шатуна, уже известны из формулы (123) в силу равенства $\delta_2 = \Delta_3$. Подставляя величины x_1 , y_1 , x_2 , y_2 и x_3 , y_3 в формулу (151), найдем проекции x_0 , y_0 вектора δ_0 , определяющего стойку искомого механизма.

Пользуясь номограммами № 6 и 7 по известным значениям x_k и y_k , найдем величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 3$). Величины r_2 и φ_2 нами уже определены раньше. Работая с указанными выше номограммами № 21 и 22, следует отсчитывать результаты с достаточной тщательностью, не делая никаких округлений. При выполнении этих требований результат получается с достаточной для практики точностью, величина ошибки не превышает $1 - 2\%$ и лишь для некоторых значений параметров доходит до 5% . В последнем случае номограммы могут быть использованы ориентировочно для выбора нужного варианта механизма с последующим уточнением результатов и непосредственным вычислением.

Пример 12. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм, у которого при заданных двух положениях кривошипа $\gamma_{12} = 90^\circ$ и коромысла $\gamma_{32} = 60^\circ$ выполняются заданные условия для скоростей $\omega_{11} = \omega_{12} = 1$, $\omega_{31} = 0,55$ и $\omega_{32} = 0,7$.

По номограммам № 17, 18, 19, 20, 21, 22 определяем величины x_1 , y_1 , x_2 , y_2 и x_3 , y_3 :

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,35; & y_1 &= 0,06; \\ x_2 &= -0,09; & y_2 &= 0,242; \\ x_3 &= -0,042; & y_3 &= -0,32. \end{aligned}$$

Эти же величины, найденные аналитическим расчетом, равны

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,35; & x_2 &= 0,09; & x_3 &= -0,05; \\ y_1 &= 0,0562; & y_2 &= 0,243; & y_3 &= -0,316 \end{aligned}$$

Зная величины x_k и y_k ($k=1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, найдем величины r_1, r_2 и r_3

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,354; & \varphi_1 &= 9^\circ 40'; \\ r_2 &= 0,2585; & \varphi_2 &= 110^\circ 20'; \\ r_3 &= 0,323; & \varphi_3 &= 262^\circ 40'. \end{aligned}$$

Эти же величины, найденные аналитическим расчетом, равны

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,354; & \varphi_1 &= 9^\circ 08'; \\ r_2 &= 0,259; & \varphi_2 &= 110^\circ 18'; \\ r_3 &= 0,319; & \varphi_3 &= 261^\circ. \end{aligned}$$

Сравнение номографического результата с аналитическим расчетом показывает, что величина ошибки при работе по номограммам находится в пределах $0,6 - 1\%$.

Величина ошибки возрастает и достигает $5 - 6\%$ в том случае, когда сами величины r_k или φ_k малы по абсолютной величине. Зная значения r_k и φ_k ($k=1, 2, 3$) по номограмме № 23, установим ту область значений γ_{22} , для которых величина $\omega_{21} \leq 1$.

Задавая различные значения $\gamma_{22} = 10^\circ, 20^\circ, 60^\circ, 90^\circ, \dots, 360^\circ$, находим значения $\varphi_1 - \varphi_3, \varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22}$ и определяем соответствующие значения F . Пусть, например, $\gamma_{22} = 5^\circ$, тогда

$$\varphi_1 - \varphi_3 = -253^\circ,$$

или, что то же самое,

$$\varphi_1 - \varphi_3 = 107^\circ, r_1 = 0,354$$

(эти значения постоянны для рассматриваемой задачи) и

$$\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{22} = 102^\circ.$$

Из номограммы № 23 находим, что $F = 0,01$. Так как значение F мало, то его следует уточнить аналитически или по номограмме № 24. Из номограммы № 24 находим

$$F_1 = 0,337 \text{ и } F_2 = 0,346,$$

следовательно,

$$F = F_1 - F_2 = -0,009.$$

Подсчитав F аналитически, найдем

$$F = -0,00773.$$

Сравнение трех полученных результатов указывает на целесообразность аналитического подсчета величины F после предварительной оценки ее значения по номограмме № 23.

Зная величины $\varphi_3 - \varphi_3 - \gamma_{22}, r_2$ и F , определим по номограмме № 25 величину ω_{21} .

Так как величина F очень мала, то целесообразно воспользоваться методом пересчета, т. е. увеличить r_2 и F в 10 раз. Зная, что $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{22} = 202^\circ 40', r_2 = 2,585, F = 0,0773$, находим $\omega_{21} = 0,077$.

Аналитический расчет дает

$$\omega_{21} = 0,0778.$$

Таким образом, ошибка при номографическом расчете находится в пределах $1 - 1,5\%$.

Зная значения параметров $\gamma_{12}, \gamma_{22}, \gamma_{32}, \omega_{11} = 1, \omega_{21}, \omega_{31}$ согласно схеме 10,

Таблица 17

Искомые величины \ Параметры номограмм № 21 и 22	ω_{nm}	γ_{fp}	γ_{nt}	ω_{jq}
x_1, y_1	$\omega_{31}=0,55$	$\gamma_{23}=5^\circ$	$\gamma_{32}=60^\circ$	$\omega_{21}=0,077$
x_3, y_3	$\omega_{21}=0,077$	$\gamma_{13}=90^\circ$	$\gamma_{22}=5^\circ$	$\omega_{11}=1$

определим величины x_1, y_1 и x_3, y_3 по номограммам № 21 и 22

$$\begin{aligned} x_1 &= 0,035; & y_1 &= -0,02; \\ x_3 &= -0,07; & y_3 &= -0,01. \end{aligned}$$

Величины x_2 и y_2 нам уже известны из условия $\delta_2 = \Delta_3$

$$x_2 = -0,05; \quad y_2 = -0,316.$$

Величины x_0 и y_0 найдутся из условия (170)

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 - x_2 + x_3 = 0,01; \\ y_0 &= y_1 - y_2 + y_3 = 0,286. \end{aligned}$$

Зная величины x_k и y_k ($k=0, 1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, найдем

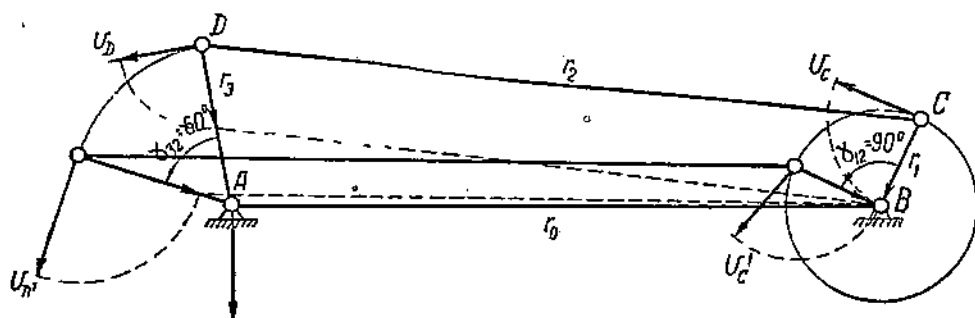


Рис. 49.

величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие размеры звеньев и начальное положение проектируемого механизма

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,286; & \varphi_0 &= 88^\circ 00'; \\ r_1 &= 0,0404; & \varphi_1 &= 329^\circ 30'; \\ r_2 &= 0,320; & \varphi_2 &= 261^\circ 00'; \\ r_3 &= 0,6709; & \varphi_3 &= 188^\circ 00'. \end{aligned}$$

Эти же величины могут быть найдены аналитически

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,2875; & \varphi_0 &= 87^\circ 27'; \\ r_1 &= 0,0417; & \varphi_1 &= 332^\circ 07'; \\ r_2 &= 0,3199; & \varphi_2 &= 261^\circ 00'; \\ r_3 &= 0,0746; & \varphi_3 &= 187^\circ 09'. \end{aligned}$$

Сравнение номографических результатов с аналитическими расчетами показывает, что величина ошибки при номографическом решении не превышает $0,5-1\%$. Приведенный пример свидетельствует о полной целесообразности

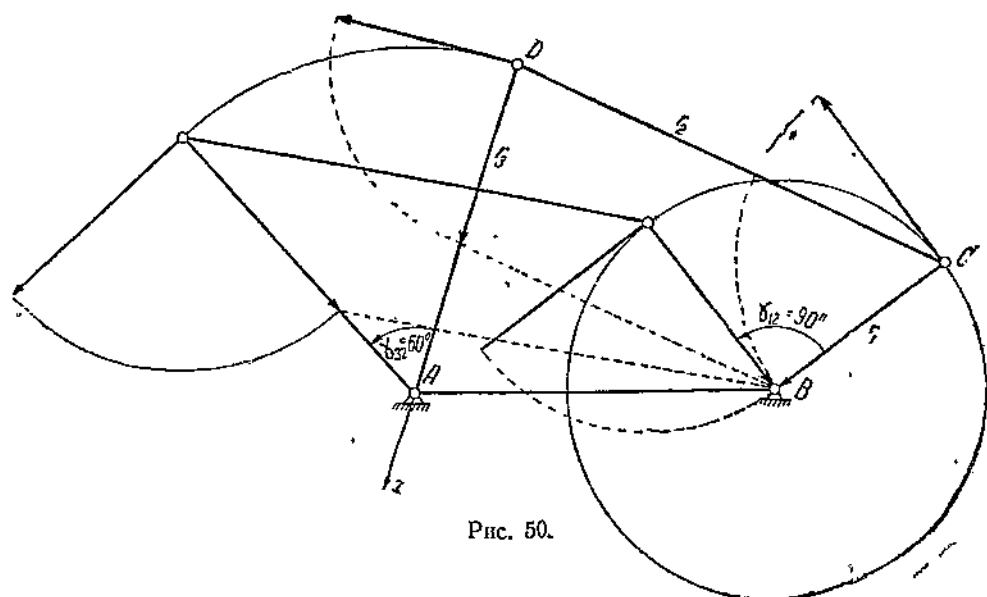


Рис. 50.

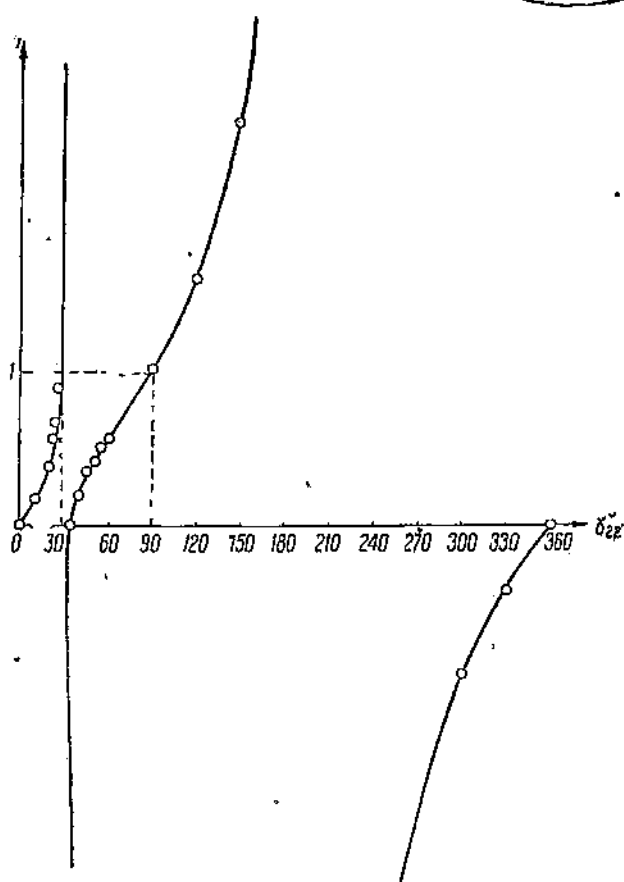


Рис. 51.

применения номографической схемы решения для выбора интересующего нас механизма.

Найденный механизм показан на рис. 49.

Если положить $\gamma_{22} = 15^\circ$, то определится другой механизм, изображенный на рис. 50, выполняющий заданные условия для положений и скоростей кривошипа и коромысла. На рис. 51 построен график зависимости параметра ω_{21} в функции угла γ_{22} и выделены области, для которых $\omega_{21} \leq 1$. Как показывает исследование, условие Грасгофа удовлетворяется в интервалах γ_{22} от 5° до 20° и γ_{22} от 45° до 55° .

ГЛАВА XII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЗАКСИАЛЬНОГО КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПО ДВУМ ПОЛОЖЕНИЯМ КРИВОШИПА И ПОЛЗУШКИ И СКОРОСТЯМ ЗВЕНЬЕВ В ЭТИХ ПОЛОЖЕНИЯХ

Напишем уравнение замкнутости (3), (7) и скоростей (8) для двух рассматриваемых положений

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1; \\ r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i(\varphi_1 + \gamma_{22})} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{22})} &= 1; \\ r_2 e^{i\varphi_2} \omega_{21} + r_3 e^{i\varphi_3} \omega_{31} &= -i v_{41}; \\ r_2 e^{i(\varphi_2 + \gamma_{22})} \omega_{22} + r_3 e^{i(\varphi_3 + \gamma_{22})} \omega_{32} &= i v_{42}. \end{aligned} \right\} \quad (170)$$

Введя обозначения

$$z_j = r_j e^{i\varphi_j}, \quad u_{jk} = e^{i\gamma_{jk}}, \quad (171)$$

представим составленную систему уравнений в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} z_1 + z_2 + z_3 &= 1; \\ z_1 + z_2 u_{22} + z_3 u_{32} &= r_{42}; \\ z_2 \omega_{21} + z_3 \omega_{31} &= -i v_{41}; \\ z_2 \omega_{22} u_{22} + z_3 \omega_{32} u_{32} &= i v_{42}. \end{aligned} \right\} \quad (172)$$

Полученная система линейных уравнений совместна, если определитель, составленный из ее коэффициентов и свободных членов, равен нулю

$$D = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ r_{42} & 1 & u_{22} & u_{32} \\ -i v_{41} & 0 & \omega_{21} & \omega_{31} \\ -i v_{42} & 0 & \omega_{22} u_{22} & \omega_{32} u_{32} \end{vmatrix} = 0. \quad (173)$$

Считая заданными положения кривошипа и ползушки, угловые скорости кривошипа и линейные скорости ползушки, принимаем за неизвестные угловые скорости шатуна ω_{21} , ω_{32} . Разлагая определитель D по элементам четвертого столбца, получим уравнение

$$\Delta_1 - u_{32} \Delta_2 + \omega_{31} \Delta_3 - u_{32} \omega_{22} \Delta_3 = 0, \quad (174)$$

где

$$\Delta_1 = -i v_{42} \omega_{21} + i v_{41} \omega_{22} u_{22}; \quad (175)$$

$$\Delta_2 = -i v_{42} u_{22} + \omega_{22} u_{32} - r_{42} \omega_{22} u_{32} + i v_{42}; \quad (176)$$

$$\Delta_3 = -i v_{41} u_{32} + \omega_{21} - r_{42} \omega_{21} + i v_{41}. \quad (177)$$

Уравнение совместности (174) может быть весьма просто приведено к виду

$$\Delta_1' + \Delta_2' \omega_{21} - \Delta_3' \omega_{32} = 0, \quad (178)$$

где

$$\Delta_1' = 2(v_{41} \omega_{22} u_{22} - v_{42} \omega_{21}) \sin \frac{\gamma_{32}}{2} e^{i \frac{\gamma_{32}}{2}},$$

$$\Delta_2' = -i v_{42} u_{22} + \omega_{22} u_{32} - r_{42} \omega_{22} u_{32},$$

$$\Delta_3' = (-i v_{41} u_{32} + \omega_{21} - r_{42} \omega_{21} + i v_{41}) u_{32}$$

комплексные числа, зависящие от заданных величин. По аналогии с решением (142) уравнения (138) имеем, полагая $\Delta_k = x_k + iy_k$ ($k=1, 2, 3$),

$$\left. \begin{aligned} \omega_{31} &= \frac{x_3 y_1 - y_3 x_1}{x_2 y_3 - y_2 x_3}; \\ \omega_{32} &= \frac{x_2 y_1 - y_2 x_1}{x_2 y_3 - y_2 x_3}, \end{aligned} \right\} \quad (179)$$

значения x_j и y_j вычисляются по формулам

$$x_1 = -v_{41} \omega_{21} \sin \gamma_{22}; \quad (180)$$

$$y_1 = v_{41} \omega_{21} \cos \gamma_{22} - v_{42} \omega_{21}; \quad (181)$$

$$x_2 = \omega_{22} \cos \gamma_{22} - v_{42} \cos \gamma_{22} - r_{42} \omega_{22} \cos \gamma_{22}; \quad (182)$$

$$y_2 = \omega_{22} \sin \gamma_{22} - v_{42} \sin \gamma_{22} - r_{42} \omega_{22} \sin \gamma_{22} + v_{42}; \quad (183)$$

$$x_3 = v_{41} \sin \gamma_{22} + \omega_{21} - r_{42} \omega_{21}; \quad (184)$$

$$y_3 = v_{41} (1 - \cos \gamma_{22}). \quad (185)$$

Графическое решение уравнения совместности (178) выполняется по схеме, изображенной на рис. 48. Считая γ_{22} заданным и ω_{21} определенным из уравнения совместности, находим неизвестные z_1, z_2, z_3 из первых трех уравнений системы (170)

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\delta_j}{\delta_0} \quad (j=1, 2, 3);$$

$$\delta_0 = u_{22} \omega_{31} + \omega_{31} - u_{32} \omega_{21} - \omega_{31}; \quad (186)$$

$$\delta_1 = u_{22} \omega_{31} - i v_{41} u_{22} + r_{42} \omega_{21} + i v_{41} u_{22} - u_{32} \omega_{21} - r_{42} \omega_{31}; \quad (187)$$

$$\delta_2 = \omega_{31} - i v_{41} u_{22} + i v_{41} - r_{42} \omega_{31}; \quad (188)$$

$$\delta_3 = \omega_{21} - i v_{41} u_{22} + i v_{41} - r_{42} \omega_{21}. \quad (189)$$

Подставляя найденные значения δ_j в первое уравнение системы (170), умножая на $\delta_0 \neq 0$ и перенося все члены в левую часть, получим векторное уравнение

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 = 0, \quad (190)$$

определяющее искомый механизм в начальном его положении.

Полагая кривошип проектируемого механизма вращающимся с постоянной угловой скоростью $\omega = \text{const}$, упростим задачу, положив $\omega_{21} = \omega_{22} = 1$.

При сделанном допущении, согласно формулам (175), (176), (177), величины $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ выразятся соответственно

$$\Delta_1 = -i v_{42} + i v_{41} u_{22}; \quad (191)$$

$$\Delta_2 = -i v_{42} u_{22} - r_{42} u_{22} + u_{22} + i v_{42}; \quad (192)$$

$$\Delta_3 = -i v_{41} u_{22} + 1 - r_{42} + i v_{41}. \quad (193)$$

Значения компонентов x_k и y_k определяются формулами

$$x_1 = -v_{41} \sin \gamma_{22}; \quad (194)$$

$$y_1 = v_{41} \cos \gamma_{22} - v_{42}; \quad (195)$$

$$x_2 = v_{42} \sin \gamma_{22} + \cos \gamma_{22} (1 - r_{42}); \quad (196)$$

$$y_2 = v_{42} (1 - \cos \gamma_{22}) + \sin \gamma_{22} (1 - r_{42}); \quad (197)$$

$$x_3 = v_{41} \sin \gamma_{22} - (r_{42} - 1); \quad (198)$$

$$y_3 = v_{41} (1 - \cos \gamma_{22}). \quad (199)$$

Уравнения (194), (195) и (196), (197) разрешены соответственно на номограммах № 26, 27 и 28, 29.

Уравнения (198) и (199) типа

$$x_k = v_{41} \sin \gamma_{jp} - \omega_{jq} (r_{42} - 1), \quad (200)$$

$$y_k = v_{41} (1 - \cos \gamma_{jp}) \quad (201)$$

разрешены на номограммах № 30 и 31. Таким образом, для определения величин x_3 и y_3 следует воспользоваться номограммами № 30 и 31, положив

$$\gamma_{jp} = \gamma_{22} \text{ и } \omega_{jq} = \omega_{21} = 1.$$

Ограничимся рассмотрением таких задач, в которых скорость кривошипа ω_{2k} принята за единицу, а угловые скорости шатуна ω_{3k} и линейные скорости ползушки v_{4k} изменяются в пределах от 0 до 1.

Принятые пределы переменных охватывают достаточно большую группу практически пригодных механизмов.

Номограмма № 26 для определения величины x_1 состоит из трех шкал значений γ_{22} , x_1 и φ_{41} . Соединяя заданные значения φ_{41} и γ_{22} прямой линией в пересечении с ответной шкалой, находим искомую величину.

Номограмма № 27 для определения величины y_1 состоит из бинарного поля значений φ_{42} и φ_{41} , ответной шкалы y_1 и шкалы значений γ_{22} .

Соединяя точку пересечения значений φ_{42} и φ_{41} с заданным значением γ_{22} прямой линией в пересечении с ответной шкалой, находим искомую величину — y_1 .

Номограмма № 28 (или № 29) для определения величин x_2 (или y_2) состоит из шкалы значений φ_{42} , ответной шкалы x_2 (или y_2) и бинарного поля значений γ_{22} и r_{42} .

Находя точку пересечения значений γ_{22} , r_{42} и соединяя ее с заданным значением φ_{42} в пересечении с ответной шкалой, найдем искомую величину x_2 (или y_2). При определении величины x_2 следует в зависимости от того, $\gamma_{22} > 180^\circ$ или $\gamma_{22} < 180^\circ$, брать φ_{42} в нижней или верхней части шкалы.

Номограмма № 30 для определения величины x_k состоит из бинарной шкалы значений ω_{jq} и r_{42} , вспомогательной немой шкалы I, бинарного поля значений φ_{41} , x_k и шкалы значений γ_{jp} .

Вынося по горизонтали на шкалу I точку пересечения значений ω_{jq} , r_{42} , соединяем найденную отметку шкалы I с заданным значением γ_{jp} . Точка пересечения этой прямой с заданным значением φ_{41} определит в поле значений x_k , φ_{41} искомую величину x_k . Номограмма № 31 для определения y_k состоит из шкалы γ_{jp} , ответной шкалы y_k и шкалы значений φ_{41} . Соединяя заданные значения γ_{jp} и φ_{41} прямой линией в пересечении с ответной шкалой, найдем искомую величину y_k .

При определении величин x_3 и y_3 из номограмм № 30 и 31 следует иметь в виду, что $\gamma_{jp} = \gamma_{22}$ и $\omega_{jq} = \omega_{21} = 1$. Зная величины x_k , y_k ($k=1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, определим величины r_k и φ_k ($k=1, 2, 3$). Величины r_1 , φ_1 , r_2 , φ_2 , r_3 , φ_3 необходимы для решения уравнения совместности (174).

Как показано в главе XII, уравнение (174) легко привести к виду

$$r_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{32}) - r_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3) + r_2 \omega_{31} \sin(\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{32}) = 0. \quad (202)$$

Вводя обозначение

$$F = r_1 [\sin(\varphi_1 - \varphi_3) - \sin(\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{32})], \quad (203)$$

приведем его к виду

$$\omega_{31} = \frac{F}{r_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{32})}. \quad (204)$$

Уравнение (203) для определения величины F разрешено на номограмме № 23, а уравнение (204) для определения величины ω_{31} разрешено на номограмме № 25.

Как доказывает анализ уравнения (188), величина ω_{31} заключена в пределах $0 \leq \omega_{31} \leq 1$; для значений F от 0 до 1, при изменении величины $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{32}$ от 0° до 180° и для значений F от -1 до 0, при изменении величины $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{32}$ от 180° до 360° .

Таким образом, номограмма № 23 позволяет установить область значений параметра γ_{32} , для которой существуют интересующие нас значения ω_{31} . Схема пользования номограммой № 23 для определения F описана в главе XI. Если величина F достаточно мала, то номограмму № 23 следует использовать лишь для установления интересующей нас области значений γ_{32} , уточняя численное значение величины F аналитическим расчетом.

Определив некоторую область значений γ_{32} и рассчитав для отдельных ее значений величину F по формуле (187), пользуясь номограммой № 25, найдем искомое значение параметра ω_{31} угловой скорости шатуна.

Как видно из формул (186), (188) и (189), проекции векторов δ_1 , δ_2 , δ_3 определяются уравнениями

$$x_0 = \omega_{31} (\cos \gamma_{22} - 1) + (1 - \cos \gamma_{32}); \quad (205)$$

$$y_0 = \omega_{31} \sin \gamma_{22} - \sin \gamma_{32}; \quad (206)$$

$$x_2 = v_{41} \sin \gamma_{32} - \varphi_{31} (r_{42} - 1); \quad (207)$$

$$y_2 = v_{41} (1 - \cos \gamma_{32}); \quad (208)$$

$$x_3 = v_{41} \sin \gamma_{32} - (r_{42} - 1); \quad (209)$$

$$y_3 = v_{41} (1 - \cos \gamma_{32}). \quad (210)$$

Так как уравнения (207) и (208) однотипны с уравнениями (200), (201), то величины x_2 и y_2 определяются из номограмм № 30 и 31.

Схема 11

Искомые величины	Параметры номограмм № 30 и 31	ω_{jq}	r_{42}	γ_{jp}	v_{41}
		ω_{31}	r_{42}	γ_{32}	v_{41}
x_2 и y_2					

При этом для определения величин x_2 и y_2 полагаем $\gamma_{jp} = \gamma_{32}$ и $\omega_{jq} = \omega_{31}$. Величины x_3 и y_3 нам уже известны как $\delta_3 = \Delta_3$; величины x_0 и y_0 определяются из номограмм № 32 и 33 известного нам уже типа (глава IX). Определив величины x_k и y_k ($k=1, 2, 3$), найдем x_1 и y_1 из условий

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_0 + x_2 - x_3; \\ y_1 &= y_0 + y_2 - y_3. \end{aligned} \right\} \quad (211)$$

Зная величины x_k и y_k ($k=0, 1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, определим значения r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$). Величины $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ определяют начальное положение механизма, r_0 — направляющую ползушки, r_1 — неподвижное звено, определяющее положение оси вращения кривошипа, r_2 — кривошип, r_3 — шатун.

Дезаксиал a определится по номограмме № 16.

Пример 13. Спроектировать кривошипно-шатунный механизм, у которого при заданных двух положениях кривошипа $\gamma_{23} = 60^\circ$ и ползушки $r_{42} = 1,4$ выполняются заданные условия для скоростей ползушки

$$v_{41} = 0,55; \quad v_{42} = 0,2.$$

По номограммам № 26, 27, 28, 29, 30, 31 находим величины $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$

$$\begin{aligned} x_1 &= -0,476; & y_1 &= 0,075; \\ x_2 &= -0,027; & y_2 &= 0,248; \\ x_3 &= -0,077; & y_3 &= 0,275. \end{aligned}$$

Эти же величины, найденные аналитическим расчетом, равны

$$\begin{aligned} x_1 &= -0,4763; & y_1 &= 0,075; \\ x_2 &= -0,0267; & y_2 &= -0,2464; \\ x_3 &= 0,0763; & y_3 &= 0,275. \end{aligned}$$

Зная величины x_k, y_k ($k=1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, найдем величины r_k и φ_k

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,482; & \varphi_1 &= 171^\circ 00'; \\ r_2 &= 0,250; & \varphi_2 &= 264^\circ 00'; \\ r_3 &= 0,286; & \varphi_3 &= 74^\circ 15'. \end{aligned}$$

Эти величины, найденные аналитическим расчетом, равны

$$\begin{aligned} r_1 &= 0,4822; & \varphi_1 &= 171^\circ 03'; \\ r_2 &= 0,2479; & \varphi_2 &= 263^\circ 48'; \\ r_3 &= 0,2854; & \varphi_3 &= 74^\circ 29'. \end{aligned}$$

Сравнение номографического и аналитического результатов показывает, что величина ошибки при работе по номограммам находится в пределах 0,5—1,0%. Зная значения r_k и φ_k ($k=1, 2, 3$) по номограмме № 23, установим ту область значений γ_{32} , для которой величина $0 \leq \omega_{31} \leq 1$.

Задаваясь различными значениями $\gamma_{32} = 30^\circ, 60^\circ, \dots, 330^\circ$, находим значения $\varphi_1 - \varphi_3$, $\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{32}$ и определяем соответствующие значения F .

На рис. 52 дан график зависимости величины ω_{31} в функции параметра γ_{32} и выделен участок от 0° до 60° , для которого выполняются заданные пределы изменения искомого значения ω_{31} . Положим $\gamma_{32} = 30^\circ$ и спроектируем кривошипно-шатунный механизм, удовлетворяющий заданным условиям для положений и скоростей.

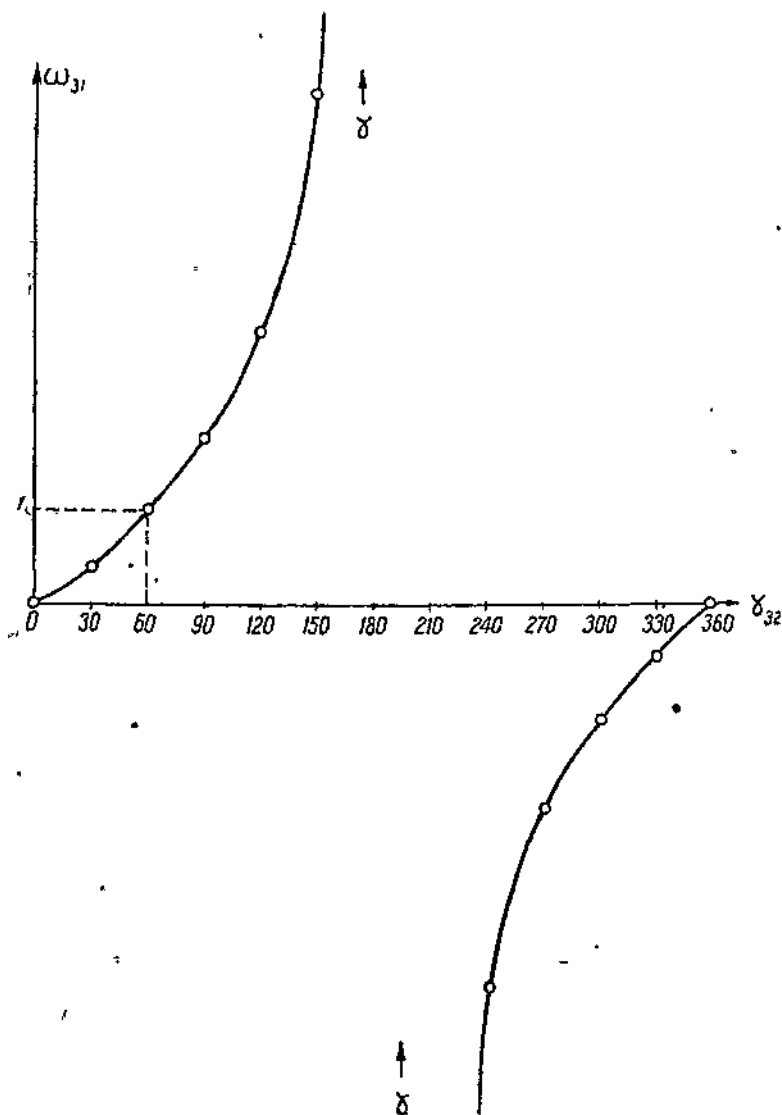


Рис. 52.

Найдем $\varphi_1 - \varphi_3 = 96^\circ 45'$; $\varphi_1 - \varphi_3 - \gamma_{32} = 66^\circ 45'$; зная, что $r_1 = 0,482$, по номограмме № 23 определим величину F .

$$F = 0,03.$$

Так как величина $\varphi_2 - \varphi_3 - \gamma_{32} = 159^\circ 45'$ и $F > 0$, то, следовательно,

По номограммам № 32 и 33 определим величины x_0 и y_0

$$x_0 = -0,076; \quad y_0 = -0,14.$$

Величины x_3 и y_3 уже известны из условия $\delta_3 = \Delta_3$

$$x_3 = 0,077; \quad y_3 = 0,275.$$

Величины x_1 и y_1 определяем согласно условию (211)

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 + x_2 - x_3 = -0,043; \\ y_1 &= y_0 + y_2 - y_3 = -0,340. \end{aligned}$$

Зная x_k, y_k ($k=0, 1, 2, 3$) по номограммам № 6 и 7, находим величины r_k и φ_k , где r_0 — направляющая ползушки, r_1 — звено, определяющее положение оси вращения кривошипа, r_2 — кривошип, r_3 — шатун. Углы φ_k определяют начальное положение механизма

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,161; & \varphi_0 &= 241^\circ 20'; \\ r_1 &= 0,345; & \varphi_1 &= 262^\circ 40'; \\ r_2 &= 0,136; & \varphi_2 &= 34^\circ 30'; \\ r_3 &= 0,286; & \varphi_3 &= 74^\circ 15'; \end{aligned}$$

Величину дезаксиала a найдем по номограмме № 16

$$\widehat{r_1, r_0} = 20^\circ; \quad a = 0,119.$$

Эти же величины, найденные аналитически, равны

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,15699; & \varphi_0 &= 241^\circ 25'; \\ r_1 &= 0,34197; & \varphi_1 &= 262^\circ 40'; \\ r_2 &= 0,1304; & \varphi_2 &= 34^\circ 22'; \\ r_3 &= 0,28539; & \varphi_3 &= 74^\circ 29'; \\ (\widehat{r_1, r_0}) &= 21^\circ 15'; & a &= 0,1239. \end{aligned}$$

Найденный механизм дан на рис. 53.

Если положить $\gamma_{32} = 20^\circ, 40^\circ$, то мы получим другие механизмы, удовлетворяющие заданным условиям (рис. 55 и 54).

Таблица 18

№ п. п.	№ рис.	γ_{32}	ω_{31}	δ_0		δ_1		δ_2		δ_3	
				r_0	φ_0	r_1	φ_1	r_2	φ_2	r_3	φ_3
1	54	20°	0,2183	0,1606	$252^\circ 18'$	0,3956	$266^\circ 28'$	0,1061	$18^\circ 13'$	0,2854	$74^\circ 29'$
2	55	40°	0,6058	0,1368	$239^\circ 44'$	0,2667	$262^\circ 40'$	0,1700	$49^\circ 10'$	0,2854	$74^\circ 29'$

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ГЛАВА XIII

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШАРНИРНОГО ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПО ЗНАЧЕНИЯМ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ ЗВЕНЬЕВ, ЗАДАННЫМ В ОДНОМ ПОЛОЖЕНИИ МЕХАНИЗМА

Напишем уравнения (3), (5) и (6) для одного положения шарнирного четырехзвенника

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1; \\ r_1 \omega_{11} e^{i\varphi_1} + r_2 \omega_{21} e^{i\varphi_2} + r_3 \omega_{31} e^{i\varphi_3} &= 0; \\ r_1 e^{i\varphi_1} (\varepsilon_{11} + i\omega_{11}^2) + r_2 e^{i\varphi_2} (\varepsilon_{21} + i\omega_{21}^2) + r_3 e^{i\varphi_3} (\varepsilon_{31} + i\omega_{31}^2) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (212)$$

Обозначая $z_j = r_j e^{i\varphi_j}$ и решая систему линейных уравнений методом определителей, получим

$$z_j = (-1)^{j+1} \frac{\delta_j}{\delta_0} \quad (j=1, 2, 3).$$

Подставляя значения z_j в первое уравнение системы, сокращая на $\delta_0 \neq 0$ и перенося все слагаемые в левую часть, получим

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 = 0, \quad (213)$$

где δ_j — следующие определители (в развернутом виде)

$$\delta_0 = (\varepsilon_{31} + i\omega_{31}^2)(\omega_{21} - \omega_{11}) + (\varepsilon_{21} + i\omega_{21}^2)(\omega_{11} - \omega_{31}) + (\varepsilon_{11} + i\omega_{11}^2)(\omega_{31} - \omega_{21}); \quad (214)$$

$$\delta_1 = \omega_{21}(\varepsilon_{31} + i\omega_{31}^2) - \omega_{31}(\varepsilon_{21} + i\omega_{21}^2); \quad (215)$$

$$\delta_2 = \omega_{11}(\varepsilon_{31} + i\omega_{31}^2) - \omega_{31}(\varepsilon_{11} + i\omega_{11}^2); \quad (216)$$

$$\delta_3 = \omega_{11}(\varepsilon_{21} + i\omega_{21}^2) - \omega_{21}(\varepsilon_{11} + i\omega_{11}^2). \quad (217)$$

Для вычисления $\delta_k = x_k + iy_k$ имеем

$$x_0 = \varepsilon_{31}(\omega_{21} - \omega_{11}) + \varepsilon_{21}(\omega_{11} - \omega_{31}) + \varepsilon_{11}(\omega_{31} - \omega_{21}); \quad (218)$$

$$y_0 = \omega_{31}^2(\omega_{21} - \omega_{11}) + \omega_{21}^2(\omega_{11} - \omega_{31}) + \omega_{11}^2(\omega_{31} - \omega_{21}); \quad (219)$$

$$x_1 = \omega_{21}\varepsilon_{31} - \omega_{31}\varepsilon_{21}; \quad (220)$$

$$y_1 = \omega_{21}\omega_{31}(\omega_{31} - \omega_{21}); \quad (221)$$

$$x_2 = \omega_{11}\varepsilon_{31} - \omega_{31}\varepsilon_{11}; \quad (222)$$

$$y_2 = \omega_{11}\omega_{31}(\omega_{31} - \omega_{11}); \quad (223)$$

$$x_3 = \omega_{11}\varepsilon_{21} - \omega_{21}\varepsilon_{11}; \quad (224)$$

$$y_3 = \omega_{11}\omega_{21}(\omega_{21} - \omega_{11}). \quad (225)$$

В соответствии с уравнением (213), проекции векторов δ_k ($k=0, 1, 2, 3$) связаны условием

$$\left. \begin{aligned} x_0 - x_1 + x_2 - x_3 &= 0, \\ y_0 - y_1 + y_2 - y_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (226)$$

Из уравнений (215), (216), (217), определяющих векторы $\delta_1, \delta_2, \delta_3$, следует, что они могут быть приведены к виду

$$\delta_k = \omega_{j1}(\varepsilon_{n1} + i\omega_{n1}^2) - \omega_{n1}(\varepsilon_{j1} + i\omega_{j1}^2), \quad (227)$$

откуда

$$x_k = \omega_{j1} \varepsilon_{n1} - \omega_{n1} \varepsilon_{j1}, \quad (228)$$

$$y_k = \omega_{j1} \omega_{n1}^2 - \omega_{n1} \omega_{j1}^2, \quad (229)$$

Величины x_1 и y_1 определяются из формул (228) и (229), если положить $j=2$ и $n=3$. Если положить в формулах (228) и (229) $j=1$ и $n=3$, то найдем величины x_2 и y_2 . Наконец, величины x_3 и y_3 определяются из формул (228) и (229), если положить $j=1$ и $n=2$.

Значения величин ω_{j1} , ε_{n1} , ω_{n1} и ε_{j1} , определяющих компоненты x_1 , y_1 , x_2 , y_2 и x_3 , y_3 , устанавливаются схемой 12.

Схема 12

№ п.п.	x_k, y_k	ε_{j1}	ω_{n1}	ω_{j1}	ε_{n1}
1	x_1, y_1	ε_{21}	ω_{31}	ω_{21}	ε_{31}
2	x_2, y_2	ε_{11}	ω_{31}	ω_{11}	ε_{31}
3	x_3, y_3	ε_{11}	ω_{21}	ω_{11}	ε_{21}

Уравнения (228) и (229) для x_k и y_k разрешены соответственно на номограммах № 34 и 35; при этом рассмотрение ограничено теми задачами, в которых величины угловых скоростей и ускорений шатуна и коромысла не превосходят величин угловых скоростей и угловых ускорений кривошипа, принятых за единицу.

При принятых ограничениях величины ω_{j1} , ε_{n1} , ω_{n1} и ε_{j1} будут изменяться в пределах от 0 до 1

$$0 \leq \omega_{j1}; \quad \varepsilon_{n1}, \quad \omega_{n1}, \quad \varepsilon_{j1} \leq 1.$$

Номограмма № 34 для определения x_k состоит из бинарной шкалы I значений ω_{n1} и ε_{j1} , бинарного поля значений ε_{n1} , значений искомой величины x_k и равномерной шкалы значений ω_{j1} .

Для определения x_k по заданным значениям ω_{j1} , ε_{n1} , ω_{n1} , ε_{j1} поступаем следующим образом: определяем точку пересечения значений ω_{n1} и ε_{j1} , сносим ее по горизонтали на вспомогательную шкалу I и соединяем найденную отметку вспомогательной шкалы I с значением ω_{j1} . Пересечение этой прямой с заданным значением ε_{n1} определит искомую величину x_k .

Номограмма № 35 для определения y_k состоит из бинарного поля значений ω_{n1} и ω_{j1} , ответной шкалы y_k и шкалы значений ω_{n1} .

Для определения величины y_k по заданным значениям ω_{n1} и ω_{j1} находим в поле значений ω_{n1} и ω_{j1} точку их пересечения и соединяем прямой ее с заданным значением ω_{n1} . Пересечение этой прямой с ответной шкалой y_k даст искомую величину.

Найдя из номограмм № 34 и 35 величины x_1 , y_1 , x_2 , y_2 и x_3 , y_3 , определим величины x_0 и y_0 из условия (226)

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_1 - x_2 + x_3, \\ y_0 &= y_1 - y_2 + y_3. \end{aligned} \right\} \quad (230)$$

Зная величины x_k и y_k ($k=0, 1, 2, 3$) и пользуясь номограммами № 6 и 7, определим размеры звеньев проектируемого механизма r_k ($k=0, 1, 2, 3$) и углы φ_k ($k=0, 1, 2, 3$). Для того чтобы построить найденный механизм, нужно воспользоваться формулой (205). Из произвольной точки A (рис. 55) под углом φ_0 к оси x выбранной произвольно системы координат отложим отрезок

$AB=r_0$. Далее, из точки B под углом $\varphi_1 + \pi$ к линии, параллельной Ax , проводим отрезок $BC=r_1$ и из точки C под углом φ_2 к линии, параллельной Ax , отрезок $CD=r_2$. Отрезок $DA=r_3$, образующий с линией, параллельной Ax , угол $\varphi_3 + \pi$, будет замыкающим четырехугольника $ABCD$. Найденный четырехугольник $ABCD$ будет искомым шарнирным четырехзвенным механизмом, в начальном положении которого выполняются заданные условия.

Если сделать допущение, что кривошип проектируемого механизма вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_{1k} = \text{const}$ и, следовательно, его угловое ускорение $\varepsilon_{11} = 0$, то согласно (214) — (217) формулы для определения x_k и y_k ($k=0, 2, 3$) несколько упростятся:

$$\left. \begin{aligned} \delta_0 \quad x_0 &= \varepsilon_{31}(\omega_{31} - 1) + \varepsilon_{21}(1 - \omega_{31}); \\ y_0 &= \omega_{31}^2(\omega_{21} - 1) + \\ &+ \omega_{21}^2(1 - \omega_{31}) + \omega_{31} - \omega_{21}; \end{aligned} \right\} \quad (231)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 \quad x_1 &= \omega_{21}\varepsilon_{21} - \omega_{31}\varepsilon_{21}; \\ y_1 &= \omega_{21}\omega_{31}^2 - \omega_{21}^2\omega_{31}; \end{aligned} \right\} \quad (232)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_2 \quad x_2 &= \varepsilon_{31}; \\ y_2 &= \omega_{31}^2 - \omega_{31}; \end{aligned} \right\} \quad (233)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta_3 \quad x_3 &= \varepsilon_{21}; \\ y_3 &= \omega_{21}^2 - \omega_{21}. \end{aligned} \right\} \quad (234)$$

Схема решения задачи останется при этом той же, а пользование номограммами упростится.

Имея заданными значения скоростей и ускорений для кривошипа и коромысла (или шатуна) и варьируя значениями скоростей и ускорений для шатуна (или коромысла), найдем интересные нас механизмы.

Существенно отметить, что в рассматриваемой общей постановке задачи найденные механизмы не всегда будут удовлетворять условию Грасгофа. Так как общность самого метода не позволяет получить достаточно простых зависимостей между параметрами скоростей и ускорений для механизмов, удовлетворяющих условию Грасгофа, то естественно, если эти условия определяются в каждом конкретном случае.

Пример 14. Спроектировать шарнирный четырехзвенный механизм по заданным значениям скоростей и ускорений кривошипа, шатуна и коромысла, в одном положении механизма

$$\begin{aligned} \omega_{11} &= 1; & \varepsilon_{11} &= 0; & \omega_{21} &= 0,125; \\ \varepsilon_{21} &= 0,12; & \omega_{31} &= 0,65; & \varepsilon_{31} &= 0,12. \end{aligned}$$

Согласно схеме 12 составим таблицу.

Таблица 19

x_k, y_k	ε_{j1}	ω_{j1}	ω_{j1}	ε_{j1}
x_1, y_1	$\varepsilon_{21} = 0,12$	$\omega_{31} = 0,65$	$\omega_{21} = 0,125$	$\varepsilon_{31} = 0,12$
x_2, y_2	$\varepsilon_{11} = 0$	$\omega_{31} = 0,65$	$\omega_{11} = 1$	$\varepsilon_{31} = 0,12$
x_3, y_3	$\varepsilon_{11} = 0$	$\omega_{21} = 0,125$	$\omega_{11} = 1$	$\varepsilon_{21} = 0,12$

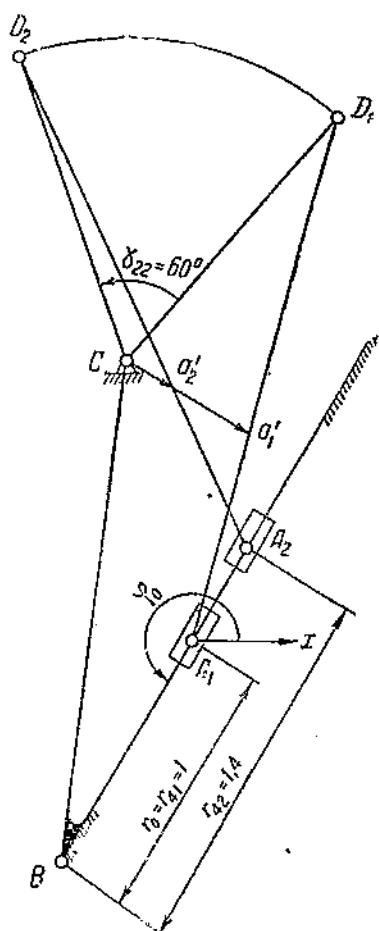


Рис. 55.

Пользуясь номограммами № 34 и 35, определим компоненты x_k, y_k ($k=1, 2, 3$) векторов x_k, y_k ($k=1, 2, 3$)

$$\begin{aligned}x_1 &= -0,064; \\y_1 &= 0,0420; \\x_2 &= -0,12; \\y_2 &= -0,228; \\x_3 &= 0,12; \\y_3 &= -0,11.\end{aligned}$$

Подсчитав эти же величины по формулам (232), (233), (234), найдем

$$\begin{aligned}x_1 &= -0,063; \\y_1 &= 0,04265; \\x_2 &= 0,12; \\y_2 &= -0,227; \\x_3 &= 0,12; \\y_3 &= -0,109375.\end{aligned}$$

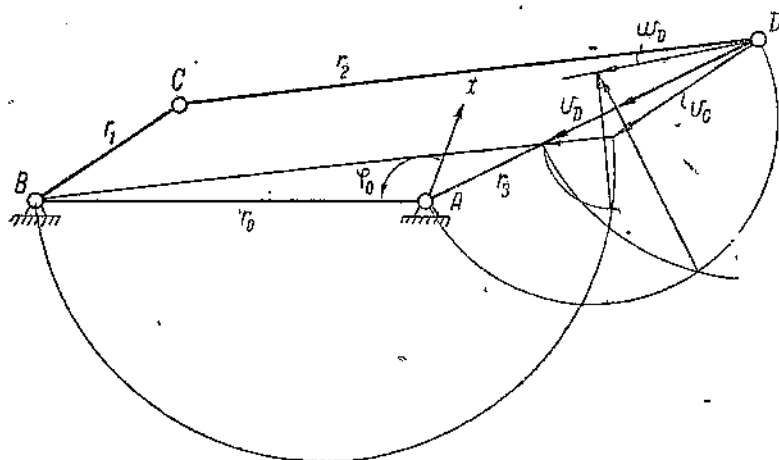


Рис. 56.

Пользуясь формулами (230) и значениями x_k, y_k ($k=1, 2, 3$), найденными из номограммы, определим величины x_0 и y_0

$$x_0 = -0,064; \quad y_0 = 0,160.$$

Эти же величины, найденные аналитически, равны

$$x_0 = -0,063; \quad y_0 = 0,16078.$$

Зная величины x_k, y_k ($k=0, 1, 2, 3$) и пользуясь номограммами № 6 и 7, определим размеры звеньев r_k проектируемого механизма и их начальные положения φ_k

$$\begin{aligned}r_0 &= 0,173; & \varphi_0 &= 112^\circ; \\r_1 &= 0,0765; & \varphi_1 &= 146^\circ 40'; \\r_2 &= 0,258; & \varphi_2 &= 297^\circ 30'; \\r_3 &= 0,154; & \varphi_3 &= 317^\circ.\end{aligned}$$

Эти же величины, найденные аналитически, равны

$$\begin{aligned}r_0 &= 0,17268; & \varphi_0 &= 111^\circ 24'; \\r_1 &= 0,07608; & \varphi_1 &= 145^\circ 54'; \\r_2 &= 0,25721; & \varphi_2 &= 297^\circ 49'; \\r_3 &= 0,16236; & \varphi_3 &= 317^\circ 39'.$$

Таким образом, величина ошибки номографического результата не превосходит 2% . Найденный механизм показан на рис. 56. Полученные результаты позволяют считать весьма целесообразным применение номограмм для подбора механизма, удовлетворяющего конструктивным или технологическим условиям.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕЗАКСИАЛЬНОГО КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА ПО ЗАДАНЫМ СКОРОСТЯМ И УСКОРЕНИЯМ ДВУХ ЗВЕНЬЕВ В ОДНОМ ПОЛОЖЕНИИ МЕХАНИЗМА

Напишем уравнения (3), (8) и (9) для одного положения дезаксиального кривошипно-шатунного механизма:

$$\left. \begin{aligned} r_1 e^{i\varphi_1} + r_2 e^{i\varphi_2} + r_3 e^{i\varphi_3} &= 1; \\ r_2 \omega_{21} e^{i\varphi_2} + r_3 \omega_{31} e^{i\varphi_3} &= -i v_{41}; \\ r_2 (\varepsilon_{21} + i \omega_{21}^2) e^{i\varphi_2} + r_3 (\varepsilon_{31} + i \omega_{31}^2) e^{i\varphi_3} &= -i \omega_{41} \end{aligned} \right\} \quad (235)$$

После подстановки решения этой системы в первое из написанных уравнений и сокращения результата на $\delta_0 \neq 0$, получим

$$\delta_0 - \delta_1 + \delta_2 - \delta_3 = 0, \quad (236)$$

где

$$\delta_0 = \omega_{21} (\varepsilon_{31} + i \omega_{31}^2) - \omega_{31} (\varepsilon_{21} + i \omega_{21}^2); \quad (237)$$

$$\delta_1 = \omega_{21} (\varepsilon_{31} + i \omega_{31}^2) - \omega_{31} (\varepsilon_{21} + i \omega_{21}^2) - i v_{41} (\varepsilon_{31} + i \omega_{31}^2) - i v_{41} (\varepsilon_{21} + i \omega_{21}^2) - i \omega_{41} \omega_{31}; \quad (238)$$

$$\delta_2 = i v_{41} (\varepsilon_{31} + i \omega_{31}^2) - i \omega_{41} \omega_{31}; \quad (239)$$

$$\delta_3 = i v_{41} (\varepsilon_{21} + i \omega_{21}^2) - i \omega_{41} \omega_{21}. \quad (240)$$

Для вычисления δ_k ($k=0, 1, 2, 3$) имеем:

$$x_0 = \omega_{21} \varepsilon_{31} - \omega_{31} \varepsilon_{21}; \quad (241)$$

$$\delta_0 \quad y_0 = \omega_{21} \omega_{31}^2 - \omega_{31} \omega_{21}^2; \quad (242)$$

$$x_1 = \omega_{21} \varepsilon_{31} - \omega_{31} \varepsilon_{21} - v_{41} \omega_{31}^2 + v_{41} \omega_{21}^2; \quad (243)$$

$$\delta_1 \quad y_1 = \omega_{21} \omega_{31} (\omega_{31} - \omega_{21}) + v_{41} \varepsilon_{31} - \omega_{41} \omega_{31} - v_{41} \varepsilon_{21} + \omega_{41} \omega_{21}; \quad (244)$$

$$x_2 = -v_{41} \omega_{31}^2; \quad (245)$$

$$\delta_2 \quad y_2 = v_{41} \varepsilon_{31} - \omega_{41} \omega_{31}; \quad (246)$$

$$x_3 = -v_{41} \omega_{21}^2; \quad (247)$$

$$\delta_3 \quad y_3 = v_{41} \varepsilon_{21} - \omega_{41} \omega_{21}. \quad (248)$$

В соответствии с уравнением (236) проекции векторов δ_k ($k=0, 1, 2, 3$) связаны условием

$$\left. \begin{aligned} x_0 - x_1 + x_2 - x_3 &= 0, \\ y_0 - y_1 + y_2 - y_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (249)$$

Из уравнений (239), (240), определяющих векторы δ_2 и δ_3 , следует, что они могут быть приведены к виду

$$\delta_k = i v_{41} (\varepsilon_{n1} + i \omega_{n1}^2) - i \omega_{n1} \omega_{41}, \quad (250)$$

откуда

$$x_k = -v_{41} \omega_{n1}^2, \quad (251)$$

$$y_k = v_{41} \varepsilon_{n1} - \omega_{n1} \omega_{41}. \quad (252)$$

Величины x_2 и y_2 определяются из формул (251) и (252), если положить $n=3$. Если положить в формулах (251) и (252) $n=2$, то найдем величины x_3 и y_3 .

Значения величин v_{41} , ε_{n1} , ω_{n1} и ω_{41} , определяющие компоненты x_2 , y_2 и x_3 , y_3 , устанавливаются схемой

№ пп.	x_k, y_k	w_{41}	ω_{n1}	v_{41}	ε_{n1}
1	x_2, y_2	w_{41}	ω_{31}	v_{41}	ε_{31}
2	x_3, y_3	w_{41}	ω_{21}	v_{41}	ε_{21}

Компоненты x_2, y_2 и x_3, y_3 отличаются только первыми индексами n у $\omega_{n1}, \varepsilon_{n1}$. При этом у компонентов x_2 и y_2 индекс $n=3$, а у компонентов x_3 и y_3 индекс $n=2$.

Так как величина δ_0 определяется уравнением, однотипным с уравнением (227) предыдущей главы (XIII), то компоненты x_0 и y_0 определяются из уже рассмотренных нами номограмм № 34 и 35, причем для них $j=2$ и $n=3$. Уравнения (251), (252) для x_k и y_k разрешены соответственно на номограммах № 36 и 37. В этой задаче мы также ограничиваемся рассмотрением лишь тех случаев, когда величины скоростей и ускорений (ω, ε и v) изменяются в пределах от 0 до 1 и ускорение w_{41} от 0 до 1,5

$$0 \leq \omega_{n1}, \varepsilon_{n1}, v_{41} \leq 1; 0 < w_{41} \leq 1,5.$$

Номограмма № 36 для определения x_k состоит из двух шкал ω_{n1} и v_{41} , лежащих на эллипсе, и ответной шкалы x_k . Соединяя прямой линией заданные значения ω_{n1} и v_{41} в пересечении с ответной шкалой, найдем искомую величину x_k .

Номограмма № 37 для определения y_k состоит из бинарной шкалы I значений w_{41} и ω_{n1} , из бинарного поля значений ε_{n1} и ответной величины y_k и из шкалы значений v_{41} .

Для определения y_k по заданным значениям $w_{41}, \omega_{n1}, v_{41}$ и ε_{n1} поступаем следующим образом.

Определим точку пересечения значений w_{41} и ω_{n1} , сносим ее по горизонтали (эти линии, перпендикулярные к шкале I, проведены на номограмме для всех нанесенных на бинарной шкале значений w_{41}) на вспомогательную шкалу I и соединяем найденную отметку вспомогательной шкалы I с значением v_{41} . Пересечение этой прямой с заданным значением ε_{n1} определит искомую величину y_k .

Определив из номограмм № 34 и 35 величины x_0 и y_0 , а из номограмм № 36 и 37 величины x_2, y_2 и x_3, y_3 , найдем величины x_1, y_1 из условия (249).

Зная величины x_k, y_k ($k=0, 1, 2, 3$) и пользуясь номограммами № 6 и 7, найдем величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие проектируемый дезаксиальный механизм в том положении, для которого выполняются заданные условия для скоростей и ускорений.

При этом величина $r_2=r$ определяет кривошип, величина $r_3=l$ — шатун. Звено r_0 является направляющей ползушки дезаксиального механизма; звено r_1 определяет положение оси вращения кривошипа. Дезаксиал a определится по формуле

$$a = r_1 \cdot \sin | \widehat{(r_1, r_0)} |,$$

разрешенной на номограмме № 16.

Угол $\widehat{(r_1, r_0)}$ определится как разность углов $|\varphi_1 - \varphi_0|$. В том случае, когда абсолютная величина разности углов φ_1 и φ_0 больше 180° , нужно их разность уменьшить на 180° .

Если допустить, что кривошип проектируемого механизма вращается с постоянной угловой скоростью $\omega_{21}=1=\text{const}$ и, следовательно, его угловое

ускорение $\varepsilon_{21}=0$, то формулы (241), (242), (245), (246) (247), (248) для определения x_k и y_k ($k=0, 2, 3$), упростятся

$$\begin{aligned}x_0 &= \varepsilon_{21}; \\y_0 &= \omega_{21}^2 - \omega_{21}; \\x_2 &= -v_{41} \omega_{21}^2; \\y_2 &= v_{41} \varepsilon_{21} - w_{41} \omega_{21}; \\x_3 &= -v_{41}; \\y_3 &= -w_{41}.\end{aligned}$$

Схема решения задачи остается той же. При пользовании номограммами следует брать значения $\omega_{21}=1$ и $\varepsilon_{21}=0$. Существенно отметить, что при сделанных допущениях для ω_{21} и ε_{21} пользование номограммами также значительно упрощается. Варьируя различными значениями параметров ω_{21} и ε_{21} , легко подобрать механизм с кривошипом.

Пример 13. Спроектировать дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм, у которого $\omega_{21}=1$, $\varepsilon_{21}=0$, $\omega_{31}=0,285$, $\varepsilon_{31}=0,175$, $v_{41}=0,681$, $w_{41}=1,15$.

По номограммам № 34 и 35, уже рассмотренным нами, определим величины w_0 и y_0 . При этом индексы номограмм j и n равны соответственно $j=2$ и $n=3$

$$x_0=0,175; \quad y_0=-0,203.$$

Составим, согласно схеме № 13, таблицу.

Т а б л и ц а 20

№ пп.	x_k, y_k	w_{41}	ω_{n1}	v_{41}	ε_{n1}
1	x_2, y_2	$w_{41}=1,15$	$\omega_{21}=0,285$	$v_{41}=0,681$	$\varepsilon_{21}=0,175$
2	x_3, y_3	$w_{41}=1,15$	$\omega_{21}=1$	$v_{41}=0,681$	$\varepsilon_{21}=0$

По номограммам № 36 и 37 определим величины x_2, y_2 и x_3, y_3

$$\begin{aligned}x_2 &= -0,056; & y_2 &= -0,208; \\x_3 &= -0,68; & y_3 &= -1,15.\end{aligned}$$

Подставляя в формулу (253) найденные из номограмм величины x_k, y_k ($k=0, 2, 3$), определим значение x_1 и y_1

$$\begin{aligned}x_1 &= x_0 + x_2 - x_3 = 0,799, \\y_1 &= y_0 + y_2 - y_3 = 0,739.\end{aligned}$$

Эти же величины, найденные аналитически по формулам (241) — (248), равны

$$\begin{aligned}x_0 &= 0,175; & y_0 &= -0,20377; \\x_1 &= 0,800685; & y_1 &= 0,73765; \\x_2 &= -0,05531; & y_2 &= -0,20857; \\x_3 &= -0,681; & y_3 &= -1,15.\end{aligned}$$

Зная найденные из номограмм величины x_k и y_k ($k=0, 1, 2, 3$) и пользуясь номограммами № 6 и 7, найдем величины r_k и φ_k ($k=0, 1, 2, 3$), определяющие искомый механизм в начальном положении

$$\begin{aligned}r_0 &= 0,269; & \varphi_0 &= 310^\circ 45'; \\r_1 &= 1,089; & \varphi_1 &= 42^\circ 45'; \\r_2 &= 0,216; & \varphi_2 &= 255^\circ; \\r_3 &= 1,36; & \varphi_3 &= 239^\circ 30' .\end{aligned}$$

Эти же величины, найденные аналитически, равны

$$\begin{aligned} r_0 &= 0,26858; & \varphi_0 &= 310^\circ 40'; \\ r_1 &= 1,0855; & \varphi_1 &= 42^\circ 23'; \\ r_2 &= 0,21573; & \varphi_2 &= 254^\circ 54'; \\ r_3 &= 1,3364; & \varphi_3 &= 239^\circ 35'. \end{aligned}$$

Метод графического построения найденного механизма указан выше (в частности, в предыдущей главе). Величину дезакснала a можно определить при помощи номограммы № 16, по известным значениям угла r_1, r_0 и величине r_1 :

$$\widehat{(r_1, r_0)} = |\varphi_1 - \varphi_0| = 88^\circ \text{ и } a = 1,09.$$

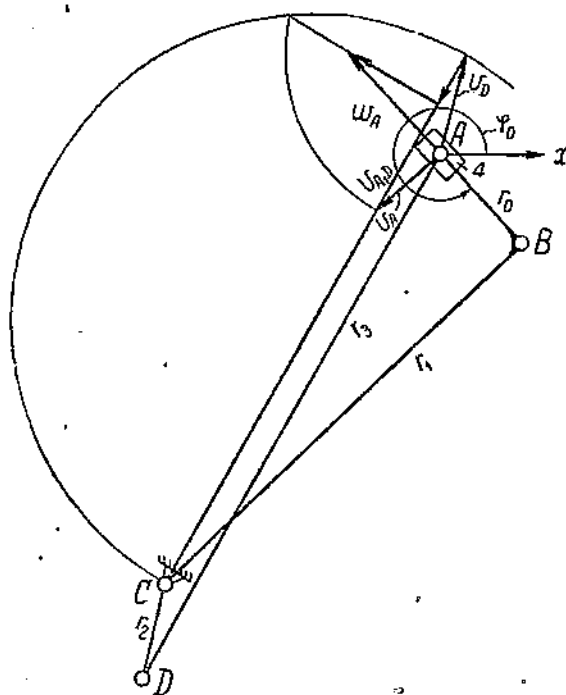


Рис. 57.

Эта же величина, найденная аналитически, будет равна

$$\widehat{(r_1, r_0)} = 88^\circ 17' \text{ и } a = 1,088.$$

Найденный механизм показан на рис. 57. Сравнение номографических и аналитических расчетов показывает, что ошибка номографического результата не превышает $2^\circ/0$.

ТАБЛИЦА I

ДЛЯ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИЙ x_k^I , x_k^{II} и y_k^I , y_k^{II}

$$\begin{aligned}x &= \cos(\gamma_{jp} + \gamma_{nm}) - \cos \gamma_{jp} - \cos \gamma_{nm} \\y &= \sin(\gamma_{jp} + \gamma_{nm}) - \sin \gamma_{jp} - \sin \gamma_{nm}\end{aligned}$$

$\gamma_{jp} = 0^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 12^\circ \dots 90^\circ, 95^\circ, 100^\circ \dots 360^\circ$

$\gamma_{nm} = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ \dots 360^\circ$

Значения x даны в первых строчках таблицы

» y » во вторых » »

Для отрицательных значений параметров γ_{jp} , γ_{nm} следует брать положительные значения углов дополнительных до 360°

$$\left. \begin{aligned}\gamma_{jp} &= -\alpha^\circ = 360^\circ - \alpha^\circ \\ \gamma_{nm} &= -\beta^\circ = 360^\circ - \beta^\circ\end{aligned} \right\}$$

Примечание. Значения x_k^I , x_k^{II} и y_k^I , y_k^{II} брать с теми знаками, с какими они даны в таблицах.

γ_{pr}° γ_{tr}°	0°	2°	4°	5°	6°	8°	10°	12°	14°	15°	16°	18°
0°	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
5°	-1,000000 0,000000	-1,003040 0,000186	-1,006071 0,000478	-1,007582 0,000664	-1,009090 0,000875	-1,012093 0,001378	-1,015077 0,001985	-1,018038 0,002696	-1,020972 0,003510	-1,022428 0,003955	-1,023877 0,004425	-1,026747 0,005442
10°	-1,000000 0,000000	-1,006051 0,000635	-1,012076 0,001482	-1,015077 0,001985	-1,018068 0,002539	-1,024019 0,003804	-1,029923 0,005276	-1,035772 0,006953	-1,041559 0,008833	-1,044426 0,009849	-1,047276 0,010914	-1,052917 0,013193
15°	-1,000000 0,000000	-1,009012 0,001346	-1,017971 0,003007	-1,022428 0,003955	-1,026868 0,004979	-1,035689 0,007261	-1,044266 0,009849	-1,053067 0,012741	-1,061602 0,015931	-1,068827 0,017638	-1,070021 0,019418	-1,078312 0,023197
20°	-1,000000 0,000000	-1,011900 0,002312	-1,023712 0,005039	-1,029580 0,006558	-1,035421 0,008177	-1,047013 0,011721	-1,058476 0,015668	-1,069793 0,020013	-1,080851 0,024749	-1,086467 0,027263	-1,091938 0,029872	-1,102739 0,035376
25°	-1,000000 0,000000	-1,014692 0,003527	-1,029252 0,007564	-1,036478 0,009774	-1,043663 0,012108	-1,057905 0,017152	-1,071964 0,022690	-1,085820 0,028715	-1,099458 0,035220	-1,106190 0,038649	-1,112860 0,042196	-1,126011 0,049637
30°	-1,000000 0,000000	-1,017368 0,004980	-1,034551 0,010563	-1,043068 0,013580	-1,051530 0,016743	-1,068282 0,023512	-1,084789 0,030860	-1,101028 0,038781	-1,116981 0,047264	-1,124844 0,051712	-1,132629 0,056297	-1,147951 0,065872
35°	-1,000000 0,000000	-1,019907 0,006660	-1,039570 0,014012	-1,049303 0,017944	-1,058964 0,022045	-1,078066 0,030751	-1,096853 0,040117	-1,115302 0,050134	-1,133389 0,060788	-1,142290 0,066351	-1,151094 0,072067	-1,168394 0,083957
40°	-1,000000 0,000000	-1,022290 0,008556	-1,044268 0,017886	-1,055132 0,022837	-1,065908 0,027976	-1,087181 0,038816	-1,108064 0,050392	-1,128531 0,062689	-1,148555 0,085693	-1,158394 0,092455	-1,168113 0,099387	-1,187182 0,103757
45°	-1,000000 0,000000	-1,024500 0,010652	-1,048612 0,022153	-1,060514 0,028219	-1,072309 0,034489	-1,095560 0,047644	-1,118339 0,061603	-1,140616 0,076348	-1,162365 0,091862	-1,173033 0,099901	-1,183559 0,108124	-1,204174 0,125117
50°	-1,000000 0,000000	-1,026518 0,012932	-1,052567 0,026783	-1,065407 0,034048	-1,078117 0,041534	-1,103137 0,057169	-1,127596 0,073667	-1,151464 0,091008	-1,174713 0,109172	-1,186096 0,118555	-1,197313 0,128136	-1,219238 0,147877
55°	-1,000000 0,000000	-1,028328 0,015380	-1,056102 0,031741	-1,069771 0,040283	-1,083288 0,049060	-1,109854 0,067318	-1,135766 0,086492	-1,160993 0,106559	-1,185504 0,127494	-1,197482 0,138278	-1,209270 0,149270	-1,232261 0,171864
60°	-1,000000 0,000000	-1,029919 0,017976	-1,059193 0,036987	-1,073577 0,046873	-1,087785 0,057008	-1,115661 0,078014	-1,142788 0,099890	-1,169131 0,122880	-1,194639 0,146685	-1,207107 0,158918	-1,219340 0,171366	-1,243145 0,196894
65°	-1,000000 0,000000	-1,031278 0,020702	-1,061814 0,042484	-1,076793 0,053771	-1,091572 0,065317	-1,120514 0,089176	-1,148607 0,114030	-1,175815 0,139850	-1,202105 0,166603	-1,214896 0,180319	-1,227446 0,194257	-1,251806 0,222779
70°	-1,000000 0,000000	-1,032394 0,023535	-1,063947 0,048187	-1,079396 0,060923	-1,094620 0,073925	-1,124376 0,100718	-1,153180 0,128533	-1,180995 0,157337	-1,207788 0,187093	-1,220790 0,203179	-1,233526 0,217766	-1,258178 0,249319
75°	-1,000000 0,000000	-1,033259 0,026455	-1,065574 0,054055	-1,081466 0,068274	-1,096907 0,082766	-1,127218 0,112553	-1,156471 0,143379	-1,184631 0,175208	-1,211663 0,208000	-1,224745 0,224745	-1,237533 0,241715	-1,262212 0,276313
80°	-1,000000 0,000000	-1,033866 0,029439	-1,066684 0,060042	-1,082687 0,075769	-1,098414 0,091772	-1,129017 0,124590	-1,158456 0,158456	-1,186695 0,193329	-1,213700 0,229166	-1,226730 0,247432	-1,239438 0,265923	-1,263878 0,303557

85°	-1, 000000	-1, 034211	-1, 067268	-1, 083351	-1, 099130	-1, 129760	-1, 159120	-1, 187173	-1, 213886	-1, 226730	-1, 239227	-1, 263164
90°	0, 000000	-0, 032464	-0, 066103	-0, 083351	-0, 100875	-0, 136738	-0, 173648	-0, 211561	-0, 250429	-0, 270206	-0, 290205	-0, 330842
95°	-1, 000000	-1, 034290	-1, 067320	-1, 083351	-1, 099050	-1, 129441	-1, 158456	-1, 186060	-1, 223118	-1, 224745	-1, 236899	-1, 260074
100°	0, 000000	-0, 035508	-0, 072192	-0, 090961	-0, 110006	-1, 128905	-0, 188940	-0, 229764	-0, 271626	-0, 292893	-0, 314875	-0, 357960
105°	-1, 000000	-1, 034104	-1, 066842	-1, 082687	-1, 098175	-1, 128063	-1, 156471	-1, 183364	-1, 208708	-1, 220790	-1, 232474	-1, 254632
110°	0, 000000	-0, 038548	-0, 078263	-0, 098543	-0, 119096	-0, 160998	-0, 203917	-0, 247802	-0, 292598	-0, 315321	-0, 338252	-0, 384707
115°	-1, 000000	-1, 033655	-1, 065838	-1, 081466	-1, 096511	-1, 125537	-1, 153180	-1, 179107	-1, 203385	-1, 214896	-1, 225985	-1, 246881
120°	0, 000000	-0, 041559	-0, 084268	-0, 106038	-0, 128074	-0, 172924	-0, 218767	-0, 265536	-0, 313185	-0, 337319	-0, 361651	-0, 410877
125°	-1, 000000	-1, 032944	-1, 064313	-1, 079396	-1, 094171	-1, 122180	-1, 148607	-1, 173319	-1, 196287	-1, 207107	-1, 217481	-1, 236877
130°	0, 000000	-0, 045230	-0, 090163	-0, 113389	-1, 136874	-0, 184594	-0, 233266	-0, 282831	-0, 333228	-0, 358720	-0, 384396	-0, 432672
135°	-1, 000000	-1, 031978	-1, 062281	-1, 076793	-1, 090873	-1, 117720	-1, 142788	-1, 166047	-1, 187469	-1, 197482	-2, 207027	-1, 224698
140°	0, 000000	-0, 047408	-0, 095904	-0, 120541	-0, 145427	-0, 195918	-0, 247316	-0, 299557	-0, 352577	-0, 379360	-0, 406313	-0, 460699
145°	-1, 000000	-1, 030763	-1, 059756	-1, 073577	-1, 086942	-1, 112289	-1, 135766	-1, 157345	-1, 176998	-1, 186096	-1, 194703	-1, 210437
150°	0, 000000	-0, 050200	-0, 101444	-0, 127439	-0, 153669	-0, 206810	-0, 260804	-0, 315584	-0, 371084	-0, 399083	-0, 427235	-0, 483971
155°	-1, 000000	-1, 029310	-1, 056757	-1, 069771	-1, 082307	-1, 105929	-1, 127596	-1, 147279	-1, 164954	-1, 173033	-1, 180602	-1, 194202
160°	0, 000000	-0, 052876	-0, 106743	-0, 134029	-0, 161536	-0, 217187	-0, 273629	-0, 330792	-0, 388607	-0, 417737	-0, 447004	-0, 505911
165°	-1, 000000	-1, 028630	-1, 053308	-1, 065407	-1, 077005	-1, 098690	-1, 118339	-1, 135026	-1, 151430	-1, 158304	-1, 164832	-1, 176117
170°	0, 000000	-0, 055415	-0, 111762	-0, 140264	-0, 168970	-0, 226971	-0, 285693	-0, 345066	-0, 405015	-0, 435183	-0, 465469	-0, 526354
175°	-1, 000000	-1, 025734	-1, 049434	-1, 060514	-1, 071074	-1, 090625	-1, 108064	-1, 123371	-1, 136525	-1, 142290	-1, 147512	-1, 156317
	0, 000000	-0, 057798	-0, 116460	-0, 146093	-0, 175914	-0, 236086	-0, 296904	-0, 358295	-0, 420181	-0, 451287	-0, 482488	-0, 545142
	-1, 000000	-1, 023638	-1, 045167	-1, 055132	-1, 064561	-1, 081797	-1, 096853	-1, 109712	-1, 120356	-1, 124844	-1, 128775	-1, 134957
	0, 000000	-0, 060008	-0, 120304	-0, 151475	-0, 182315	-0, 244465	-0, 307179	-0, 370380	-0, 433991	-0, 465926	-0, 497934	-0, 562134
	-1, 000000	-1, 021358	-1, 040537	-1, 049303	-1, 057516	-1, 072272	-1, 084789	-1, 095052	-1, 103046	-1, 106190	-1, 108763	-1, 112197
	0, 000000	-0, 062026	-0, 124759	-0, 156368	-0, 188123	-0, 252042	-0, 316436	-0, 381228	-0, 446339	-0, 478989	-0, 511688	-0, 577198
	-1, 000000	-1, 018910	-1, 035579	-1, 043068	-1, 049990	-1, 062123	-1, 071964	-1, 079501	-1, 084724	-1, 086467	-1, 087629	-1, 088210
	0, 000000	-0, 063836	-0, 128294	-0, 160732	-0, 193294	-0, 258759	-0, 324606	-0, 390757	-0, 457130	-0, 490375	-0, 523645	-0, 590221
	-1, 000000	-1, 016314	-1, 030333	-1, 036478	-1, 042042	-1, 051427	-1, 058476	-1, 063180	-1, 065533	-1, 065827	-1, 065533	-1, 063180
	0, 000000	-0, 065427	-0, 131385	-0, 164580	-0, 197791	-0, 264566	-0, 331628	-0, 398895	-0, 466285	-0, 500000	-0, 533715	-0, 601105
	-1, 000000	-1, 013588	-1, 024836	-1, 029580	-1, 033733	-1, 040265	-1, 044426	-1, 046210	-1, 045615	-1, 044426	-1, 042642	-1, 037295
	0, 000000	-0, 066786	-0, 134006	-0, 167754	-0, 201578	-0, 269419	-0, 337447	-0, 405579	-0, 473731	-0, 507789	-0, 541821	-0, 609766
	-1, 000000	-1, 010755	-1, 019133	-1, 022428	-1, 025125	-1, 029923	-1, 034203	-1, 037823	-1, 0405125	-1, 022428	-1, 019133	-1, 010755
	0, 000000	-0, 067902	-0, 136139	-0, 170357	-0, 204626	-0, 273281	-0, 342020	-0, 410759	-0, 479414	-0, 513683	-0, 547901	-0, 616138
	-1, 000000	-1, 007835	-1, 013265	-1, 016284	-1, 016888	-1, 015077	-1, 010852	-1, 004218	-1, 000000	-0, 995184	-0, 983761	-0, 983761
	0, 000000	-0, 068767	-0, 137766	-0, 172327	-0, 206913	-0, 276123	-0, 345311	-0, 414395	-0, 483289	-0, 517638	-0, 551908	-0, 620172
	-1, 000000	-1, 004851	-1, 007278	-1, 007582	-1, 004851	-1, 000000	-0, 992731	-0, 983052	-0, 977313	-0, 970766	-0, 965517	-0, 956517
	0, 000000	-0, 069374	-0, 138876	-0, 173648	-0, 208420	-0, 277922	-0, 347266	-0, 416459	-0, 485326	-0, 519623	-0, 553813	-0, 621838
	-1, 000000	-1, 001826	-1, 001217	-1, 000000	-0, 998175	-0, 992703	-0, 984808	-0, 974499	-0, 961789	-0, 954539	-0, 946694	-0, 929232
	0, 000000	-0, 069719	-0, 139460	-0, 174312	-0, 209136	-0, 278665	-0, 347960	-0, 416937	-0, 485512	-0, 519623	-0, 553602	-0, 621124

$\frac{1}{2}p^\circ$ Yam	0°	2°	4°	5°	6°	8°	10°	12°	14°	15°	16°	18°
180°	-1,000000 0,000000	-0,998782 -0,996798	-0,995128 -0,991312	-0,992390 -0,988512	-0,989044 -0,985056	-0,980536 -0,976346	-0,969616 -0,964296	-0,956296 -0,951824	-0,940592 -0,935844	-0,923832 -0,917638	-0,905252 -0,8951274	-0,875114 -0,861804
185°	-1,000000 0,000000	-0,995742 -0,993612	-0,989057 -0,984034	-0,984808 -0,979354	-0,979954 -0,974081	-0,968443 -0,961968	-0,954539 -0,945311	-0,938258 -0,931128	-0,919620 -0,909334	-0,899424 -0,887683	-0,875367 -0,858448	-0,835367 -0,812582
190°	-1,000000 0,000000	-0,992731 -0,989163	-0,983052 -0,977313	-0,977313 -0,970976	-0,965177 -0,956517	-0,945452 -0,936993	-0,924524 -0,910620	-0,898024 -0,87789	-0,869033 -0,845011	-0,834266 -0,806025	-0,792418 -0,7531856	-0,704814 -0,668802
195°	-1,000000 0,000000	-0,989770 -0,984452	-0,977157 -0,968505	-0,959128 -0,950512	-0,942176 -0,933523	-0,917085 -0,907625	-0,892190 -0,877447	-0,853229 -0,833083	-0,818990 -0,797913	-0,768025 -0,745000	-0,703503 -0,671856	-0,623802 -0,594837
200°	-1,000000 0,000000	-0,986882 -0,981486	-0,971416 -0,963473	-0,952810 -0,941754	-0,930623 -0,916879	-0,895523 -0,876625	-0,845539 -0,821628	-0,780503 -0,751140	-0,705950 -0,671935	-0,633885 -0,595375	-0,553586 -0,521402	-0,4799375 -0,445258
205°	-1,000000 0,000000	-0,984090 -0,978271	-0,965876 -0,954148	-0,945912 -0,932538	-0,919381 -0,896948	-0,876631 -0,848119	-0,800476 -0,764606	-0,714046 -0,671109	-0,623611 -0,581111	-0,525662 -0,479899	-0,425078 -0,379078	-0,325662 -0,276103
210°	-1,000000 0,000000	-0,981414 -0,974818	-0,960577 -0,946818	-0,932222 -0,916073	-0,897514 -0,873113	-0,832254 -0,804834	-0,748227 -0,716436	-0,655268 -0,617043	-0,563680 -0,520203	-0,465925 -0,418562	-0,369995 -0,324977	-0,275162 -0,229320
215°	-1,000000 0,000000	-0,978875 -0,971338	-0,955558 -0,940000	-0,930887 -0,913568	-0,890800 -0,870111	-0,824470 -0,797595	-0,742763 -0,707179	-0,649994 -0,615690	-0,558203 -0,514056	-0,465562 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
220°	-1,000000 0,000000	-0,976492 -0,967424	-0,950860 -0,931626	-0,932258 -0,914755	-0,892336 -0,871080	-0,823355 -0,795904	-0,741552 -0,706904	-0,648277 -0,613135	-0,556807 -0,512151	-0,464588 -0,421183	-0,371411 -0,327917	-0,274032 -0,230477
225°	-1,000000 0,000000	-0,974282 -0,964146	-0,948282 -0,927359	-0,931876 -0,914603	-0,8916735 -0,8709567	-0,823976 -0,795672	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
230°	-1,000000 0,000000	-0,972264 -0,961866	-0,945561 -0,924264	-0,928983 -0,912026	-0,890927 -0,872522	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
235°	-1,000000 0,000000	-0,970454 -0,959418	-0,943026 -0,921771	-0,92619 -0,90929	-0,905756 -0,888066	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
240°	-1,000000 0,000000	-0,968863 -0,957182	-0,940818 -0,919525	-0,923933 -0,906983	-0,901259 -0,883524	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
245°	-1,000000 0,000000	-0,967504 -0,955388	-0,938314 -0,917028	-0,921439 -0,904489	-0,897472 -0,879739	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
250°	-1,000000 0,000000	-0,966388 -0,954263	-0,936883 -0,915597	-0,919994 -0,902944	-0,894424 -0,876689	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
255°	-1,000000 0,000000	-0,965523 -0,953403	-0,935554 -0,914269	-0,918244 -0,901204	-0,892137 -0,874399	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077
260°	-1,000000 0,000000	-0,964916 -0,952797	-0,934844 -0,913559	-0,917203 -0,900163	-0,891530 -0,873792	-0,823355 -0,795904	-0,742277 -0,707399	-0,649476 -0,614335	-0,558199 -0,514183	-0,465925 -0,421287	-0,371430 -0,3279207	-0,273720 -0,2304077

265°	-1,000000	-0,964571	-0,927860	-0,909039	-0,889914	-0,850776	-0,810496	-0,769123	-0,726706	-0,705122	-0,683297	-0,639950
	0,000000	-0,037334	-0,073409	-0,090961	-0,108181	-0,141608	-0,173648	-0,204263	-0,233415	-0,247432	-0,261069	-0,287192
270°	-1,000000	-0,964492	-0,927808	-0,909039	-0,889994	-0,851095	-0,811160	-0,770236	-0,728374	-0,707107	-0,685625	-0,642040
	0,000000	-0,034290	-0,067320	-0,083351	-0,109950	-0,129441	-0,158455	-0,186060	-0,212218	-0,224745	-0,236899	-0,260074
275°	-1,000000	-0,964678	-0,928286	-0,909703	-0,890869	-0,852473	-0,813145	-0,772932	-0,730884	-0,710962	-0,690050	-0,647482
	0,000000	-0,031250	-0,061249	-0,075769	-0,089960	-0,117348	-0,143379	-0,168022	-0,191246	-0,202317	-0,213022	-0,233327
280°	-1,000000	-0,965127	-0,929290	-0,911024	-0,892533	-0,854899	-0,816436	-0,777189	-0,737207	-0,716956	-0,696539	-0,655233
	0,000000	-0,028239	-0,055244	-0,068274	-0,080982	-0,105422	-0,128533	-0,150288	-0,170659	-0,180319	-0,189023	-0,207157
285°	-1,000000	-0,965838	-0,930815	-0,912994	-0,894073	-0,858356	-0,821009	-0,782977	-0,744305	-0,724745	-0,705043	-0,665237
	0,000000	-0,025278	-0,049349	-0,060923	-0,072182	-0,093752	-0,114030	-0,132993	-0,150616	-0,159918	-0,166878	-0,181762
290°	-1,000000	-0,966804	-0,932847	-0,915597	-0,898171	-0,862816	-0,826828	-0,790249	-0,753123	-0,734370	-0,715497	-0,674716
	0,000000	-0,022390	-0,043608	-0,053771	-0,063629	-0,082428	-0,099980	-0,116267	-0,131267	-0,139278	-0,144961	-0,157335
295°	-1,000000	-0,968019	-0,935372	-0,918813	-0,902102	-0,868247	-0,833850	-0,798951	-0,763594	-0,745756	-0,727821	-0,691677
	0,000000	-0,019598	-0,038068	-0,049873	-0,055387	-0,071536	-0,086492	-0,100240	-0,112760	-0,118555	-0,124039	-0,134063
300°	-1,000000	-0,969472	-0,938371	-0,922619	-0,906737	-0,874607	-0,842030	-0,809017	-0,775638	-0,758817	-0,741922	-0,707912
	0,000000	-0,016922	-0,032769	-0,040283	-0,047820	-0,061159	-0,073667	-0,085032	-0,095237	-0,099901	-0,104270	-0,112123
305°	-1,000000	-0,971152	-0,941820	-0,926983	-0,912039	-0,881846	-0,851277	-0,820370	-0,789162	-0,773458	-0,757692	-0,725997
	0,000000	-0,014383	-0,027750	-0,034048	-0,040086	-0,051375	-0,061603	-0,070768	-0,078829	-0,082455	-0,085805	-0,091680
310°	-1,000000	-0,973048	-0,945694	-0,931876	-0,917970	-0,889911	-0,861552	-0,832925	-0,804057	-0,789562	-0,775012	-0,745797
	0,000000	-0,012009	-0,023052	-0,028219	-0,033142	-0,042260	-0,050392	-0,057529	-0,063663	-0,066351	-0,068786	-0,072892
315°	-1,000000	-0,975144	-0,949961	-0,937258	-0,924483	-0,898739	-0,872763	-0,846584	-0,820236	-0,807008	-0,793749	-0,767157
	0,000000	-0,009790	-0,018708	-0,022837	-0,026741	-0,033881	-0,040117	-0,045444	-0,049853	-0,051712	-0,053340	-0,055900
320°	-1,000000	-0,977424	-0,954591	-0,943087	-0,931528	-0,908264	-0,884827	-0,861244	-0,837546	-0,825562	-0,813761	-0,789917
	0,000000	-0,007772	-0,014753	-0,017944	-0,020933	-0,026304	-0,030860	-0,034596	-0,037505	-0,038649	-0,039586	-0,040836
325°	-1,000000	-0,979872	-0,959549	-0,949322	-0,939054	-0,918413	-0,897552	-0,876795	-0,855888	-0,845385	-0,834895	-0,813904
	0,000000	-0,005962	-0,011218	-0,013580	-0,015762	-0,019587	-0,022690	-0,025037	-0,026714	-0,027263	-0,027629	-0,027813
330°	-1,000000	-0,982468	-0,964795	-0,955912	-0,947002	-0,929109	-0,911140	-0,893116	-0,875059	-0,866025	-0,856991	-0,838934
	0,000000	-0,004371	-0,008127	-0,009774	-0,011265	-0,013780	-0,015668	-0,016929	-0,017559	-0,017638	-0,017559	-0,016929
335°	-1,000000	-0,985194	-0,970292	-0,962810	-0,955311	-0,940271	-0,925190	-0,910086	-0,894977	-0,887426	-0,879882	-0,864819
	0,000000	-0,003012	-0,005506	-0,006558	-0,007478	-0,008227	-0,008849	-0,009245	-0,009497	-0,009634	-0,009453	-0,008268
340°	-1,000000	-0,988027	-0,975995	-0,969962	-0,963919	-0,956851	-0,949849	-0,942745	-0,935467	-0,929424	-0,923391	-0,891359
	0,000000	-0,001896	-0,003373	-0,003955	-0,004430	-0,005065	-0,005276	-0,005065	-0,004430	-0,003955	-0,003373	-0,001896
345°	-1,000000	-0,990047	-0,981863	-0,977313	-0,972760	-0,963648	-0,954539	-0,945444	-0,936374	-0,927340	-0,918353	-0,885333
	0,000000	-0,001031	-0,001746	-0,001985	-0,002143	-0,002223	-0,001985	-0,001429	-0,000555	-0,000000	-0,000634	-0,002138
350°	-1,000000	-0,993931	-0,987850	-0,984808	-0,981766	-0,975685	-0,969616	-0,963565	-0,957540	-0,951539	-0,945597	-0,915830
	0,000000	-0,000424	-0,000636	-0,000664	-0,000636	-0,000424	-0,000000	-0,000635	-0,001482	-0,001985	-0,002539	-0,003804
355°	-1,000000	-0,996956	-0,993911	-0,992390	-0,990369	-0,987833	-0,984808	-0,981797	-0,978713	-0,975630	-0,972583	-0,942882
	0,000000	-0,000079	-0,000052	-0,000000	-0,000080	-0,000319	-0,000654	-0,001113	-0,001668	-0,001985	-0,002328	-0,003090
360°	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000
	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

$\frac{1}{1''}$ $\frac{1}{1''}$	20°	22°	24°	25°	26°	28°	30°	32°	34°	35°	36°	38°
0°	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
5°	-1,029580 -0,006558	-1,032372 -0,007773	-1,035120 -0,009033	-1,036478 -0,009774	-1,037822 -0,010489	-1,040472 -0,011969	-1,043068 -0,013580	-1,045607 -0,015260	-1,048087 -0,017029	-1,049303 -0,017944	-1,050502 -0,018882	-1,052852 -0,020819
10°	-1,058476 -0,015668	-1,063944 -0,021192	-1,069315 -0,026690	-1,074585 -0,032234	-1,079745 -0,037759	-1,084789 -0,043234	-1,089789 -0,048759	-1,094506 -0,054234	-1,098853 -0,059759	-1,099167 -0,060117	-1,099467 -0,060493	-1,103688 -0,064117
15°	-1,086467 -0,027263	-1,094474 -0,031611	-1,102325 -0,036236	-1,106190 -0,041131	-1,110010 -0,045693	-1,117520 -0,050213	-1,124844 -0,054712	-1,131976 -0,059234	-1,138905 -0,063302	-1,142290 -0,066351	-1,145623 -0,069458	-1,152122 -0,075844
20°	-1,113342 -0,041252	-1,123732 -0,047496	-1,133898 -0,054099	-1,138694 -0,059531	-1,143829 -0,064051	-1,153510 -0,068347	-1,162930 -0,072576	-1,172080 -0,076328	-1,180946 -0,079216	-1,189517 -0,081644	-1,198517 -0,083644	-1,197785 -0,085333
25°	-1,138894 -0,057531	-1,151494 -0,065871	-1,163794 -0,074645	-1,175782 -0,083843	-1,187441 -0,093454	-1,198757 -0,103466	-1,209717 -0,113866	-1,220308 -0,124644	-1,230308 -0,135822	-1,245460 -0,147272	-1,255559 -0,158305	-1,279429 -0,174272
30°	-1,162930 -0,075976	-1,177548 -0,086595	-1,191785 -0,097720	-1,198757 -0,103466	-1,205626 -0,109333	-1,219054 -0,121424	-1,232050 -0,133975	-1,244601 -0,146971	-1,256692 -0,160399	-1,262559 -0,167268	-1,268305 -0,174272	-1,279429 -0,183477
35°	-1,185269 -0,096444	-1,201697 -0,109512	-1,217659 -0,123146	-1,225460 -0,130169	-1,233136 -0,137327	-1,248110 -0,152041	-1,262559 -0,167268	-1,276469 -0,182990	-1,289822 -0,199189	-1,296284 -0,207459	-1,302601 -0,215842	-1,314791 -0,232932
40°	-1,205737 -0,118783	-1,223756 -0,134447	-1,241218 -0,150731	-1,249734 -0,159098	-1,258101 -0,167614	-1,274385 -0,185076	-1,290049 -0,203095	-1,305075 -0,221650	-1,319445 -0,240719	-1,326377 -0,250438	-1,333139 -0,260277	-1,347143 -0,280301
45°	-1,224182 -0,142819	-1,243560 -0,161209	-1,262284 -0,180264	-1,271395 -0,190032	-1,280333 -0,199959	-1,297683 -0,220274	-1,314313 -0,241181	-1,330204 -0,262656	-1,345336 -0,284673	-1,352611 -0,295875	-1,359690 -0,307204	-1,373249 -0,330222
50°	-1,240462 -0,168371	-1,260955 -0,189594	-1,280696 -0,211519	-1,290277 -0,222736	-1,299660 -0,234119	-1,317824 -0,257368	-1,335165 -0,281236	-1,351603 -0,305695	-1,367298 -0,330715	-1,374784 -0,343425	-1,382049 -0,356265	-1,395900 -0,382314
55°	-1,254450 -0,195246	-1,275809 -0,219389	-1,296312 -0,244262	-1,306236 -0,259962	-1,315936 -0,269838	-1,334655 -0,296078	-1,352445 -0,322957	-1,369288 -0,350441	-1,385162 -0,378497	-1,392728 -0,392728	-1,400045 -0,407089	-1,413923 -0,436183
60°	-1,266045 -0,223237	-1,288011 -0,240364	-1,309017 -0,278240	-1,319152 -0,292448	-1,329038 -0,306832	-1,348049 -0,336106	-1,366025 -0,366025	-1,382947 -0,396553	-1,398794 -0,427654	-1,406306 -0,443406	-1,415345 -0,459288	-1,427184 -0,481418
65°	-1,275165 -0,252133	-1,297466 -0,282285	-1,318711 -0,313197	-1,328926 -0,338926	-1,338664 -0,348831	-1,357902 -0,377150	-1,375799 -0,410113	-1,392535 -0,443681	-1,408090 -0,477813	-1,415418 -0,495076	-1,422444 -0,512466	-1,435580 -0,540048
70°	-1,281713 -0,281713	-1,304103 -0,314909	-1,325321 -0,348866	-1,335484 -0,365116	-1,345342 -0,383542	-1,364141 -0,418897	-1,381693 -0,454885	-1,397980 -0,491464	-1,412980 -0,528590	-1,419991 -0,547343	-1,426674 -0,566216	-1,439048 -0,604297
75°	-1,285668 -0,311751	-1,307872 -0,347987	-1,328798 -0,384975	-1,338775 -0,403736	-1,348422 -0,422670	-1,366718 -0,461028	-1,383663 -0,500000	-1,399239 -0,539540	-1,413425 -0,579600	-1,419991 -0,599809	-1,426204 -0,620131	-1,437561 -0,661082
80°	-1,286989 -0,342020	-1,308744 -0,381267	-1,329115 -0,421249	-1,338775 -0,441500	-1,348979 -0,461917	-1,365613 -0,503223	-1,381693 -0,545115	-1,396503 -0,587543	-1,409423 -0,630456	-1,415418 -0,652076	-1,421036 -0,673799	-1,431131 -0,717521

85°	-1, 285668 -0, 372289 -1, 281713 -0, 402327 -1, 275165 -0, 431907 -1, 254450 -0, 408083 -1, 254450 -0, 488794 -1, 240462 -0, 515669 -1, 224182 -0, 541221 -1, 205737 -0, 565257 -1, 185269 -0, 587595 -1, 162930 -0, 608064 -1, 138894 -0, 677482 -1, 113342 -0, 642788 -1, 086467 -0, 656777 -1, 058476 -0, 668372 -1, 029580 -0, 677482 -1, 000000 -0, 684040 -1, 000000 -0, 689952 -0, 687995 -0, 939693 -0, 689316 -0, 909424 -0, 687995	-1, 326269 -0, 457413 -1, 320282 -0, 493192 -1, 311199 -0, 528312 -1, 290090 -0, 562507 -1, 284046 -0, 595517 -1, 265183 -0, 627090 -1, 245637 -0, 656986 -1, 225622 -0, 684977 -1, 197136 -0, 710851 -1, 167344 -0, 734410 -1, 140018 -0, 609983 -1, 112197 -0, 708378 -1, 082402 -0, 732322 -1, 051427 -0, 735434 -1, 019506 -0, 744889 -0, 986882 -0, 751526 -0, 935307 -0, 755295 -0, 890333 -0, 822307 -0, 862869 -0, 819461	-1, 335484 -0, 479120 -1, 328926 -0, 516310 -1, 319152 -0, 552788 -1, 306236 -0, 588274 -1, 290277 -0, 622500 -1, 271395 -0, 655204 -1, 249734 -0, 686138 -1, 225460 -0, 715067 -1, 198757 -0, 741770 -1, 269828 -0, 766044 -1, 136894 -0, 787705 -1, 106190 -0, 822546 -1, 036478 -0, 835462 -1, 000000 -0, 874236 -0, 962810 -0, 815794 -0, 925190 -0, 855085 -0, 887426 -0, 856085 -0, 849606 -0, 851794	-1, 344318 -0, 500986 -1, 337165 -0, 539577 -1, 326676 -0, 577399 -1, 312931 -0, 614162 -1, 296634 -0, 649887 -1, 276114 -0, 683406 -1, 253322 -0, 715359 -1, 227832 -0, 745203 -1, 199838 -0, 772713 -1, 169551 -0, 797678 -1, 137206 -1, 103046 -0, 855513 -1, 030333 -0, 868615 -0, 929234 -0, 878441 -0, 953923 -0, 884919 -0, 914495 -0, 887999 -0, 875248 -0, 887656 -0, 836179 -0, 883895	-1, 360835 -0, 545162 -1, 352420 -0, 586524 -1, 340431 -0, 626996 -1, 324961 -0, 666269 -1, 306127 -0, 704044 -1, 284073 -0, 740034 -1, 258965 -0, 773965 -1, 230996 -0, 805578 -1, 200379 -0, 834634 -1, 167344 -0, 860909 -1, 132146 -0, 884207 -0, 904348 -1, 056342 -0, 921179 -1, 016314 -0, 934573 -0, 975270 -0, 944426 -0, 933523 -0, 950665 -0, 891392 -0, 953242 -0, 849197 -0, 952137 -0, 807258 -0, 947359	-1, 375799 -0, 589887 -1, 366025 -0, 633975 -1, 352445 -0, 677043 -1, 335165 -0, 718764 -1, 314313 -0, 758819 -1, 290049 -0, 796905 -1, 262559 -0, 832732 -1, 232050 -0, 866025 -1, 198757 -0, 896534 -1, 162930 -0, 924024 -1, 124844 -0, 948288 -0, 969140 -1, 034068 -0, 986429 -1, 000000 -1, 000000 -0, 955912 -1, 009774 -0, 911140 -0, 956688 -0, 866025 -1, 017638 -0, 820931 -1, 015668 -0, 776138 -1, 009774	-1, 389194 -0, 635107 -1, 377967 -0, 681871 -1, 362707 -0, 727478 -1, 343531 -0, 771582 -1, 320583 -0, 813847 -1, 294039 -0, 853851 -1, 263587 -0, 891588 -1, 230996 -0, 926472 -1, 194977 -0, 958340 -1, 156317 -0, 986946 -1, 115311 -0, 984789 -0, 935534 -1, 027526 -1, 051159 -0, 981414 -1, 064818 -0, 934286 -1, 074406 -0, 886503 -1, 079851 -0, 838427 -1, 081110 -0, 790424 -1, 078174 -0, 742860 -1, 071065	-1, 401004 -0, 680768 -1, 388231 -0, 730155 -1, 371202 -0, 778242 -1, 350048 -0, 824661 -1, 324429 -0, 869060 -1, 296035 -0, 911101 -1, 263587 -0, 920463 -1, 227832 -0, 986847 -1, 189042 -0, 958340 -1, 147512 -0, 986946 -1, 103558 -0, 975491 -1, 07035 -1, 129208 -1, 000000 -1, 115317 -0, 960577 -0, 949322 -1, 160732 -0, 897652 -1, 169842 -0, 853385 -1, 174415 -0, 808631 -1, 174415 -0, 740652 -0, 757775 -1, 139578 -0, 707463 -1, 131159	-1, 411211 -0, 726813 -1, 396802 -0, 778768 -1, 377920 -0, 829270 -1, 354909 -0, 877935 -1, 327344 -0, 924391 -1, 296035 -0, 939693 -1, 261019 -0, 979884 -1, 225460 -1, 019983 -1, 189042 -1, 050708 -1, 135525 -1, 111907 -1, 096853 -1, 138458 -1, 107035 -1, 129208 -1, 000000 -1, 147152 -0, 949322 -1, 160732 -0, 897652 -1, 169842 -0, 853385 -1, 174415 -0, 792919 -1, 174415 -0, 740652 -0, 757775 -1, 139578 -0, 707463 -1, 131159	-1, 419806 -0, 773185 -1, 403672 -0, 827050 -1, 382853 -0, 880502 -1, 357808 -0, 931338 -1, 327828 -0, 979772 -1, 296035 -0, 968285 -1, 256410 -1, 009283 -1, 215195 -1, 047073 -1, 189042 -1, 081369 -1, 135525 -1, 111907 -1, 089598 -1, 138458 -1, 107035 -1, 129208 -1, 000000 -1, 147152 -0, 949322 -1, 160732 -0, 897652 -1, 169842 -0, 853385 -1, 174415 -0, 792919 -1, 174415 -0, 740652 -0, 757775 -1, 139578 -0, 707463 -1, 131159	-1, 419806 -0, 773185 -1, 403672 -0, 827050 -1, 382853 -0, 880502 -1, 357808 -0, 931338 -1, 327828 -0, 979772 -1, 296035 -0, 968285 -1, 256410 -1, 009283 -1, 215195 -1, 047073 -1, 189042 -1, 081369 -1, 135525 -1, 111907 -1, 089598 -1, 138458 -1, 107035 -1, 129208 -1, 000000 -1, 147152 -0, 949322 -1, 160732 -0, 897652 -1, 169842 -0, 853385 -1, 174415 -0, 792919 -1, 174415 -0, 740652 -0, 757775 -1, 139578 -0, 707463 -1, 131159
-----	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--

γ_{1p}° γ_{1m}°	20°	22°	24°	25°	26°	28°	30°	32°	34°	35°	36°	38°
180°	-0, 879386 -0, 684040	-0, 854368 -0, 749214	-0, 827090 -0, 813474	-0, 812616 -0, 845236	-0, 797588 -0, 876742	-0, 765896 -0, 938944	-0, 732050 -1, 000000	-0, 696095 -1, 039838	-0, 658076 -1, 118386	-0, 638304 -1, 147152	-0, 618034 -1, 173570	-0, 576022 -1, 231322
185°	-0, 849806 -0, 677482	-0, 821996 -0, 741441	-0, 791970 -0, 804391	-0, 776138 -0, 835462	-0, 759766 -0, 866253	-0, 725424 -0, 926955	-0, 689982 -0, 986420	-0, 650489 -1, 044578	-0, 609989 -1, 101357	-0, 589001 -1, 129208	-0, 567532 -1, 156688	-0, 523170 -1, 210503
190°	-0, 820910 -0, 658372	-0, 790424 -0, 730878	-0, 757775 -0, 792282	-0, 740652 -0, 822546	-0, 723003 -0, 852508	-0, 686151 -0, 911485	-0, 647261 -0, 969140	-0, 606385 -1, 045402	-0, 563570 -1, 030203	-0, 541451 -1, 107035	-0, 518867 -1, 133477	-0, 472334 -1, 185158
195°	-0, 792919 -0, 656777	-0, 759894 -0, 717603	-0, 724765 -0, 777238	-0, 706426 -0, 806587	-0, 687578 -0, 835611	-0, 648376 -0, 892651	-0, 607206 -0, 948288	-0, 564210 -1, 002454	-0, 519171 -1, 055084	-0, 496014 -1, 080601	-0, 472411 -1, 106112	-0, 423900 -1, 155478
200°	-0, 766044 -0, 642788	-0, 730636 -0, 701718	-0, 693192 -0, 759375	-0, 673722 -0, 787705	-0, 653759 -0, 815691	-0, 612386 -0, 870597	-0, 569120 -0, 924024	-0, 524016 -0, 975910	-0, 477130 -1, 026190	-0, 453035 -1, 050780	-0, 428517 -1, 074803	-0, 378237 -1, 121689
205°	-0, 740492 -0, 626509	-0, 702874 -0, 683343	-0, 663296 -0, 738829	-0, 642788 -0, 766044	-0, 621806 -0, 792899	-0, 578455 -0, 845490	-0, 533293 -0, 895534	-0, 486379 -0, 945972	-0, 437768 -0, 993742	-0, 412844 -1, 016983	-0, 387519 -1, 039787	-0, 335693 -1, 084050
210°	-0, 716456 -0, 608064	-0, 676820 -0, 662618	-0, 635305 -0, 715754	-0, 613859 -0, 741770	-0, 591962 -0, 767409	-0, 546842 -0, 817520	-0, 500000 -0, 866025	-0, 451495 -0, 912867	-0, 401384 -0, 957987	-0, 375745 -0, 979884	-0, 349729 -1, 001330	-0, 296593 -1, 042845
215°	-0, 693117 -0, 587596	-0, 652671 -0, 639702	-0, 609431 -0, 690328	-0, 587156 -0, 715067	-0, 564452 -0, 739415	-0, 517786 -0, 786903	-0, 469491 -0, 832732	-0, 419627 -0, 876848	-0, 368254 -0, 919197	-0, 342020 -0, 936933	-0, 314433 -0, 959728	-0, 261231 -0, 998390
220°	-0, 673649 -0, 565257	-0, 630612 -0, 614767	-0, 585872 -0, 662743	-0, 562882 -0, 686138	-0, 539487 -0, 709128	-0, 491511 -0, 753868	-0, 442001 -0, 796905	-0, 391021 -0, 838188	-0, 338631 -0, 877667	-0, 311927 -0, 896714	-0, 284895 -0, 915293	-0, 229879 -0, 951021
225°	-0, 655204 -0, 541221	-0, 610808 -0, 588005	-0, 564806 -0, 633210	-0, 541221 -0, 655204	-0, 517255 -0, 676783	-0, 468213 -0, 718670	-0, 417737 -0, 758819	-0, 365892 -0, 797182	-0, 312740 -0, 833713	-0, 285693 -0, 851277	-0, 258344 -0, 868366	-0, 202773 -0, 901100
230°	-0, 638925 -0, 515669	-0, 593413 -0, 559620	-0, 546394 -0, 601955	-0, 522339 -0, 622500	-0, 497928 -0, 642823	-0, 448072 -0, 681576	-0, 396885 -0, 718764	-0, 344433 -0, 754143	-0, 290778 -0, 787671	-0, 263520 -0, 803727	-0, 235985 -0, 819305	-0, 180122 -0, 849008
235°	-0, 624936 -0, 488794	-0, 578559 -0, 529825	-0, 530778 -0, 569212	-0, 506380 -0, 588274	-0, 481652 -0, 606907	-0, 431241 -0, 642866	-0, 379605 -0, 677043	-0, 326808 -0, 709397	-0, 272914 -0, 739889	-0, 245576 -0, 754424	-0, 217989 -0, 768481	-0, 162099 -0, 795139
240°	-0, 610341 -0, 463893	-0, 566357 -0, 508850	-0, 518073 -0, 535234	-0, 492464 -0, 552788	-0, 468350 -0, 569910	-0, 417847 -0, 602898	-0, 366025 -0, 633975	-0, 313149 -0, 663285	-0, 259282 -0, 690732	-0, 231996 -0, 703746	-0, 204489 -0, 716282	-0, 148838 -0, 749904
245°	-0, 604231 -0, 431907	-0, 556902 -0, 466929	-0, 508379 -0, 500277	-0, 483690 -0, 516310	-0, 458724 -0, 531911	-0, 407934 -0, 561794	-0, 356251 -0, 599887	-0, 303561 -0, 616157	-0, 249985 -0, 640573	-0, 222886 -0, 652076	-0, 195590 -0, 663104	-0, 140442 -0, 683723
250°	-0, 597673 -0, 402327	-0, 550265 -0, 434305	-0, 501769 -0, 464608	-0, 477132 -0, 491120	-0, 452246 -0, 493200	-0, 401755 -0, 520047	-0, 350357 -0, 545115	-0, 298116 -0, 568374	-0, 245096 -0, 589796	-0, 218313 -0, 609809	-0, 191360 -0, 630454	-0, 136974 -0, 657025
255°	-0, 593718 -0, 372289	-0, 546496 -0, 401227	-0, 498292 -0, 428499	-0, 473841 -0, 441500	-0, 449166 -0, 454072	-0, 399178 -0, 477916	-0, 345387 -0, 500000	-0, 296857 -0, 520298	-0, 244551 -0, 558786	-0, 218313 -0, 547343	-0, 191830 -0, 555439	-0, 138461 -0, 570240
260°	-0, 592397 -0, 342020	-0, 545624 -0, 367947	-0, 497975 -0, 392225	-0, 473841 -0, 403736	-0, 449509 -0, 414825	-0, 400233 -0, 435721	-0, 350357 -0, 454885	-0, 299793 -0, 472295	-0, 248653 -0, 487930	-0, 222886 -0, 495076	-0, 196998 -0, 501771	-0, 144891 -0, 513801

265°	-0,593718	-0,547656	-0,500821	-0,477132	-0,453270	-0,405061	-0,356251	-0,306902	-0,257072	-0,231996	-0,206823	-0,156216
	-0,311751	-0,334717	-0,356061	-0,366116	-0,375656	-0,393782	-0,410113	-0,424731	-0,437618	-0,443406	-0,448757	-0,458137
270°	-0,597673	-0,552577	-0,506808	-0,483690	-0,460423	-0,413476	-0,366025	-0,318129	-0,269845	-0,245576	-0,221232	-0,172350
	-0,281713	-0,301791	-0,320282	-0,328626	-0,337165	-0,347420	-0,360025	-0,377967	-0,398231	-0,423728	-0,459682	-0,497372
275°	-0,604231	-0,560350	-0,515891	-0,493464	-0,470912	-0,425465	-0,379605	-0,333389	-0,286874	-0,263520	-0,240114	-0,193169
	-0,252133	-0,269419	-0,285162	-0,292448	-0,299343	-0,311948	-0,322957	-0,332360	-0,340144	-0,343425	-0,346300	-0,350820
280°	-0,613341	-0,570913	-0,528000	-0,506380	-0,484657	-0,440935	-0,396885	-0,352565	-0,308028	-0,285693	-0,263125	-0,218514
	-0,223237	-0,237847	-0,250967	-0,256962	-0,262880	-0,272675	-0,281236	-0,288226	-0,293725	-0,295875	-0,297635	-0,299384
285°	-0,624936	-0,584188	-0,543044	-0,522339	-0,501554	-0,459769	-0,417737	-0,375513	-0,333147	-0,311927	-0,290690	-0,248194
	-0,195246	-0,207317	-0,217957	-0,222736	-0,227155	-0,234900	-0,241181	-0,245991	-0,249326	-0,250438	-0,251179	-0,251550
290°	-0,638925	-0,600077	-0,560907	-0,541221	-0,521474	-0,481823	-0,442001	-0,402057	-0,362041	-0,342020	-0,321999	-0,281983
	-0,168371	-0,178059	-0,186384	-0,190032	-0,193336	-0,198910	-0,203905	-0,205887	-0,207285	-0,207459	-0,207285	-0,205887
295°	-0,655204	-0,618748	-0,581453	-0,562882	-0,544266	-0,506930	-0,469491	-0,431995	-0,394489	-0,375745	-0,357015	-0,319612
	-0,142819	-0,150297	-0,156488	-0,159098	-0,161383	-0,164979	-0,167268	-0,168250	-0,167923	-0,167268	-0,166287	-0,163343
300°	-0,673649	-0,639173	-0,604528	-0,587156	-0,569756	-0,534900	-0,500000	-0,465100	-0,430244	-0,412844	-0,395472	-0,360827
	-0,118783	-0,124243	-0,128497	-0,130169	-0,131539	-0,133366	-0,133975	-0,133665	-0,131539	-0,130169	-0,128497	-0,124243
305°	-0,693117	-0,662089	-0,629954	-0,613859	-0,597750	-0,565517	-0,533293	-0,501119	-0,469034	-0,453035	-0,437074	-0,405282
	-0,096444	-0,100094	-0,102623	-0,103466	-0,104029	-0,104310	-0,103466	-0,101498	-0,098409	-0,096444	-0,094201	-0,088881
310°	-0,716456	-0,687024	-0,657539	-0,642788	-0,628037	-0,598552	-0,569120	-0,539779	-0,510564	-0,496014	-0,481509	-0,452651
	-0,075976	-0,078035	-0,079064	-0,079192	-0,079064	-0,078035	-0,075976	-0,072892	-0,068786	-0,066351	-0,063663	-0,057529
315°	-0,740492	-0,713786	-0,687072	-0,673722	-0,660382	-0,633750	-0,607206	-0,580785	-0,554518	-0,541451	-0,528436	-0,502572
	-0,057531	-0,058231	-0,057998	-0,057531	-0,056832	-0,054737	-0,051712	-0,047763	-0,042895	-0,040117	-0,037112	-0,030423
320°	-0,766044	-0,742171	-0,718327	-0,706426	-0,694542	-0,670844	-0,647261	-0,623824	-0,600560	-0,589001	-0,577497	-0,554664
	-0,041252	-0,040836	-0,039586	-0,038649	-0,037805	-0,034596	-0,030860	-0,026304	-0,020933	-0,017944	-0,014753	-0,007772
325°	-0,792919	-0,771966	-0,751070	-0,740652	-0,730258	-0,709554	-0,688982	-0,668570	-0,648342	-0,638304	-0,628321	-0,608553
	-0,027263	-0,025982	-0,023970	-0,022690	-0,021229	-0,017765	-0,013580	-0,008679	-0,003069	-0,000000	-0,003243	-0,010251
330°	-0,820910	-0,802941	-0,785048	-0,776138	-0,767255	-0,749582	-0,732050	-0,714682	-0,697499	-0,689982	-0,680520	-0,663768
	-0,015668	-0,013780	-0,011265	-0,009774	-0,008127	-0,004371	-0,000000	-0,004980	-0,010563	-0,013580	-0,016743	-0,023512
335°	-0,849806	-0,834862	-0,820005	-0,812616	-0,805254	-0,790626	-0,776138	-0,761810	-0,747658	-0,740652	-0,733698	-0,719949
	-0,006558	-0,004325	-0,001571	-0,000000	-0,001699	-0,005452	-0,009774	-0,014568	-0,019859	-0,022690	-0,025642	-0,031908
340°	-0,879386	-0,867486	-0,855674	-0,849806	-0,843965	-0,832373	-0,820910	-0,809593	-0,798435	-0,792919	-0,787448	-0,776647
	0,000000	0,002312	0,005039	0,006538	0,008177	0,011721	0,015668	0,020013	0,024749	0,027263	0,029872	0,035376
345°	-0,909424	-0,900564	-0,891783	-0,887426	-0,883093	-0,874504	-0,866025	-0,857669	-0,849445	-0,845385	-0,841363	-0,833432
	0,003955	0,006081	0,008516	0,009849	0,011257	0,014298	0,017638	0,021272	0,025194	0,029402	0,033859	-0,038871
350°	-0,939693	-0,933844	-0,928057	-0,925190	-0,922340	-0,916999	-0,911740	-0,905672	-0,900301	-0,897652	-0,895031	-0,889871
	0,005276	0,006953	0,008833	0,009849	0,010914	0,013193	0,015668	0,018336	0,021192	0,022690	0,024234	0,024559
355°	-0,969962	-0,967074	-0,964221	-0,962810	-0,961409	-0,958638	-0,955912	-0,953236	-0,950613	-0,948045	-0,945535	-0,945535
	0,003955	0,004921	0,005987	0,006558	0,007153	0,008415	0,009774	0,011227	0,012773	0,013580	0,014409	0,016134
360°	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000
	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

$\frac{12h}{\text{min}}$	40°	42°	44°	45°	46°	48°	50°	52°	54°	55°	56°	58°
0°	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
5°	-1,055132 -0,022837	-1,057342 -0,024933	-1,059473 -0,027104	-1,060514 -0,028219	-1,061533 -0,029350	-1,063511 -0,031665	-1,065407 -0,034048	-1,067217 -0,036496	-1,068922 -0,039006	-1,069771 -0,040283	-1,070578 -0,041574	-1,072124 -0,044197
10°	-1,108064 -0,050392	-1,112292 -0,054768	-1,116363 -0,059289	-1,118339 -0,061603	-1,120273 -0,063950	-1,124020 -0,068745	-1,127596 -0,073667	-1,130997 -0,078711	-1,134222 -0,083871	-1,135766 -0,086492	-1,137284 -0,089141	-1,140120 -0,094512
15°	-1,158394 -0,082455	-1,164432 -0,089279	-1,170228 -0,096310	-1,173033 -0,099901	-1,175774 -0,103589	-0,181067 -1,110957	-1,186096 -0,118555	-1,190856 -0,126325	-1,195343 -0,134256	-1,197482 -0,138278	-1,199551 -0,142338	-1,203473 -0,150562
20°	-1,205737 -0,118783	-1,213366 -0,128203	-1,220662 -0,137884	-1,224182 -0,142819	-1,227614 -0,147815	-1,232417 -0,157981	-1,240462 -0,168371	-1,246337 -0,178974	-1,251841 -0,189715	-1,254450 -0,195246	-1,256964 -0,200762	-1,261700 -0,211920
25°	-1,249734 -0,190095	-1,258722 -0,171244	-1,267280 -0,183696	-1,271395 -0,190032	-1,275398 -0,196439	-1,283067 -0,209458	-1,290277 -0,222736	-1,297018 -0,236259	-1,303284 -0,250008	-1,306236 -0,256962	-1,309057 -0,263968	-1,314358 -0,278120
30°	-1,290049 -0,203095	-1,300153 -0,218074	-1,309728 -0,233396	-1,314313 -0,241181	-1,318761 -0,249044	-1,327244 -0,264997	-1,335165 -0,281236	-1,342513 -0,297743	-1,349282 -0,314495	-1,352445 -0,322957	-1,355462 -0,332474	-1,361045 -0,348657
35°	-1,326377 -0,250438	-1,337346 -0,268333	-1,347683 -0,286607	-1,352611 -0,296875	-1,357376 -0,305228	-1,366414 -0,324175	-1,374784 -0,343425	-1,382477 -0,362957	-1,389485 -0,382745	-1,392728 -0,392728	-1,395797 -0,402766	-1,401407 -0,422994
40°	-1,358440 -0,300568	-1,370016 -0,321651	-1,380856 -0,342924	-1,385995 -0,353700	-1,390946 -0,364564	-1,400276 -0,385542	-1,408832 -0,408832	-1,416604 -0,431408	-1,423585 -0,454241	-1,426776 -0,465745	-1,429765 -0,477304	-1,435136 -0,500568
45°	-1,385995 -0,353700	-1,397916 -0,377608	-1,408995 -0,401917	-1,414214 -0,414214	-1,419217 -0,426599	-1,428574 -0,451622	-1,437051 -0,476956	-1,444637 -0,502572	-1,451326 -0,528436	-1,454331 -0,541451	-1,457109 -0,554518	-1,461977 -0,580785
50°	-1,408832 -0,408832	-1,420632 -0,435784	-1,431884 -0,463138	-1,437051 -0,476956	-1,441974 -0,490862	-1,451092 -0,518921	-1,459224 -0,547280	-1,466361 -0,575907	-1,472495 -0,604765	-1,475183 -0,619270	-1,477618 -0,633820	-1,481724 -0,663035
55°	-1,426776 -0,465745	-1,438590 -0,495737	-1,449331 -0,526122	-1,454331 -0,541451	-1,459043 -0,556865	-1,463698 -0,587927	-1,475183 -0,619270	-1,481609 -0,650858	-1,486929 -0,682650	-1,489172 -0,698611	-1,491137 -0,714610	-1,494226 -0,746695
60°	-1,439692 -0,524005	-1,451057 -0,557008	-1,461262 -0,590387	-1,465926 -0,607206	-1,470295 -0,624103	-1,478148 -0,658113	-1,484808 -0,692376	-1,490268 -0,728852	-1,494522 -0,761497	-1,496194 -0,778869	-1,497564 -0,796269	-1,499391 -0,831125
65°	-1,447481 -0,583170	-1,458135 -0,619134	-1,467526 -0,655474	-1,471745 -0,673722	-1,475644 -0,692068	-1,482490 -0,728948	-1,488024 -0,766044	-1,492269 -0,803312	-1,495213 -0,840705	-1,496194 -0,859435	-1,496849 -0,878179	-1,497176 -0,915985
70°	-1,450084 -0,642788	-1,459772 -0,681640	-1,468097 -0,720806	-1,471745 -0,740492	-1,475049 -0,760239	-1,480623 -0,799890	-1,484808 -0,839712	-1,487600 -0,879566	-1,488998 -0,919672	-1,489172 -0,939693	-1,488898 -0,959714	-1,487600 -0,999730
75°	-1,447481 -0,702406	-1,455954 -0,744050	-1,462969 -0,785964	-1,468514 -0,807008	-1,472589 -0,828099	-1,475183 -0,870400	-1,476205 -0,912818	-1,476295 -0,955301	-1,475924 -0,997797	-1,475183 -1,019034	-1,474071 -1,040254	-1,470736 -1,082620
80°	-1,439692 -0,761571	-1,446712 -0,805891	-1,452181 -0,850428	-1,454331 -0,872763	-1,456091 -0,895131	-1,458440 -0,939942	-1,459224 -0,984808	-0,458440 -1,029674	-1,456091 -1,074485	-1,454331 -1,096853	-1,452181 -1,119188	-1,446712 -1,163725

γ_{ip} γ_{em}	40°	42°	44°	45°	46°	48°	50°	52°	54°	55°	56°	58°
180°	-0,532088 -1,285576	-0,486290 -1,338262	-0,438680 -1,389316	-0,414214 -1,414214	-0,389316 -1,438680	-0,338262 -1,486290	-0,285576 -1,532088	-0,231322 -1,576022	-0,175570 -1,618034	-0,147152 -1,638304	-0,118386 -1,658076	-0,059838 -1,696096
185°	-0,476296 -1,262739	-0,428948 -1,313329	-0,379204 -1,362212	-0,357000 -1,385995	-0,327783 -1,409330	-0,274751 -1,454625	-0,220169 -1,498040	-0,164105 -1,539526	-0,106648 -1,579028	-0,077381 -1,598021	-0,047808 -1,616502	-0,012286 -1,651899
190°	-0,424024 -1,235184	-0,373998 -1,283494	-0,322317 -1,330027	-0,295875 -1,352611	-0,269043 -1,374730	-0,214242 -1,417545	-0,157980 -1,458421	-0,100325 -1,497311	-0,041348 -1,534163	-0,011336 -1,551812	-0,018878 -1,568935	-0,080282 -1,601584
195°	-0,373694 -1,203121	-0,321858 -1,248983	-0,268452 -1,293006	-0,241281 -1,314313	-0,213542 -1,335141	-0,175195 -1,357533	-0,099480 -1,413533	-0,040466 -1,449697	-0,019773 -1,483778	-0,050330 -1,500026	-0,081165 -1,515738	-0,143635 -1,545534
200°	-0,326351 -1,166793	-0,272924 -1,210059	-0,218018 -1,251432	-0,180032 -1,271395	-0,161702 -1,290865	-0,104045 -1,328309	-0,045115 -1,363717	-0,015015 -1,397048	-0,076271 -1,428259	-0,107298 -1,443058	-0,138578 -1,457314	-0,201862 -1,484176
205°	-0,282354 -1,126478	-0,227568 -1,167018	-0,171400 -1,205620	-0,142819 -1,224182	-0,113918 -1,242241	-0,055195 -1,276832	-0,004701 -1,309352	-0,065696 -1,339763	-0,127714 -1,368026	-0,159084 -1,381342	-0,190671 -1,394108	-0,254520 -1,417976
210°	-0,242039 -1,082481	-0,186137 -1,120188	-0,128952 -1,155920	-0,099901 -1,173033	-0,070555 -1,189636	-0,011018 -1,221293	-0,049589 -1,250852	-0,111191 -1,278279	-0,173712 -1,303539	-0,205293 -1,315347	-0,237076 -1,326602	-0,301207 -1,347439
215°	-0,205711 -1,035138	-0,148944 -1,069925	-0,090997 -1,102709	-0,061603 -1,118339	-0,031940 -1,133452	-0,028152 -1,162115	-0,089208 -1,188663	-0,151155 -1,235289	-0,213915 -1,245576	-0,245576 -1,255310	-0,277411 -1,255310	-0,341569 -1,273102
220°	-0,173548 -0,984808	-0,116274 -1,016611	-0,057824 -1,046392	-0,028219 -1,060514	-0,001630 -1,074116	-0,062014 -1,099748	-0,123256 -1,123256	-0,185282 -1,144614	-0,248015 -1,163793	-0,279624 -1,172559	-0,313799 -1,180772	-0,375298 -1,195528
225°	-0,146093 -0,931876	-0,088374 -0,960654	-0,029685 -0,987399	-0,000000 -1,000000	-0,029901 -1,012081	-0,090312 -1,034668	-0,151475 -1,055132	-0,213315 -1,073450	-0,275755 -1,089598	-0,307179 -1,096853	-0,338723 -1,103558	-0,402139 -1,115311
230°	-0,123256 -0,876744	-0,065458 -0,902478	-0,006796 -0,926178	-0,022837 -0,937258	-0,052658 -0,947818	-0,112830 -0,967369	-0,173648 -0,984808	-0,235039 -1,000115	-0,296925 -1,013269	-0,328031 -1,019034	-0,359232 -1,024256	-0,421886 -1,033061
235°	-0,105312 -0,819831	-0,047700 -0,842525	-0,010670 -0,863194	-0,040117 -0,872763	-0,069727 -0,881815	-0,129396 -0,893863	-0,189607 -0,912818	-0,250287 -0,925164	-0,311359 -0,935384	-0,342020 -0,939693	-0,372751 -0,943466	-0,434388 -0,949401
240°	-0,092396 -0,761571	-0,035233 -0,781254	-0,022582 -0,798929	-0,051712 -0,807008	-0,080979 -0,814577	-0,139886 -0,828177	-0,199232 -0,839712	-0,258946 -0,849170	-0,318952 -0,856537	-0,349042 -0,859435	-0,379178 -0,861807	-0,439553 -0,864971
245°	-0,084607 -0,702406	-0,028155 -0,719128	-0,028846 -0,733869	-0,037531 -0,740492	-0,056328 -0,746612	-0,144218 -0,757342	-0,202448 -0,766044	-0,260947 -0,772710	-0,319643 -0,777329	-0,349043 -0,778869	-0,378463 -0,779897	-0,437338 -0,780411
250°	-0,082004 -0,642788	-0,026518 -0,656522	-0,029417 -0,668510	-0,037531 -0,673722	-0,057333 -0,678441	-0,142361 -0,686400	-0,199232 -0,692376	-0,256278 -0,696366	-0,313428 -0,698611	-0,342020 -0,698611	-0,370612 -0,698362	-0,427762 -0,696366
255°	-0,084607 -0,583170	-0,030336 -0,594212	-0,024289 -0,603352	-0,051712 -0,607206	-0,079199 -0,610581	-0,134327 -0,615890	-0,189607 -0,619270	-0,244973 -0,620721	-0,300354 -0,620237	-0,328031 -0,619270	-0,355685 -0,617822	-0,410898 -0,613476
260°	-0,092396 -0,524005	-0,039578 -0,532371	-0,013501 -0,538888	-0,040117 -0,541451	-0,066775 -0,543549	-0,120178 -0,546348	-0,173648 -0,547280	-0,227118 -0,546348	-0,280521 -0,543549	-0,307179 -0,541451	-0,333795 -0,538888	-0,386874 -0,532371

265°	-0,405312	-0,054174	-0,002864	0,022837	0,048557	0,100023	0,151475	0,202849	0,254081	0,279624	0,305109	0,355873
	-0,405745	-0,0471572	-0,475609	-0,022837	-0,477855	-0,478304	-0,476956	-0,473814	-0,468881	-0,465745	-0,452163	-0,435668
270°	-0,123256	-0,074014	-0,246682	0,000000	0,024682	0,074014	0,123256	0,172350	0,221232	0,245576	0,269845	0,318129
	-0,408832	-0,412276	-0,413998	-0,414214	-0,413998	-0,412276	-0,408832	-0,403572	-0,398231	-0,392728	-0,385231	-0,377957
275°	-0,146093	-0,098947	-0,051786	-0,028219	-0,004668	0,041349	0,089208	0,135854	0,182226	0,205293	0,228271	0,273932
	-0,353700	-0,354934	-0,354522	-0,353700	-0,352465	-0,348765	-0,343425	-0,336455	-0,327860	-0,322957	-0,317653	-0,305843
280°	-0,173648	-0,128782	-0,083971	-0,061603	-0,039268	0,005269	0,049589	0,093639	0,137361	0,159084	0,180704	0,223617
	-0,300568	-0,299984	-0,297635	-0,295875	-0,293725	-0,288259	-0,281236	-0,272675	-0,262580	-0,256962	-0,250967	-0,237847
285°	-0,205711	-0,163293	-0,120992	-0,099901	-0,078857	-0,036943	0,004701	0,046025	0,086976	0,107298	0,127507	0,167567
	-0,230438	-0,247844	-0,243770	-0,241181	-0,238224	-0,231209	-0,222736	-0,212816	-0,201459	-0,195246	-0,188680	-0,174494
290°	-0,202039	-0,202217	-0,162566	-0,142819	-0,123133	-0,083967	0,045115	0,066324	0,031457	0,050330	0,069083	0,106209
	-0,203095	-0,198910	-0,193336	-0,190032	-0,186384	-0,178059	-0,168371	-0,157335	-0,144961	-0,138278	-0,131267	-0,116267
295°	-0,282354	-0,245258	-0,208378	-0,190032	-0,171757	-0,135444	-0,099480	-0,063909	-0,028776	-0,011386	0,003877	0,040009
	-0,159098	-0,153554	-0,146718	-0,142819	-0,138000	-0,129209	-0,118555	-0,106654	-0,093518	-0,080492	-0,079164	-0,063609
300°	-0,326351	-0,292088	-0,258078	-0,241281	-0,224362	-0,190983	-0,157980	-0,125393	-0,093263	-0,077381	-0,061629	-0,030528
	-0,118783	-0,112123	-0,104270	-0,099591	-0,095237	-0,085032	-0,073667	-0,061159	-0,047520	-0,041028	-0,032769	-0,016922
305°	-0,373694	-0,342351	-0,311289	-0,295875	-0,280546	-0,250161	-0,220169	-0,190607	-0,161513	-0,147152	-0,132921	-0,104865
	-0,082455	-0,074930	-0,066315	-0,061603	-0,056622	-0,045862	-0,034048	-0,021135	-0,007317	0,000000	0,007566	0,023440
310°	-0,424024	-0,395565	-0,367600	-0,353700	-0,339882	-0,312628	-0,285576	-0,259038	-0,233009	-0,220169	-0,207459	-0,182439
	-0,050392	-0,042260	-0,033142	-0,028219	-0,023052	-0,012000	0,000000	0,012932	0,026783	0,034048	0,041534	0,057169
315°	-0,476956	-0,451622	-0,426599	-0,414214	-0,401917	-0,377608	-0,353700	-0,330222	-0,307204	-0,295875	-0,284673	-0,262656
	-0,022837	-0,014360	-0,005003	0,000000	0,005219	0,016298	0,028219	0,040965	0,054524	0,061603	0,068878	0,084010
320°	-0,532088	-0,509798	-0,487820	-0,476956	-0,466180	-0,444907	-0,424024	-0,403554	-0,383533	-0,373694	-0,363975	-0,344906
	0,000000	0,008556	0,017886	0,022837	0,027976	0,038816	0,050392	0,062689	0,075693	0,082455	0,089487	0,103757
325°	-0,589001	-0,569751	-0,550804	-0,541451	-0,532183	-0,513913	-0,496014	-0,478508	-0,461418	-0,453035	-0,444765	-0,428566
	0,017944	0,026314	0,035352	0,040117	0,045045	0,055382	0,066351	0,077937	0,090127	0,096444	0,102906	0,116259
330°	-0,647261	-0,631022	-0,615069	-0,607206	-0,599421	-0,584099	-0,569120	-0,554502	-0,540265	-0,526424	-0,512996	-0,494242
	0,030860	0,038781	0,047264	0,051712	0,056297	0,065872	0,075976	0,086596	0,097720	0,103466	0,109333	0,121424
335°	-0,706426	-0,693148	-0,680129	-0,673222	-0,667386	-0,654934	-0,642788	-0,630962	-0,619473	-0,613859	-0,608334	-0,597556
	0,038649	0,045859	0,053528	0,057531	0,061646	0,070204	0,079192	0,088597	0,098411	0,103466	0,109618	0,119209
340°	-0,766044	-0,755654	-0,745488	-0,740492	-0,735557	-0,725876	-0,716456	-0,707306	-0,698440	-0,694117	-0,689869	-0,681601
	0,041252	0,047496	0,054099	0,057531	0,061051	0,068347	0,075376	0,083928	0,092196	0,096444	0,100767	0,106163
345°	-0,825662	-0,818064	-0,810646	-0,807008	-0,803417	-0,796486	-0,789562	-0,782951	-0,776565	-0,773458	-0,770409	-0,764491
	0,038649	0,043678	0,048971	0,051712	0,054517	0,060313	0,066351	0,072623	0,079122	0,082455	0,085840	0,092769
350°	-0,884827	-0,879905	-0,875110	-0,872763	-0,870449	-0,865928	-0,861552	-0,857324	-0,853253	-0,851277	-0,849343	-0,845596
	0,030860	0,034436	0,038183	0,040117	0,042093	0,046164	0,050392	0,054768	0,059289	0,061603	0,063950	0,068745
355°	-0,943087	-0,940704	-0,938389	-0,937258	-0,936143	-0,933972	-0,931376	-0,929858	-0,927921	-0,926983	-0,926068	-0,924299
	0,017944	0,019840	0,021818	0,022837	0,023875	0,026009	0,028219	0,030499	0,032849	0,034048	0,035264	0,037714
360°	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000
	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

$\frac{1}{2} \beta^\circ$ $\frac{1}{2} \alpha^\circ$	60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°	74°	75°	76°	78°
0°	-1,000000 0,000000 -1,073577 -0,046873 -1,042788 -0,099980 -1,207107 -0,158918 -1,266045 -0,223237 -1,319152 -0,292448 -1,366025 -0,366025 -1,406308 -0,443405 -1,436692 -0,524405 -1,465926 -0,607206 -1,484808 -0,692376 -1,496194 -0,778869 -1,500000 -0,866025 -1,496194 -0,953181 -1,484808 -1,039574 -1,465926 -1,124844 -1,436692 -1,208045	-1,000000 0,000000 -1,074936 -0,049599 -1,145263 -0,105339 -1,210447 -0,167397 -1,269992 -0,234700 -1,323444 -0,206936 -1,370396 -0,383557 -1,410493 -0,463978 -1,443428 -0,547588 -1,468951 -0,633750 -1,486867 -0,721808 -1,497038 -0,811093 -1,499391 -0,900925 -1,493905 -0,990620 -1,480885 -1,079496 -1,459645 -1,166876 -1,431131 -1,252095	-1,000000 0,000000 -1,076198 -0,052370 -1,147542 -0,111180 -1,213488 -0,175386 -1,273536 -0,246282 -1,327227 -0,321564 -1,374152 -0,401230 -1,413957 -0,484682 -1,446337 -0,571286 -1,471046 -0,660382 -1,487896 -0,751293 -1,496757 -0,843326 -1,497564 -0,935781 -1,490309 -1,027956 -1,475049 -1,119147 -1,451900 -1,208681 -1,421036 -1,295817	-1,000000 0,000000 -1,076793 -0,053771 -1,148607 -0,114030 -1,214896 -0,180319 -1,275165 -0,252133 -1,328926 -0,328926 -1,375799 -0,410113 -1,415418 -0,495076 -1,447481 -0,583170 -1,471745 -0,673732 -1,488204 -0,768044 -1,496194 -0,859435 -1,493181 -1,493905 -1,046572 -1,471745 -1,138894 -1,447481 -1,229446 -1,415418 -1,317540	-1,000000 0,000000 -1,077364 -0,055182 -1,149623 -0,116897 -1,216229 -0,184674 -1,276674 -0,258001 -1,330497 -0,335315 -1,377290 -0,419023 -1,416698 -0,505494 -1,448418 -0,595071 -1,472212 -0,687072 -1,487896 -0,780795 -1,495351 -0,875530 -1,495351 -1,068097 -1,158580 -1,442702 -1,250151 -1,409423 -1,339160	-1,000000 0,000000 -1,078430 -0,058035 -1,151503 -0,122684 -1,218664 -0,193457 -1,279401 -0,269813 -1,333251 -0,351172 -1,379805 -0,439916 -1,418710 -0,526390 -1,449668 -0,618915 -1,472445 -0,713786 -1,486867 -0,810280 -1,492822 -0,907655 -1,490268 -1,005198 -1,479223 -1,102138 -1,459772 -1,197746 -1,432062 -1,291295 -1,356303 -1,382073	-1,000000 0,000000 -1,079396 -0,060923 -1,153180 -0,128533 -1,220790 -0,202317 -1,281713 -0,281713 -1,335484 -0,366166 -1,381693 -0,454885 -1,419991 -0,547343 -1,450084 -0,642788 -1,471745 -0,740492 -1,484808 -0,839712 -1,492822 -0,936993 -1,434808 -1,039674 -1,471745 -1,138894 -1,450084 -1,236598 -1,419991 -1,332043 -1,381693 -1,424501	-1,000000 0,000000 -1,080261 -0,063943 -1,154652 -0,134487 -1,224807 -0,211246 -1,285086 -0,293686 -1,337194 -0,381129 -1,382954 -0,472909 -1,420541 -0,568328 -1,449668 -0,676661 -1,470114 -0,767157 -1,484408 -0,869053 -1,478533 -1,003268 -1,470295 -1,079497 -1,462989 -1,175367 -1,439048 -1,275089 -1,406507 -1,391623 -1,373244 -1,365613 -1,507099	-1,000000 0,000000 -1,081023 -0,066791 -1,155917 -0,140388 -1,224111 -0,220233 -1,285086 -0,305718 -1,338379 -0,396192 -1,383584 -0,490966 -1,420357 -0,589319 -1,448418 -0,690505 -1,467554 -0,793749 -1,477618 -0,898268 -1,478533 -1,003268 -1,470295 -1,107947 -1,462989 -1,175367 -1,439048 -1,391623 -1,373244 -1,365613 -1,507099	-1,000000 0,000000 -1,081466 -0,068274 -1,156471 -0,143379 -1,224745 -0,224745 -1,285668 -0,311751 -1,338775 -0,403736 -1,383663 -0,500000 -1,419991 -0,599809 -1,447481 -0,702406 -1,465926 -0,807008 -1,475183 -0,912813 -1,478533 -1,019034 -1,455926 -1,124844 -1,447481 -1,229446 -1,419991 -1,332043 -1,350796 -1,383603 -1,431852 -1,481852 -1,528116	-1,000000 0,000000 -1,081683 -0,069764 -1,156974 -0,146380 -1,225300 -0,229267 -1,286143 -0,317794 -1,389039 -0,411287 -1,383584 -0,509034 -1,419442 -0,610292 -1,446337 -0,714290 -1,464037 -0,820236 -1,472495 -0,927323 -1,471557 -1,034738 -1,451057 -1,141663 -1,441686 -1,247284 -1,412980 -1,350796 -1,387922 -1,451412 -1,507099	-1,000000 0,000000 -1,082238 -0,072758 -1,157821 -0,152405 -1,226174 -0,238337 -1,286778 -0,329900 -1,389039 -0,426396 -1,382954 -0,527091 -1,417795 -0,631219 -1,443428 -0,737988 -1,459688 -0,846684 -1,466361 -0,956181 -1,463486 -1,065946 -1,151057 -1,175042 -1,429166 -1,282641 -1,397980 -1,357738 -1,451412 -1,508744 -1,548867

85°	-1, 406308	-1, 395299	-1, 382094	-1, 375799	-1, 368513	-1, 352770	-1, 335484	-1, 310678	-1, 290373	-1, 285638	-1, 274597	-1, 251373
	-1, 288644	-1, 334504	-1, 379951	-1, 402503	-1, 424930	-1, 449389	-1, 513270	-1, 556521	-1, 599089	-1, 620101	-1, 640923	-1, 681973
90°	-1, 366025	-1, 352420	-1, 337165	-1, 328926	-1, 320282	-1, 301791	-1, 281713	-1, 260074	-1, 236899	-1, 224745	-1, 212218	-1, 186060
	-1, 366025	-1, 413476	-1, 460423	-1, 483690	-1, 506808	-1, 532577	-1, 597673	-1, 642040	-1, 685625	-1, 707107	-1, 728374	-1, 770226
95°	-1, 319152	-1, 302821	-1, 284795	-1, 275165	-1, 265100	-1, 243756	-1, 220790	-1, 192231	-1, 170108	-1, 156471	-1, 142454	-1, 113302
	-1, 439602	-1, 488412	-1, 536621	-1, 560483	-1, 584172	-1, 631007	-1, 677069	-1, 722307	-1, 766648	-1, 788473	-1, 810057	-1, 835474
100°	-1, 266045	-1, 246881	-1, 225985	-1, 214896	-1, 203385	-1, 179107	-1, 153180	-1, 126337	-1, 096511	-1, 081466	-1, 065838	-1, 033855
	-1, 508013	-1, 558739	-1, 607965	-1, 632297	-1, 656431	-1, 704080	-1, 750853	-1, 796592	-1, 841542	-1, 863578	-1, 885348	-1, 928057
105°	-1, 207107	-1, 185023	-1, 161179	-1, 148607	-1, 135606	-1, 108334	-1, 079396	-1, 048828	-1, 016666	-1, 000000	-0, 982951	-0, 947723
	-1, 573132	-1, 623923	-1, 673911	-1, 698586	-1, 723037	-1, 771241	-1, 818463	-1, 864647	-1, 909736	-1, 931852	-1, 953674	-1, 996410
110°	-1, 142788	-1, 117720	-1, 090873	-1, 076793	-1, 062281	-1, 031978	-1, 000000	-0, 966388	-0, 931181	-0, 912994	-0, 894424	-0, 856160
	-1, 632070	-1, 683468	-1, 733959	-1, 758845	-1, 783482	-1, 831978	-1, 879386	-1, 925649	-1, 970711	-1, 992775	-2, 014517	-2, 057014
115°	-1, 073577	-1, 045484	-1, 015601	-1, 000000	-0, 983967	-0, 950619	-0, 915597	-0, 878945	-0, 840707	-0, 821009	-0, 800931	-0, 759664
	-1, 685177	-1, 736920	-1, 787650	-1, 812616	-1, 837305	-1, 885828	-1, 933157	-1, 979234	-2, 024004	-2, 045882	-2, 067413	-2, 104007
120°	-1, 000000	-0, 968863	-0, 935935	-0, 898133	-0, 864875	-0, 826828	-0, 826828	-0, 787165	-0, 745933	-0, 724745	-0, 703184	-0, 658969
	-1, 732050	-1, 793872	-1, 834575	-1, 859489	-1, 884098	-1, 932382	-1, 979366	-2, 024994	-2, 069209	-2, 090770	-2, 11958	-2, 153190
125°	-0, 922619	-0, 888442	-0, 852483	-0, 833850	-0, 814788	-0, 775401	-0, 734370	-0, 691746	-0, 647580	-0, 624936	-0, 601926	-0, 554841
	-1, 772333	-1, 823969	-1, 874380	-1, 899108	-1, 923506	-1, 971287	-2, 017664	-2, 062581	-2, 104588	-2, 127098	-2, 147816	-2, 188031
130°	-0, 842020	-0, 804832	-0, 765879	-0, 745756	-0, 725211	-0, 682876	-0, 638925	-0, 593413	-0, 546394	-0, 522339	-0, 497928	-0, 448072
	-1, 805717	-1, 856904	-1, 906760	-1, 931171	-1, 955226	-2, 002245	-2, 047757	-2, 091708	-2, 134043	-2, 154588	-2, 174711	-2, 213064
135°	-0, 758819	-0, 718670	-0, 676783	-0, 653204	-0, 633210	-0, 588005	-0, 541221	-0, 492917	-0, 443150	-0, 417737	-0, 391982	-0, 339476
	-1, 831951	-1, 882427	-1, 931469	-1, 955435	-1, 979020	-2, 025022	-2, 069418	-2, 112154	-2, 153179	-2, 173033	-2, 192441	-2, 229694
140°	-0, 673649	-0, 630612	-0, 585872	-0, 562882	-0, 539487	-0, 491511	-0, 442001	-0, 391021	-0, 338631	-0, 311927	-0, 284895	-0, 228879
	-1, 850833	-1, 900343	-1, 948319	-1, 971714	-1, 994704	-2, 039444	-2, 082481	-2, 123764	-2, 163243	-2, 182290	-2, 200869	-2, 236597
145°	-0, 587156	-0, 541327	-0, 493839	-0, 469491	-0, 444752	-0, 394126	-0, 342020	-0, 288501	-0, 233631	-0, 205711	-0, 177480	-0, 120114
	-1, 862219	-1, 910514	-1, 957180	-1, 979884	-2, 002159	-2, 045359	-2, 086845	-2, 126448	-2, 164158	-2, 182290	-2, 199931	-2, 237222
150°	-0, 500000	-0, 451495	-0, 391374	-0, 375745	-0, 349729	-0, 296593	-0, 242039	-0, 186137	-0, 128952	-0, 099901	-0, 070555	-0, 011018
	-1, 866025	-1, 912667	-1, 957987	-1, 979884	-2, 001333	-2, 042845	-2, 082481	-2, 120188	-2, 155920	-2, 173033	-2, 189636	-2, 221293
155°	-0, 412844	-0, 361810	-0, 309209	-0, 283354	-0, 255139	-0, 199653	-0, 142819	-0, 084707	-0, 025388	0, 004701	0, 035066	0, 096581
	-1, 862219	-1, 907381	-1, 950732	-1, 971714	-1, 992222	-2, 013800	-2, 069418	-2, 105029	-2, 138590	-2, 154588	-2, 170060	-2, 199402
160°	-0, 326351	-0, 272924	-0, 218018	-0, 190032	-0, 161702	-0, 104046	-0, 045115	0, 015015	0, 076271	0, 137298	0, 198578	0, 260182
	-1, 856833	-1, 894099	-1, 935472	-1, 955435	-1, 974905	-2, 012949	-2, 047757	-2, 081088	-2, 112289	-2, 127098	-2, 141354	-2, 168216
165°	-0, 241281	-0, 185544	-0, 128504	-0, 099480	-0, 070131	-0, 010496	0, 050330	0, 112270	0, 175251	0, 207107	0, 239194	0, 304024
	-1, 831951	-1, 873121	-1, 912383	-1, 931171	-1, 949510	-1, 984639	-2, 017664	-2, 048547	-2, 077248	-2, 090770	-2, 103735	-2, 127974
170°	-0, 157980	-0, 100325	-0, 041348	-0, 011386	0, 018878	0, 080282	0, 142788	0, 206319	0, 270800	0, 303371	0, 336149	0, 402289
	-1, 805717	-1, 844607	-1, 881459	-1, 899108	-1, 916231	-1, 948882	-1, 979366	-2, 007653	-2, 033704	-2, 045882	-2, 057489	-2, 078980
175°	-0, 077381	-0, 017916	0, 042786	0, 073577	0, 104648	0, 167598	0, 231557	0, 296447	0, 362190	0, 395356	0, 428705	0, 495911
	-1, 772333	-1, 808775	-1, 843117	-1, 859489	-1, 875321	-1, 905347	-1, 933157	-1, 958718	-1, 981998	-1, 992775	-2, 002971	-2, 021609

$\gamma_{\text{p}}^{\circ}$ $\gamma_{\text{mm}}^{\circ}$	60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°	74°	75°	76°	78°
180°	0, 000000 -1, 732050	0, 061056 -1, 765896	0, 123258 -1, 797588	0, 154764 -1, 181616	0, 186526 -1, 827090	0, 250786 -1, 884368	0, 315960 -1, 879386	0, 381966 -1, 902114	0, 448726 -1, 922524	0, 482362 -1, 931852	0, 516156 -1, 940592	0, 554176 -1, 956296
185°	0, 073577 -1, 685177	0, 135992 -1, 716297	0, 199456 -1, 748218	0, 231587 -1, 758845	0, 263890 -1, 771908	0, 329216 -1, 796333	0, 395356 -1, 818463	0, 462227 -1, 838271	0, 529749 -1, 855733	0, 563728 -1, 863578	0, 597839 -1, 870828	0, 666414 -1, 883558
190°	0, 142788 -1, 632070	0, 206319 -1, 660357	0, 270800 -1, 686408	0, 303371 -1, 698566	0, 336149 -1, 710193	0, 402289 -1, 731684	0, 469140 -1, 750853	0, 536618 -1, 767677	0, 604643 -1, 782136	0, 638833 -1, 788473	0, 673130 -1, 794212	0, 741997 -1, 803891
195°	0, 207107 -1, 573132	0, 271503 -1, 598499	0, 336746 -1, 621602	0, 369660 -1, 632297	0, 402755 -1, 642414	0, 469450 -1, 660911	0, 536763 -1, 677069	0, 604573 -1, 690868	0, 672837 -1, 702291	0, 707107 -1, 707107	0, 741456 -1, 711325	0, 810350 -1, 717959
200°	0, 266045 -1, 508813	0, 331048 -1, 531196	0, 396794 -1, 551296	0, 429919 -1, 560483	0, 463200 -1, 569089	0, 530187 -1, 584555	0, 597673 -1, 597673	0, 665575 -1, 608428	0, 733812 -1, 616806	0, 768030 -1, 620101	0, 802299 -1, 622798	0, 870954 -1, 626396
205°	0, 319152 -1, 439602	0, 384500 -1, 458960	0, 450485 -1, 476024	0, 483690 -1, 483690	0, 517023 -1, 490775	0, 584037 -1, 503196	0, 651444 -1, 513270	0, 719160 -1, 520985	0, 787105 -1, 526332	0, 821137 -1, 528116	0, 855195 -1, 529305	0, 923347 -1, 529900
210°	0, 366025 -1, 366025	0, 431452 -1, 382339	0, 497410 -1, 398358	0, 530563 -1, 402503	0, 563816 -1, 408067	0, 630591 -1, 417452	0, 697653 -1, 424501	0, 764920 -1, 429205	0, 832310 -1, 431558	0, 866025 -1, 431852	0, 899740 -1, 431558	0, 967130 -1, 429205
215°	0, 406308 -1, 288644	0, 471549 -1, 301918	0, 537215 -1, 312906	0, 570182 -1, 317540	0, 603224 -1, 321596	0, 669496 -1, 327978	0, 735951 -1, 332043	0, 802407 -1, 333786	0, 869083 -1, 333205	0, 902353 -1, 332043	0, 935598 -1, 330300	1, 001971 -1, 325077
220°	0, 436692 -1, 208045	0, 504484 -1, 218308	0, 569595 -1, 226302	0, 602245 -1, 229446	0, 634944 -1, 232019	0, 700454 -1, 235453	0, 766044 -1, 236598	0, 831634 -1, 235453	0, 897144 -1, 232019	0, 929843 -1, 229446	0, 962493 -1, 226302	1, 027604 -1, 218308
225°	0, 465926 -1, 124844	0, 530007 -1, 132146	0, 594304 -1, 137206	0, 626509 -1, 138894	0, 658738 -1, 140018	0, 723231 -1, 140582	0, 787705 -1, 138894	0, 852080 -1, 134957	0, 916280 -1, 128775	0, 948288 -1, 124844	0, 980223 -1, 120356	1, 043834 -1, 109712
230°	0, 484808 -1, 039674	0, 547923 -1, 044088	0, 611154 -1, 046295	0, 642788 -1, 046572	0, 674422 -1, 046295	0, 737653 -1, 044088	0, 800768 -1, 039674	0, 863590 -1, 033061	0, 926344 -1, 024256	0, 957545 -1, 019034	0, 988651 -1, 013269	1, 050537 -1, 000115
235°	0, 496194 -0, 953181	0, 558094 -0, 954803	0, 620015 -0, 954262	0, 650958 -0, 953181	0, 681877 -0, 951560	0, 743508 -0, 946703	0, 805132 -0, 939693	0, 866374 -0, 930541	0, 927259 -0, 919256	0, 957545 -0, 912818	0, 987713 -0, 905854	1, 047662 -0, 890350
240°	0, 500000 -0, 866025	0, 560447 -0, 864971	0, 620822 -0, 861807	0, 650958 -0, 859435	0, 681048 -0, 856537	0, 741054 -0, 849170	0, 801768 -0, 839712	0, 861114 -0, 824955	0, 919021 -0, 814577	0, 957545 -0, 807008	0, 987713 -0, 797418	1, 035233 -0, 788929
245°	0, 496194 -0, 778869	0, 544961 -0, 775276	0, 613567 -0, 769632	0, 642788 -0, 766044	0, 671940 -0, 761947	0, 730009 -0, 752230	0, 787705 -0, 740492	0, 844955 -0, 726747	0, 901691 -0, 711013	0, 929843 -0, 702406	0, 957642 -0, 693308	1, 013342 -0, 673555
250°	0, 484808 -0, 692376	0, 541741 -0, 686400	0, 598307 -0, 678441	0, 626509 -0, 673722	0, 654623 -0, 668510	0, 710558 -0, 656622	0, 766044 -0, 642788	0, 821014 -0, 627025	0, 875400 -0, 609354	0, 902353 -0, 599809	0, 929136 -0, 589795	0, 962156 -0, 568374
255°	0, 465926 -0, 607206	0, 520701 -0, 599020	0, 575158 -0, 588927	0, 602245 -0, 583170	0, 629228 -0, 576939	0, 682848 -0, 563073	0, 735951 -0, 547343	0, 788473 -0, 529770	0, 840349 -0, 510374	0, 866025 -0, 500000	0, 891517 -0, 489180	0, 941914 -0, 466212
260°	0, 439592 -0, 524005	0, 492187 -0, 513801	0, 544294 -0, 501771	0, 570182 -0, 495076	0, 595049 -0, 487930	0, 647089 -0, 472295	0, 697653 -0, 454885	0, 747579 -0, 435721	0, 796805 -0, 414825	0, 821137 -0, 403736	0, 845271 -0, 392225	0, 892920 -0, 367947

265°	0, 406308 -0, 443406 0, 366025 -0, 366025 0, 319152 -0, 292448 0, 266045 -0, 223237 0, 207107 -0, 158918 0, 142788 -0, 099980 0, 073577 -0, 046873 0, 000000 -0, 000000 0, 077381 -0, 040283 -0, 157980 0, 073667 -0, 241281 0, 099901 -0, 326351 0, 118783 -0, 412844 0, 130169 -0, 500000 0, 133975 -0, 587156 0, 130169 -0, 673649 0, 118783 -0, 758819 0, 099901 -0, 842020 0, 073667 -0, 922619 0, 040283 -1, 000000	0, 456355 -0, 431392 0, 413476 -0, 352420 0, 363877 -0, 277484 0, 307937 -0, 207157 0, 349243 -0, 207937 0, 246079 -0, 141973 0, 178776 -0, 082428 0, 106540 -0, 028976 0, 029919 -0, 017976 0, 050502 -0, 134112 0, 091008 -0, 220274 0, 116531 -0, 308332 0, 134447 -0, 397617 0, 144618 -0, 487449 0, 146971 -0, 577134 0, 141485 -0, 666020 0, 137884 -0, 753400 0, 107225 -0, 835619 0, 078511 -0, 921028 0, 042879 -1, 000000	0, 505952 -0, 417637 0, 460423 -0, 337165 0, 408053 -0, 260967 0, 349243 -0, 207937 0, 246079 -0, 141973 0, 246079 -0, 141973 0, 178776 -0, 082428 0, 106540 -0, 028976 0, 029919 -0, 017976 0, 050502 -0, 134112 0, 091008 -0, 220274 0, 116531 -0, 308332 0, 134447 -0, 397617 0, 144618 -0, 487449 0, 146971 -0, 577134 0, 141485 -0, 666020 0, 137884 -0, 753400 0, 107225 -0, 835619 0, 078511 -0, 921028 0, 042879 -1, 000000	0, 530563 -0, 410113 0, 483690 -0, 328926 0, 429919 -0, 252133 0, 369660 -0, 180319 0, 303371 -0, 114030 0, 303371 -0, 114030 0, 231587 -0, 053771 0, 154764 0, 000000 0, 073577 -0, 046873 0, 011386 -0, 086492 0, 099480 -0, 118655 0, 190032 -0, 142819 0, 282354 0, 159098 0, 375745 -0, 167268 -0, 469491 0, 167268 -0, 562882 0, 159098 -0, 651772 0, 142819 -0, 745756 0, 118555 -0, 833850 0, 089492 -0, 919813 0, 048873 -1, 000000	0, 555039 -0, 402160 0, 506808 -0, 320282 0, 451626 -0, 242918 0, 389911 -0, 170659 0, 322132 -0, 104053 0, 322132 -0, 104053 0, 248807 -0, 043608 0, 170493 0, 010215 0, 087785 -0, 057008 0, 001314 -0, 026187 0, 116919 -0, 056338 -0, 128136 0, 180264 -0, 151930 0, 368722 0, 175069 -0, 463745 0, 174243 -0, 558335 0, 165132 -0, 651772 0, 147815 -0, 743343 0, 122420 -0, 833252 0, 089141 -0, 918122 0, 048231 -1, 000000	0, 603556 -0, 384979 0, 592577 -0, 301791 0, 494542 -0, 223361 0, 429893 -0, 150288 0, 359120 -0, 083127 0, 359120 -0, 083127 0, 282790 -0, 022390 0, 201405 0, 031460 0, 115661 -0, 078014 0, 026187 0, 116919 -0, 056338 -0, 128136 0, 180264 -0, 151930 0, 368722 0, 175069 -0, 463745 0, 174243 -0, 558335 0, 165132 -0, 651772 0, 147815 -0, 743343 0, 122420 -0, 833252 0, 089141 -0, 918122 0, 048231 -1, 000000	0, 651444 -0, 366116 0, 597673 -0, 281713 0, 536750 -0, 202317 0, 469140 -0, 126533 0, 353556 -0, 060923 0, 353556 -0, 060923 0, 315960 -0, 000000 0, 231557 0, 053771 0, 142788 -0, 099980 0, 050330 -0, 138278 -0, 045115 -0, 168371 0, 142819 -0, 190032 0, 242039 -0, 203095 0, 342020 -0, 202459 -0, 442001 0, 203095 -0, 541221 0, 190032 0, 638925 0, 168371 -0, 734370 0, 138278 -0, 826828 0, 094512 -0, 915597 0, 053771 -1, 000000	0, 698644 -0, 345593 0, 642040 -0, 260074 0, 578197 -0, 179813 0, 507403 -0, 105422 0, 430794 -0, 037467 0, 430794 -0, 037467 0, 348354 -0, 023535 0, 260911 0, 077120 0, 169131 -0, 122880 0, 146685 -0, 194659 0, 096306 -0, 183458 -0, 024621 0, 139594 0, 125117 -0, 210040 -0, 227013 -0, 221650 -0, 329533 0, 224334 -0, 431897 0, 218074 -0, 533327 0, 202915 -0, 633049 0, 178974 -0, 730304 0, 146433 -0, 824353 0, 105539 -0, 914481 0, 036604 -1, 000000	0, 745099 -0, 323435 0, 685625 -0, 238899 0, 618834 -0, 155876 0, 545237 -0, 080982 0, 465392 -0, 012788 0, 465392 -0, 012788 0, 379907 -0, 048187 0, 289433 0, 101480 0, 194659 -0, 146685 0, 096306 -0, 183458 -0, 024621 0, 211519 0, 108124 -0, 230655 -0, 212643 -0, 240719 -0, 317643 0, 241634 -0, 422322 0, 233396 -0, 523886 0, 216066 -0, 627545 0, 189775 -0, 726525 0, 154724 -0, 822074 0, 111180 -0, 913464 0, 059474 -1, 000000	0, 768030 -0, 311751 0, 707107 -0, 224745 0, 638833 -0, 143379 0, 563278 -0, 068274 0, 482362 -0, 000000 0, 482362 -0, 000000 0, 395356 -0, 060923 0, 303371 0, 114030 0, 207107 -0, 158918 0, 171366 -0, 194659 0, 107298 -0, 195246 0, 004701 0, 222736 0, 099901 -0, 241181 -0, 205711 0, 250438 -0, 311927 0, 250438 -0, 417737 0, 241181 -0, 523339 0, 229468 -0, 624936 0, 195246 -0, 724745 0, 158918 -0, 821009 0, 114030 -0, 912994 0, 060923 -1, 000000	0, 790753 -0, 299659 0, 728374 -0, 212218 0, 658610 -0, 130355 0, 581994 -0, 055244 0, 499107 -0, 013082 0, 499107 -0, 013082 0, 395356 -0, 060923 0, 303371 0, 114030 0, 207107 -0, 158918 0, 171366 -0, 194659 0, 107298 -0, 195246 0, 004701 0, 222736 0, 099901 -0, 241181 -0, 205711 0, 250438 -0, 311927 0, 250438 -0, 417737 0, 241181 -0, 523339 0, 229468 -0, 624936 0, 195246 -0, 724745 0, 158918 -0, 821009 0, 114030 -0, 912994 0, 060923 -1, 000000	0, 835549 -0, 274325 0, 770236 -0, 186070 0, 697478 -0, 103852 0, 617831 -0, 028239 0, 631899 -0, 040114 0, 631899 -0, 040114 0, 440336 -0, 073925 0, 317087 0, 126821 0, 243145 -0, 171366 -0, 194659 0, 139017 -0, 231735 0, 032248 0, 257368 -0, 076348 -0, 273598 -0, 185945 -0, 280301 -0, 295716 0, 277426 -0, 404806 0, 264997 -0, 512405 0, 243106 -0, 617686 0, 211996 -0, 719848 0, 163143 -0, 818113 0, 116997 -0, 912549 0, 062379 -1, 000000
------	---	--	--	--	---	---	---	---	--	---	---	--

λ °	80°	82°	84°	85°	86°	88°	90°	95°	100°	105°	110°
0°	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000
5°	-1, 082687 -0, 075769	-1, 083032 -0, 078794	-1, 083271 -0, 081830	-1, 083351 -0, 083351	-1, 083403 -0, 084872	-1, 083430 -0, 087917	-1, 083351 -0, 090961	-1, 082687 -0, 098543	-1, 081466 -0, 106038	-1, 079396 -0, 113389	-1, 076793 -0, 120541
10°	-1, 158466 -0, 158466	-1, 158880 -0, 164525	-1, 159092 -0, 170606	-1, 159120 -0, 173648	-1, 159092 -0, 176690	-1, 158880 -0, 182771	-1, 152456 -0, 188840	-1, 156471 -0, 203917	-1, 153180 -0, 218763	-1, 148607 -0, 233266	-1, 142788 -0, 247316
15°	-1, 226730 -0, 247432	-1, 226968 -0, 265641	-1, 226888 -0, 285553	-1, 226730 -0, 270206	-1, 226491 -0, 274756	-1, 225776 -0, 283840	-1, 224745 -0, 292893	-1, 220790 -0, 315321	-1, 214896 -0, 337319	-1, 207107 -0, 356720	-1, 197482 -0, 379360
20°	-1, 286989 -0, 342020	-1, 286778 -0, 354140	-1, 186153 -0, 366246	-1, 285668 -0, 372289	-1, 285086 -0, 378322	-1, 283609 -0, 390354	-1, 281713 -0, 402327	-1, 275165 -0, 431907	-1, 254450 -0, 460803	-1, 234450 -0, 488794	-1, 240461 -0, 515669
25°	-1, 338775 -0, 441500	-1, 337853 -0, 456581	-1, 336404 -0, 471621	-1, 335484 -0, 479120	-1, 334432 -0, 486602	-1, 331938 -0, 501504	-1, 328926 -0, 516310	-1, 319152 -0, 552788	-1, 306236 -0, 588274	-1, 290277 -0, 622500	-1, 271395 -0, 655204
30°	-1, 381693 -0, 545115	-1, 379805 -0, 563084	-1, 377290 -0, 580977	-1, 375799 -0, 598887	-1, 374152 -0, 598770	-1, 370396 -0, 616443	-1, 366025 -0, 633975	-1, 352445 -0, 677043	-1, 335165 -0, 718764	-1, 314313 -0, 758819	-1, 290049 -0, 795905
35°	-1, 415418 -0, 652076	-1, 412315 -0, 672837	-1, 408490 -0, 693478	-1, 406308 -0, 703746	-1, 403946 -0, 713973	-1, 399690 -0, 734296	-1, 392728 -0, 754424	-1, 374784 -0, 803727	-1, 352611 -0, 851277	-1, 326377 -0, 896714	-1, 296284 -0, 939693
40°	-1, 439692 -0, 761571	-1, 435136 -0, 785008	-1, 429765 -0, 808272	-1, 426776 -0, 819831	-1, 423585 -0, 811335	-1, 416604 -0, 854168	-1, 408832 -0, 876744	-1, 385995 -0, 931876	-1, 358440 -0, 964808	-1, 326377 -0, 1, 035138	-1, 290049 -0, 1, 082481
45°	-1, 454331 -0, 872763	-1, 448095 -0, 898739	-1, 440955 -0, 924483	-1, 437051 -0, 937258	-1, 432922 -0, 949961	-1, 424004 -0, 976144	-1, 414214 -1, 000000	-1, 385995 -0, 1, 060514	-1, 352611 -0, 1, 118399	-1, 314313 -0, 1, 173033	-1, 271395 -0, 1, 224182
50°	-1, 459224 -0, 964808	1, 451092 -0, 913167	-1, 441974 -0, 941226	-1, 437051 -0, 955132	-1, 431884 -0, 968950	-1, 420832 -0, 996304	-1, 408632 -1, 123256	-1, 374784 -0, 1, 188663	-1, 335165 -0, 1, 250852	-1, 290277 -0, 1, 309352	-1, 240461 -0, 1, 363717
55°	-1, 454331 -1, 096853	-1, 444103 -1, 127422	-1, 432814 -1, 157615	-1, 426776 -1, 172559	-1, 420478 -1, 187396	-1, 407111 -1, 216728	-1, 392728 -1, 245576	-1, 352445 -1, 315347	-1, 306236 -1, 381342	-1, 254450 -1, 443058	-1, 197482 -1, 500026
60°	-1, 439692 -1, 208045	-1, 427184 -1, 240632	-1, 413545 -1, 272762	-1, 406308 -1, 288644	-1, 398794 -1, 304396	-1, 382947 -1, 335497	-1, 366025 -1, 366025	-1, 319152 -1, 439602	-1, 266045 -1, 508813	-1, 207107 -1, 573132	-1, 142788 -1, 632070
65°	-1, 415418 -1, 317540	-1, 400462 -1, 351937	-1, 384313 -1, 385792	-1, 375799 -1, 402503	-1, 366994 -1, 418062	-1, 348524 -1, 451709	-1, 328926 -1, 483690	-1, 275165 -1, 560483	-1, 214896 -1, 632297	-1, 148607 -1, 698586	-1, 076793 -1, 758845
70°	-1, 381693 -1, 434501	-1, 364141 -1, 460489	-1, 345342 -1, 495844	-1, 335484 -1, 513270	-1, 325321 -1, 530520	-1, 304103 -1, 564477	-1, 281713 -1, 597673	-1, 220790 -1, 677069	-1, 153180 -1, 750863	-1, 079396 -1, 818463	-1, 000000 -1, 879386
75°	-1, 338775 -1, 528116	-1, 318497 -1, 565463	-1, 296927 -1, 602080	-1, 285668 -1, 620101	-1, 274094 -1, 637922	-1, 250023 -1, 672945	-1, 225776 -1, 707107	-1, 156471 -1, 788473	-1, 081466 -1, 863578	-1, 000000 -1, 931852	-0, 912994 -1, 992775
80°	-1, 286989 -1, 627556	-1, 263878 -1, 666059	-1, 239438 -1, 705693	-1, 226730 -1, 722184	-1, 213700 -1, 740450	-1, 186695 -1, 776287	-1, 158456 -1, 811160	-1, 082687 -1, 853847	-1, 000000 -1, 899616	-0, 911024 -2, 037890	-0, 816436 -2, 098149

γ_p γ_{min}	80°	82°	84°	85°	86°	88°	90°	95°	100°	105°	110°
180°	0, 652704 -1, 999616	0, 721654 -1, 980536	0, 790944 -1, 969044	0, 825688 -1, 992390	0, 860488 -1, 995128	0, 930202 -1, 998782	1, 000000 -2, 000000	1, 174312 -1, 992390	1, 347296 -1, 999616	1, 517658 -1, 931852	1, 684040 -1, 879386
185°	0, 735391 -1, 893847	0, 804686 -1, 901742	0, 874215 -1, 907214	0, 909039 -1, 909039	0, 943891 -1, 910256	1, 013632 -1, 910865	1, 083351 -1, 903039	1, 256999 -1, 893847	1, 428662 -1, 893578	1, 597034 -1, 818463	1, 760843 -1, 758845
190°	0, 811160 -1, 811160	0, 880534 -1, 816011	0, 950036 -1, 818438	0, 984808 -1, 818742	1, 019580 -1, 818438	1, 089082 -1, 816011	1, 158456 -1, 811160	1, 330783 -1, 788473	1, 500476 -1, 750856	1, 666245 -1, 698586	1, 826828 -1, 632070
195°	0, 879434 -1, 722184	0, 948622 -1, 723391	1, 017832 -1, 723391	1, 052418 -1, 722184	1, 086979 -1, 720372	1, 155978 -1, 714942	1, 224745 -1, 707107	1, 395102 -1, 677069	1, 562192 -1, 632297	1, 724745 -1, 573132	1, 881522 -1, 500026
200°	0, 939693 -1, 627596	1, 008432 -1, 626396	1, 077097 -1, 622798	1, 111356 -1, 620101	1, 145574 -1, 616806	1, 213811 -1, 608428	1, 281713 -1, 597673	1, 448467 -1, 560483	1, 613341 -1, 508813	1, 772088 -1, 443058	1, 924501 -1, 363717
205°	0, 991479 -1, 528116	1, 059507 -1, 523955	1, 127348 -1, 517423	1, 161172 -1, 513270	1, 194820 -1, 508526	1, 262140 -1, 497278	1, 328926 -1, 483690	1, 493464 -1, 439602	1, 653532 -1, 381342	1, 807915 -1, 309352	1, 955435 -1, 224182
210°	1, 034397 -1, 424501	1, 101459 -1, 417452	1, 168234 -1, 408067	1, 201487 -1, 402503	1, 234640 -1, 396358	1, 300598 -1, 382339	1, 366025 -1, 368025	1, 526757 -1, 315347	1, 682461 -1, 250852	1, 831951 -1, 173033	1, 974089 -1, 082481
215°	1, 068122 -1, 317540	1, 133969 -1, 307699	1, 199434 -1, 295566	1, 231996 -1, 288644	1, 264434 -1, 281155	1, 328892 -1, 264436	1, 392728 -1, 245576	1, 549095 -1, 188663	1, 699907 -1, 118399	1, 844015 -1, 035138	1, 980324 -0, 939693
220°	1, 092396 -1, 208045	1, 156790 -1, 195528	1, 220709 -1, 180772	1, 252464 -1, 172559	1, 284073 -1, 183793	1, 348906 -1, 144614	1, 408832 -1, 123256	1, 560307 -1, 060514	1, 705736 -0, 984808	1, 844015 -0, 896714	1, 974089 -0, 796905
225°	1, 107035 -1, 096853	1, 169749 -1, 081797	1, 231899 -1, 064561	1, 262739 -1, 055132	1, 293410 -1, 045167	1, 354206 -1, 023638	1, 414214 -1, 000000	1, 560307 -0, 931876	1, 699907 -0, 851277	1, 831951 -0, 758819	1, 955435 -0, 655204
230°	1, 111928 -0, 984808	1, 172746 -0, 967369	1, 232918 -0, 947818	1, 262739 -0, 937258	1, 293272 -0, 926178	1, 351034 -0, 902478	1, 408832 -0, 876744	1, 549096 -0, 803727	1, 682461 -0, 718764	1, 807915 -0, 622500	1, 924501 -0, 515669
235°	1, 107035 -0, 876763	1, 165757 -0, 853114	1, 223758 -0, 831429	1, 252464 -0, 819831	1, 280956 -0, 807382	1, 337313 -0, 782054	1, 392728 -0, 754424	1, 526757 -0, 677043	1, 693532 -0, 588274	1, 772088 -0, 488794	1, 881522 -0, 379360
240°	1, 092396 -0, 761571	1, 148838 -0, 733904	1, 204489 -0, 716282	1, 231996 -0, 703746	1, 259282 -0, 690732	1, 313149 -0, 683285	1, 366025 -0, 653975	1, 493464 -0, 552788	1, 613341 -0, 463803	1, 724745 -0, 358720	1, 826828 -0, 247316
245°	1, 081222 -0, 652076	1, 122116 -0, 603252	1, 175257 -0, 589887	1, 201487 -0, 589887	1, 227482 -0, 576066	1, 278726 -0, 547073	1, 328926 -0, 516310	1, 449467 -0, 431907	1, 562192 -0, 337319	1, 666245 -0, 233266	1, 760843 -0, 120541
250°	1, 054397 -0, 545115	1, 085795 -0, 520047	1, 136286 -0, 493290	1, 161172 -0, 479120	1, 185809 -0, 464608	1, 234305 -0, 434305	1, 281713 -0, 402327	1, 395102 -0, 315321	1, 500476 -0, 218763	1, 597034 -0, 117338	1, 684040 0, 000000
255°	0, 991479 -0, 441500	1, 040151 -0, 415073	1, 087871 -0, 386964	1, 111356 -0, 372289	1, 134582 -0, 357206	1, 180225 -0, 325837	1, 224745 -0, 292893	1, 330783 -0, 203917	1, 428662 -0, 106038	1, 517658 0, 000000	1, 597034 0, 113889
260°	0, 939693 -0, 342020	0, 985532 -0, 314477	1, 030382 -0, 285351	1, 057418 -0, 270206	1, 074188 -0, 254678	1, 108997 -0, 222495	1, 158456 -0, 188840	1, 256999 -0, 098543	1, 347296 0, 000000	1, 428662 0, 106038	1, 500476 0, 218763

265°	0, 879434 -0, 247432	0, 922353 -0, 219024	0, 964255 -0, 189136	0, 984808 -0, 173648	1, 005088 -0, 157803	1, 044803 -0, 125065	1, 083351 -0, 090961	1, 174312 0, 000000	1, 256909 0, 098543	1, 330783 0, 203917	1, 395102 0, 315321
270°	0, 811160 -0, 158456	0, 851095 -0, 129441	0, 889994 -0, 099050	0, 909039 -0, 083351	0, 927808 -0, 067320	0, 954492 -0, 034290	0, 983351 0, 000000	1, 083351 0, 090961	1, 158456 0, 188840	1, 224745 0, 292893	1, 281713 0, 402327
275°	0, 735391 -0, 075769	0, 772301 -0, 046409	0, 808164 -0, 015779	0, 825688 0, 000000	0, 842936 0, 016083	0, 876575 0, 049140	0, 909039 0, 083351	0, 990399 0, 173648	1, 111356 0, 270206	0, 372289 0, 034397	1, 161172 0, 479120
280°	0, 652704 0, 000000	0, 685570 0, 029439	0, 719388 0, 060042	0, 735391 0, 075769	0, 751118 0, 091772	0, 781721 0, 124590	0, 811160 0, 158456	0, 879434 0, 247432	0, 939693 0, 342020	0, 991479 0, 441500	1, 034397 0, 545115
285°	0, 563728 0, 000000	0, 594554 0, 097527	0, 624341 0, 060042	0, 638833 0, 075769	0, 653052 0, 091772	0, 680652 0, 124590	0, 707107 0, 158456	0, 768030 0, 247432	0, 821137 0, 342020	0, 866025 0, 441500	0, 902353 0, 545115
290°	0, 469140 0, 128533	0, 496955 0, 157337	0, 523748 0, 187093	0, 536750 0, 202317	0, 549486 0, 217766	0, 574138 0, 249319	0, 597673 0, 281713	0, 651444 0, 366116	0, 697653 0, 464885	0, 735951 0, 547343	0, 766044 0, 642788
295°	0, 369660 0, 179319	0, 394514 0, 208412	0, 418373 0, 237354	0, 429919 0, 252133	0, 441206 0, 267112	0, 462988 0, 297648	0, 483690 0, 328926	0, 530563 0, 410113	0, 570182 0, 495076	0, 602245 0, 583170	0, 626509 0, 673722
300°	0, 266045 0, 223237	0, 288008 0, 250364	0, 309017 0, 278240	0, 319152 0, 292448	0, 329038 0, 306832	0, 348049 0, 336106	0, 366025 0, 366025	0, 403008 0, 443406	0, 439092 0, 524005	0, 465926 0, 607206	0, 484808 0, 692376
305°	0, 159084 0, 256962	0, 178258 0, 282874	0, 196516 0, 309440	0, 205293 0, 322957	0, 213835 0, 336626	0, 230196 0, 364400	0, 245576 0, 392728	0, 279624 0, 465745	0, 307179 0, 541451	0, 328031 0, 619270	0, 342020 0, 698611
310°	0, 049589 0, 281236	0, 068087 0, 305695	0, 081722 0, 330715	0, 089208 0, 343425	0, 096473 0, 356265	0, 110324 0, 382314	0, 123256 0, 408832	0, 151475 0, 476956	0, 173648 0, 547280	0, 189607 0, 619270	0, 199232 0, 692376
315°	0, 061603 0, 296875	0, 076644 0, 318654	0, 094489 0, 341905	0, 112332 0, 363700	0, 131812 0, 386542	0, 151475 0, 408832	0, 173648 0, 443406	0, 199232 0, 495076	0, 22886 0, 547343	0, 25712 0, 59809	0, 28531 0, 642788
320°	0, 173548 0, 300568	0, 162072 0, 321651	0, 151232 0, 342924	0, 146093 0, 363700	0, 141142 0, 386542	0, 131812 0, 386542	0, 123256 0, 408832	0, 105312 0, 465745	0, 092396 0, 524005	0, 084607 0, 583170	0, 082004 0, 642788
325°	0, 285693 0, 2995875	0, 276327 0, 314652	0, 267621 0, 333764	0, 263520 0, 343425	0, 259588 0, 353158	0, 252236 0, 372821	0, 245576 0, 392728	0, 231996 0, 443406	0, 222886 0, 495076	0, 218313 0, 547343	0, 218313 0, 59809
330°	0, 399885 0, 281236	0, 389537 0, 297743	0, 382768 0, 314495	0, 379605 0, 322927	0, 376588 0, 331474	0, 371005 0, 348657	0, 366025 0, 366025	0, 356251 0, 410113	0, 350357 0, 454885	0, 348387 0, 500000	0, 350357 0, 545115
335°	0, 508380 0, 285263	0, 500842 0, 271021	0, 496798 0, 285263	0, 493464 0, 292448	0, 491254 0, 299674	0, 487217 0, 314234	0, 483690 0, 328026	0, 477132 0, 366116	0, 473841 0, 441500	0, 473841 0, 441500	0, 477132 0, 479120
340°	0, 613341 0, 223237	0, 609394 0, 234700	0, 606850 0, 246292	0, 604231 0, 252133	0, 602712 0, 258001	0, 599985 0, 269813	0, 597673 0, 281713	0, 593718 0, 311751	0, 592397 0, 342020	0, 593718 0, 372289	0, 597673 0, 402327
345°	0, 719319 0, 189056	0, 714368 0, 189056	0, 712086 0, 197877	0, 710962 0, 202317	0, 710114 0, 206774	0, 708453 0, 215733	0, 707107 0, 224745	0, 705122 0, 247432	0, 705122 0, 270206	0, 707107 0, 292893	0, 710962 0, 315321
350°	0, 816436 0, 128533	0, 814964 0, 134437	0, 813699 0, 140888	0, 813145 0, 143379	0, 812642 0, 146380	0, 811795 0, 152405	0, 811160 0, 158456	0, 810436 0, 173648	0, 810436 0, 188840	0, 813145 0, 203917	0, 816436 0, 218763
355°	0, 911024 0, 068274	0, 910417 0, 071258	0, 909914 0, 074261	0, 909703 0, 075769	0, 909517 0, 077280	0, 909225 0, 080311	0, 909039 0, 083351	0, 909039 0, 090961	0, 909703 0, 106038	0, 911024 0, 113389	0, 912994 0, 113389
360°	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000

$\frac{\gamma_p}{T_{mm}}$	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°	160°
0°	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-0,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,100000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
5°	-1,073577 -0,127439	-1,069771 -1,134029	-1,065407 -0,146264	-1,060514 -0,146093	-1,055132 -0,151475	-1,049303 -0,156368	-1,043068 -0,160732	-1,036478 -0,164538	-1,029580 -0,167754	-1,022428 -0,170357
10°	-1,137666 -0,260804	-1,127596 -0,273629	-1,118339 -0,285693	-1,108054 -0,296904	-1,096853 -0,307179	-1,084789 -0,316436	-1,071964 -0,324606	-1,058476 -0,331628	-1,044426 -0,337447	-1,029923 -0,342020
15°	-1,186096 -0,399083	-1,173033 -0,417737	-1,158394 -0,435183	-1,142844 -0,452287	-1,124844 -0,465926	-1,106190 -0,478989	-1,086467 -0,490375	-1,065827 -0,500000	-1,044426 -0,507789	-1,022428 -0,515683
20°	-1,224182 -0,541221	-1,205737 -0,565257	-1,185269 -0,587596	-1,162930 -0,608064	-1,138964 -0,626509	-1,113342 -0,642788	-1,086467 -0,657777	-1,058476 -0,668372	-1,029580 -0,677482	-1,000000 -0,684040
25°	-1,249734 -0,686138	-1,225460 -0,715067	-1,198757 -0,741770	-1,169828 -0,766044	-1,138894 -0,787705	-1,106190 -0,805587	-1,071964 -0,822546	-1,036478 -0,835462	-1,000000 -0,845236	-0,962810 -0,851794
30°	-1,262559 -0,832732	-1,232050 -0,866025	-1,198757 -0,896534	-1,162844 -0,924024	-1,124844 -0,948288	-1,084789 -0,969140	-1,043068 -0,986420	-1,000000 -1,000000	-0,955912 -1,009774	-0,911140 -1,015668
35°	-1,262559 -0,979884	-1,225460 -1,016983	-1,185269 -1,050708	-1,162930 -1,080801	-1,138964 -1,107035	-1,113342 -1,129208	-1,086467 -1,147152	-1,058476 -0,949322	-1,029580 -0,897852	-1,000000 -0,845385
40°	-1,249734 -1,126478	-1,205737 -1,166793	-1,158394 -1,203121	-1,138894 -1,235184	-1,113342 -1,262739	-1,106190 -1,285576	-1,071964 -1,303520	-1,036478 -0,884827	-1,000000 -0,825662	-0,962810 -0,766044
45°	-1,224182 -1,271395	-1,173033 -1,314313	-1,118339 -1,352611	-1,1060514 -1,385995	-1,090000 -1,414214	-0,937258 -1,437051	-0,872763 -1,454331	-0,807008 -1,465926	-0,740492 -1,471745	-0,673722 -1,471745
50°	-1,186096 -1,413533	-1,127596 -1,458421	-1,065407 -1,498040	-1,000000 -1,532088	-0,931876 -1,560307	-0,861552 -1,582489	-0,789562 -1,598437	-0,716456 -1,608064	-0,642788 -1,611280	-0,569120 -1,608064
55°	-1,137666 -1,551812	-1,069771 -1,598021	-1,000000 -1,638304	-0,926983 -1,672352	-0,851277 -1,699907	-0,774458 -1,720759	-0,694139 -0,734748	-0,613859 -1,741770	-0,533293 -1,741770	-0,453035 -1,734748
60°	-1,073577 -1,685177	-1,000000 -1,732050	-0,922619 -1,772333	-0,842020 -1,805717	-0,758819 -1,831951	-0,673649 -1,850833	-0,587156 -1,862219	-0,500000 -1,866025	-0,412844 -1,862219	-0,326351 -1,850833
65°	-1,000000 -1,812616	-0,918813 -1,859489	-0,833850 -1,899108	-0,747556 -1,931171	-0,655204 -1,955435	-0,562882 -1,971714	-0,469491 -1,979884	-0,375745 -1,979884	-0,282354 -1,971714	-0,190032 -1,955435
70°	-0,915597 -1,933157	-0,826828 -1,979366	-0,734370 -2,017664	-0,638225 -2,047757	-0,541221 -2,069418	-0,442001 -2,082481	-0,342020 -2,086845	-0,242039 -2,082481	-0,142819 -2,069418	-0,045115 -2,047757
75°	-0,826828 -2,045882	-0,724745 -2,090770	-0,624936 -2,127098	-0,522339 -2,154588	-0,417737 -2,173033	-0,311927 -2,182290	-0,205711 -2,182290	-0,099901 -2,173033	0,004701 -2,154588	0,107298 -2,127098
80°	-0,716956 -2,149935	-0,613341 -2,192853	-0,506380 -2,226578	-0,396885 -2,250852	-0,285693 -2,265491	-0,173648 -2,270384	-0,061603 -2,265491	0,049589 -2,250852	0,159084 -2,226578	0,266045 -2,192853

85°

-0,604231	-0,493464	-0,379605	-0,263520	-0,146093	-0,028219	0,089208	0,205293	0,319152	0,429919
-2,244523	-2,284838	-2,315347	-2,335815	-2,346090	-2,346090	-2,335815	-2,315347	-2,284838	-2,244523
-0,483690	-0,366025	-0,245576	-0,123256	0,000000	0,123256	0,245576	0,366025	0,483690	0,597673
-2,328926	-2,366025	-2,392728	-2,408832	-2,414214	-2,408832	-2,392728	-2,366025	-2,328926	-2,281713
-0,356251	-0,231996	-0,108312	0,022837	0,151475	0,279624	0,406308	0,530563	0,651444	0,768030
-2,402503	-2,435796	-2,458135	-2,469346	-2,469346	-2,458135	-2,435796	-2,402503	-2,358506	-2,304141
-0,222886	-0,092396	0,040117	0,173648	0,307179	0,439692	0,570182	0,697653	0,821137	0,939693
-2,464692	-2,493621	-2,511067	-2,516896	-2,511067	-2,493621	-2,464692	-2,424501	-2,373352	-2,311636
-0,084607	0,189607	0,328031	0,465926	0,602245	0,735951	0,866025	0,991479	1,113356	
-2,515022	-2,551122	-2,581122	-2,551122	-2,539058	-2,515022	-2,479195	-2,431852	-2,373352	-2,304141
0,057531	0,199232	0,342020	0,484808	0,626509	0,766044	0,902353	1,034397	1,161172	1,281713
-2,553108	-2,571762	-2,577997	-2,571762	-2,553108	-2,52174	-2,479195	-2,424501	-2,358506	-2,281713
0,202448	0,349042	0,495194	0,642788	0,787705	0,929843	1,068122	1,201487	1,328926	1,449457
-2,578660	-2,591485	-2,591485	-2,578660	-2,553108	-2,515022	-2,464692	-2,402503	-2,328926	-2,244523
0,349042	0,500000	0,650958	0,800768	0,948288	1,092396	1,231996	1,366025	1,493464	1,613341
-2,591485	-2,598075	-2,591485	-2,571762	-2,539058	-2,493621	-2,435796	-2,366025	-2,284838	-2,192833
0,496194	0,650958	0,805132	0,957545	1,107035	1,252464	1,392728	1,526757	1,653532	1,772088
-2,591485	-2,591485	-2,577997	-2,551122	-2,511067	-2,469346	-2,408832	-2,315347	-2,226578	-2,127098
0,642788	0,800768	0,957545	1,111928	1,262739	1,408832	1,549096	1,682461	1,807915	1,924501
-2,578660	-2,571762	-2,551122	-2,516996	-2,469346	-2,414214	-2,346090	-2,250852	-2,154588	-2,047757
0,787705	0,948288	1,107035	1,262739	1,414214	1,560307	1,699907	1,831951	1,954335	2,069418
-2,553108	-2,539058	-2,511067	-2,469346	-2,414214	-2,346090	-2,265491	-2,173033	-2,069418	-1,955435
0,929843	1,092396	1,252464	1,408832	1,560307	1,705736	1,844015	1,974089	2,094970	2,205737
-2,515022	-2,493621	-2,458135	-2,408832	-2,346090	-2,270384	-2,182290	-2,082481	-1,971714	-1,850833
1,068122	1,231996	1,392728	1,549096	1,699907	1,844015	1,980324	2,107795	2,225460	2,332421
-2,464692	-2,435796	-2,392728	-2,335815	-2,263491	-2,182290	-2,086845	-1,979384	-1,862219	-1,734748
1,201487	1,365025	1,526757	1,682461	1,831951	1,974089	2,107795	2,232050	2,345909	2,448506
-2,402503	-2,366025	-2,315347	-2,250852	-2,173033	-2,082481	-1,979384	-1,866025	-1,741770	-1,608004
1,328926	1,493464	1,653532	1,807915	1,954335	2,094970	2,225460	2,345909	2,455404	2,553108
-2,328926	-2,284838	-2,226578	-2,154838	-2,069418	-1,971714	-1,862219	-1,741770	-1,611280	-1,471745
1,449457	1,613341	1,772088	1,924501	2,069418	2,205737	2,32421	2,448506	2,553108	2,645430
-2,244523	-2,192853	-2,127098	-2,047757	-1,955435	-1,850833	-1,734748	-1,608004	-1,471745	-1,326838
1,562192	1,724745	1,881522	2,031332	2,173033	2,305546	2,427866	2,539058	2,638278	2,724771
-2,149935	-2,090770	-2,017664	-1,931171	-1,831951	-1,720759	-1,598439	-1,465926	-1,324225	-1,174415
1,666245	1,826828	1,981002	2,127596	2,263491	2,393640	2,511067	2,618777	2,710268	2,790526
-2,045882	-1,979366	-1,899106	-1,805717	-1,699907	-1,582480	-1,454331	-1,316436	-1,169842	-1,015668
1,760843	1,918813	2,069771	2,212559	2,346090	2,469346	2,581391	2,681372	2,768528	2,842196
-1,933157	-1,859489	-1,772333	-1,672352	-1,560307	-1,437051	-1,303520	-1,160732	-1,009774	-0,851794

γ_{1p}° γ_{1m}°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°	160°
180°	1,845236 -1,812616	2,000000 -1,732050	2,147152 -1,638304	2,285576 -1,532088	2,414214 -1,414214	2,532088 -1,285576	2,638304 -1,147152	2,732050 -1,000000	2,812616 -0,845236	2,879386 -1,684040
185°	1,918813 -1,985177	2,069771 -1,598021	2,212559 -1,498040	2,346090 -1,365995	2,469346 -1,262739	2,581391 -1,129208	2,681372 -0,986420	2,768528 -0,835462	2,842196 -0,677482	2,901814 -0,513663
190°	1,981002 -1,551812	2,127596 -1,458421	2,265491 -1,352611	2,393640 -1,235184	2,511067 -1,107035	2,616877 -0,969140	2,710268 -0,822546	2,790526 -0,668372	2,857042 -0,507789	2,909309 -0,342020
195°	2,031332 -1,413533	2,173083 -1,314313	2,305546 -1,203121	2,427866 -1,080801	2,539058 -0,948288	2,638278 -0,806587	2,724771 -0,656777	2,797877 -0,500000	2,857042 -0,337447	2,901814 -0,170357
200°	2,069418 -1,271395	2,205737 -1,166793	2,332421 -1,050708	2,448506 -0,924024	2,553108 -0,787705	2,645430 -0,642788	2,724771 -0,490375	2,790526 -0,331628	2,842196 -0,167754	2,879386 0,000000
205°	2,094970 -1,126478	2,225460 -1,016983	2,345909 -0,896534	2,455404 -0,766044	2,553108 -0,626509	2,638278 -0,478989	2,710268 -0,324606	2,768528 -0,164538	2,812616 0,000000	2,842196 0,167754
210°	2,107795 -0,979884	2,232050 -0,866025	2,345909 -0,741770	2,448506 -0,608064	2,539058 -0,465926	2,616877 -0,316436	2,681372 -0,160732	2,732050 0,000000	2,768528 0,164538	2,790526 0,331628
215°	2,107795 -0,832732	2,225460 -0,715067	2,332421 -0,587596	2,427866 -0,451287	2,511067 -0,307179	2,581391 -0,156363	2,638304 0,000000	2,681372 0,160732	2,710268 0,324606	2,724771 0,490375
220°	2,094970 -0,686138	2,205737 -0,565257	2,305546 -0,435183	2,393640 -0,296904	2,469346 -0,151475	2,532088 0,000000	2,581391 0,156363	2,616877 0,316436	2,638278 0,478989	2,645430 0,642788
225°	2,069418 -0,541221	2,173083 -0,417737	2,265491 -0,285993	2,346090 -0,146093	2,414214 0,000000	2,469346 0,151475	2,511067 0,307179	2,539058 0,465926	2,553108 0,626509	2,553108 0,787705
230°	2,031332 -0,399082	2,127596 -0,273629	2,212559 -0,140264	2,285576 0,000000	2,346090 0,145093	2,393640 0,296904	2,427866 0,451287	2,448506 0,608064	2,455404 0,766044	2,448506 0,924024
235°	1,981002 -0,260804	2,069771 -0,134009	2,147152 0,000000	2,212559 0,140264	2,265491 0,285993	2,305546 0,435183	2,332421 0,587596	2,345909 0,741770	2,345909 0,896534	2,332421 1,050708
240°	1,918813 -0,127439	2,000000 0,000000	2,069771 0,134029	2,127596 0,273629	2,173083 0,417737	2,205737 0,565257	2,225460 0,715067	2,232050 0,866025	2,225460 1,016983	2,205737 1,166793
245°	1,845236 0,000000	1,918813 0,127439	1,981002 0,260804	2,031332 0,399083	2,069418 0,541221	2,094970 0,686138	2,107795 0,832732	2,107795 0,979884	2,094970 1,126478	2,069418 1,271395
250°	1,760843 0,120541	1,826328 0,247316	1,881522 0,379360	1,924501 0,515669	1,954335 0,655204	1,974089 0,796905	1,980324 0,939693	1,974089 1,082481	1,955435 1,224182	1,924501 1,363717
255°	1,666245 0,233266	1,724745 0,358720	1,772088 0,488794	1,807915 0,622500	1,831951 0,758819	1,844015 0,896714	1,844015 1,035138	1,831951 1,173033	1,807915 1,309352	1,772088 1,433058
260°	1,562192 0,337319	1,613341 0,460803	1,653532 0,588274	1,682461 0,718764	1,699907 0,851277	1,705736 0,984808	1,699907 1,118339	1,682461 1,250852	1,653532 1,381342	1,613341 1,508813

$\lambda_{\text{app}}^\circ$ $\lambda_{\text{true}}^\circ$	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°	200°	205°	210°
0°	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
5°	-1,015077 -0,172327	-1,007582 -0,173648	-1,000000 -0,174312	-0,992390 -0,174312	-0,984808 -0,173648	-0,977313 -0,172327	-0,969862 -0,170357	-0,962810 -0,167754	-0,955912 -0,164538	-0,949322 -0,160732
10°	-1,015077 -0,345311	-1,000000 -0,347295	-0,984808 -0,349660	-0,969616 -0,347295	-0,954539 -0,345311	-0,939693 -0,342029	-0,925190 -0,337447	-0,911140 -0,331628	-0,897652 -0,324606	-0,884827 -0,316436
15°	-1,000000 -0,517638	-0,977313 -0,519623	-0,954539 -0,519623	-0,931832 -0,517638	-0,909424 -0,513683	-0,887426 -0,507789	-0,866025 -0,500000	-0,845385 -0,490375	-0,825662 -0,478989	-0,807008 -0,465926
20°	-0,969962 -0,687995	-0,939693 -0,689316	-0,909424 -0,687995	-0,879386 -0,684040	-0,849806 -0,677482	-0,820910 -0,668372	-0,792919 -0,656777	-0,766044 -0,642788	-0,740492 -0,626509	-0,716456 -0,608064
25°	-0,925190 -0,855085	-0,887426 -0,855085	-0,849806 -0,851794	-0,812616 -0,845236	-0,776138 -0,835462	-0,740652 -0,822546	-0,706426 -0,806587	-0,673722 -0,787705	-0,642768 -0,766044	-0,613859 -0,741770
30°	-0,866025 -1,017638	-0,820910 -1,015668	-0,776138 -1,009774	-0,732050 -1,000000	-0,688982 -0,986420	-0,647261 -0,969140	-0,607206 -0,948288	-0,569120 -0,924024	-0,532323 -0,896534	-0,500000 -0,866025
35°	-0,792919 -1,174415	-0,740652 -1,169842	-0,688982 -1,160732	-0,638304 -1,147152	-0,589001 -1,129208	-0,541451 -1,107035	-0,496014 -1,080801	-0,453035 -1,050708	-0,412844 -1,016983	-0,375745 -0,979884
40°	-0,706426 -1,324225	-0,647261 -1,316436	-0,589001 -1,303520	-0,532088 -1,285576	-0,476956 -1,262739	-0,424024 -1,235184	-0,373694 -1,205121	-0,326351 -1,166793	-0,282354 -1,126478	-0,242039 -1,082481
45°	-0,607206 -1,465926	-0,541451 -1,454331	-0,476956 -1,437051	-0,414214 -1,414214	-0,353700 -1,385995	-0,295875 -1,352611	-0,241281 -1,314313	-0,190032 -1,271395	-0,142819 -1,224182	-0,099901 -1,173033
50°	-0,496014 -1,598439	-0,424024 -1,582480	-0,353700 -1,560307	-0,285576 -1,532088	-0,220169 -1,498040	-0,157980 -1,458421	-0,099480 -1,413533	-0,045115 -1,363717	-0,004701 -1,309352	-0,049589 -1,250852
55°	-0,373694 -1,720759	-0,295875 -1,699907	-0,220169 -1,672362	-0,147152 -1,638304	-0,077381 -1,598021	-0,011386 -1,558122	-0,050330 -1,500026	-0,012998 -1,433052	-0,159084 -1,381342	-0,203293 -1,315347
60°	-0,241281 -1,839511	-0,157980 -1,805717	-0,077381 -1,772333	0,000000 -1,732050	0,073577 -1,685177	0,142788 -1,632070	0,207107 -1,573132	0,266045 -1,508313	0,319152 -1,439602	0,366025 -1,366025
65°	-0,099480 -1,931171	-0,011386 -1,899108	0,073577 -1,859489	0,147664 -1,812616	0,231557 -1,758845	0,303371 -1,698586	0,369660 -1,632297	0,429919 -1,560483	0,483690 -1,483690	0,530563 -1,402503
70°	0,050330 -2,017664	0,142788 -1,979366	0,231557 -1,931557	0,315960 -1,879386	0,395356 -1,818463	0,469140 -1,750853	0,536750 -1,677069	0,597673 -1,597673	0,651444 -1,513270	0,697653 -1,424501
75°	0,207107 -2,090770	0,303371 -2,045882	0,395356 -1,992775	0,482362 -1,931852	0,563728 -1,863578	0,638833 -1,788473	0,707107 -1,707107	0,768030 -1,620101	0,821137 -1,528116	0,866025 -1,431852
80°	0,369660 -2,149935	0,469140 -2,098149	0,563728 -2,037890	0,652704 -1,969616	0,735391 -1,893847	0,811160 -1,811160	0,879434 -1,722184	0,939693 -1,627595	0,991479 -1,528116	0,034397 -1,424501

85°	0, 536750 -2, 194707	0, 638833 -2, 135769	0, 735391 -2, 068159	0, 825688 -1, 992390	0, 909039 -1, 909039	0, 984808 -1, 818742	1, 052418 -1, 722184	1, 111356 -1, 620101	1, 161172 -1, 523270	1, 201487 -1, 402503
90°	0, 707107 -2, 224745	0, 811160 -2, 158456	0, 909039 -2, 083351	1, 000000 -2, 000000	1, 083351 -1, 909039	1, 181160 -1, 811160	1, 224745 -1, 707107	1, 281713 -1, 597673	1, 328926 -1, 483990	1, 366025 -1, 366025
95°	0, 879434 -2, 239822	0, 964808 -2, 166038	1, 083351 -2, 083351	1, 174312 -1, 992390	1, 256939 -1, 893947	1, 339510 -1, 788473	1, 395102 -1, 677069	1, 449467 -1, 560483	1, 493464 -1, 439602	1, 526757 -1, 313447
100°	1, 052418 -2, 239822	1, 158456 -2, 158456	1, 256939 -2, 068159	1, 347296 -1, 999616	1, 428662 -1, 863578	1, 500476 -1, 750853	1, 562192 -1, 632297	1, 613341 -1, 508813	1, 653332 -1, 381342	1, 682461 -1, 250852
105°	1, 224745 -2, 135769	1, 330783 -2, 135769	1, 428662 -2, 037890	1, 517638 -1, 931852	1, 597034 -1, 818461	1, 666245 -1, 698586	1, 724745 -1, 573132	1, 772088 -1, 443058	1, 807915 -1, 309352	1, 831951 -1, 173033
110°	1, 395102 -2, 194707	1, 500476 -2, 098149	1, 597034 -1, 992775	1, 684040 -1, 879386	1, 760943 -1, 758845	1, 826828 -1, 632070	1, 881522 -1, 500026	1, 924501 -1, 363717	1, 955435 -1, 224182	1, 974089 -1, 082481
115°	1, 562192 -2, 149935	1, 666245 -2, 044882	1, 760843 -1, 933157	1, 845236 -1, 812616	1, 918813 -1, 685177	1, 981092 -1, 581812	2, 003332 -1, 413353	2, 094418 -1, 271395	2, 164970 -1, 126478	2, 107795 -0, 979884
120°	1, 724745 -2, 090770	1, 826828 -1, 979366	1, 918813 -1, 859489	2, 000000 -1, 732050	2, 069771 -1, 598021	2, 137596 -1, 458421	2, 173033 -1, 314313	2, 205737 -1, 167793	2, 225460 -1, 016983	2, 232050 -0, 866025
125°	1, 881522 -2, 017664	1, 981002 -1, 899108	2, 069771 -1, 772333	2, 147152 -1, 638304	2, 212559 -1, 498040	2, 265491 -1, 352611	2, 305546 -1, 203121	2, 332421 -1, 050708	2, 345909 -0, 896534	2, 345909 -0, 741770
130°	2, 031332 -1, 931171	2, 127596 -1, 805717	2, 212559 -1, 672352	2, 285576 -1, 532088	2, 346090 -1, 385995	2, 393540 -1, 295184	2, 427866 -1, 080801	2, 448506 -0, 924024	2, 455404 -0, 766044	2, 448506 -0, 608064
135°	2, 173033 -1, 831951	2, 265491 -1, 699907	2, 346090 -1, 560307	2, 414214 -1, 414214	2, 469346 -1, 262739	2, 511067 -1, 107035	2, 539058 -0, 948288	2, 553108 -0, 787705	2, 553108 -0, 626596	1, 539058 -0, 465926
140°	2, 305546 -1, 720759	2, 393540 -1, 582480	2, 469346 -1, 437051	2, 532088 -1, 285576	2, 581391 -1, 129208	2, 616877 -0, 999140	2, 638278 -0, 806587	2, 645430 -0, 642788	2, 638278 -0, 478989	2, 616877 -0, 316436
145°	2, 427866 -1, 598439	2, 511067 -1, 454331	2, 581391 -1, 303520	2, 638304 -1, 147152	2, 681372 -0, 986420	2, 710268 -0, 822546	2, 724771 -0, 656777	2, 724771 -0, 490375	1, 710268 -0, 324606	2, 681372 -0, 160732
150°	2, 539053 -1, 468926	2, 616877 -1, 316436	2, 681372 -1, 160732	2, 732050 -1, 000000	2, 768528 -0, 835462	2, 790526 -0, 668372	2, 797877 -0, 500000	2, 790526 -0, 331628	2, 768528 -0, 164538	2, 732050 -0, 000000
155°	2, 638278 -1, 324225	2, 710268 -1, 169842	2, 762528 -1, 009774	2, 812616 -0, 845236	2, 842196 -0, 677482	2, 857042 -0, 607789	2, 857042 -0, 337447	2, 842196 -0, 167754	2, 812616 -0, 000000	2, 768528 0, 164538
160°	2, 724771 -1, 174415	2, 790526 -1, 015668	2, 842196 -0, 851794	2, 879385 -0, 684040	2, 901814 -0, 613883	2, 909309 -0, 342020	2, 901814 -0, 170357	2, 879385 0, 000000	2, 842196 0, 167754	2, 790526 0, 331628
165°	2, 797877 -1, 017638	2, 857042 -0, 855085	2, 901814 -0, 687997	2, 931852 -0, 517638	2, 946929 -0, 348311	2, 946929 -0, 172327	2, 931852 0, 000000	2, 901814 0, 170357	2, 857042 0, 337447	2, 797877 0, 500000
170°	2, 857042 -0, 855085	2, 909309 -0, 689316	2, 946929 -0, 519623	2, 969616 -0, 347286	2, 977198 -0, 173648	2, 969616 0, 000000	2, 946929 0, 172327	2, 909309 0, 342020	2, 857042 0, 607789	2, 790526 0, 668372
175°	2, 901814 -0, 687995	2, 946929 -0, 519623	2, 977198 -0, 347960	2, 992390 -0, 174312	2, 992390 -0, 174312	2, 977198 0, 173648	2, 946929 0, 345301	2, 901814 0, 513683	2, 842196 0, 677482	2, 768528 0, 835462

—1, 424001

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

—1, 040110

$\frac{170^\circ}{\text{Year}}$	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°	200°	205°	210°
180°	2, 931852 -0, 517638	2, 969616 -0, 347296	2, 992390 -0, 174312	3, 000000 0, 000000	2, 992390 0, 174312	2, 969616 0, 347296	2, 931852 0, 517638	2, 879386 0, 684040	2, 812616 0, 845236	2, 732050 1, 000000
185°	2, 946929 -0, 345311	2, 977198 -0, 173648	2, 992390 0, 000000	2, 992390 0, 174312	2, 977198 0, 347960	2, 946929 0, 519623	2, 901814 0, 687995	2, 842196 0, 851794	2, 768528 1, 009774	2, 681372 1, 160732
190°	2, 946929 -0, 172327	2, 969616 0, 000000	2, 977198 0, 173648	2, 969616 0, 347296	2, 946929 0, 519623	2, 901814 0, 687995	2, 857042 0, 855085	2, 790526 1, 015668	2, 710268 1, 169842	2, 616877 1, 316436
195°	2, 931852 0, 000000	2, 946929 0, 172327	2, 969616 0, 345311	2, 931852 0, 517638	2, 901814 0, 687995	2, 857042 0, 855085	2, 797877 1, 017638	2, 724771 1, 174415	2, 638278 1, 324225	2, 539058 1, 465926
200°	2, 901814 0, 170357	2, 909309 0, 342020	2, 901814 0, 513683	2, 879386 0, 684040	2, 842196 0, 851794	2, 790526 1, 015668	2, 724771 1, 174415	2, 645430 1, 326828	2, 553108 1, 471745	2, 448506 1, 608064
205°	2, 857042 0, 337447	2, 857042 0, 507789	2, 842196 0, 677482	2, 812616 0, 845236	2, 768528 1, 009774	2, 710268 1, 169842	2, 638278 1, 324225	2, 553108 1, 471745	2, 455404 1, 611280	2, 345909 1, 741770
210°	2, 797877 0, 500000	2, 790526 0, 658372	2, 768528 0, 835462	2, 732050 1, 000000	2, 681372 1, 160732	2, 616877 1, 316446	2, 539058 1, 465926	2, 448506 1, 608064	2, 345909 1, 741770	2, 232050 1, 866025
215°	2, 724771 0, 656777	2, 710268 0, 822546	2, 681372 0, 986420	2, 638304 1, 147152	2, 581391 1, 303520	2, 511067 1, 454331	2, 427866 1, 598439	2, 332421 1, 734748	2, 225460 1, 862219	2, 107795 1, 979884
220°	2, 638278 0, 806557	2, 616877 0, 969140	2, 581391 1, 129208	2, 532088 1, 285576	2, 469346 1, 437051	2, 393640 1, 582480	2, 305546 1, 720759	2, 205737 1, 850833	2, 094970 1, 971714	1, 974089 2, 082481
225°	2, 539058 0, 948288	2, 511067 1, 107035	2, 469346 1, 262739	2, 414214 1, 414214	2, 346090 1, 560307	2, 265491 1, 699907	2, 173033 1, 831951	2, 059418 1, 955435	1, 935435 2, 069418	1, 831951 2, 173033
230°	2, 427866 1, 080801	2, 393640 1, 235184	2, 346090 1, 385995	2, 285576 1, 532088	2, 212559 1, 672352	2, 127596 1, 805717	2, 031332 1, 931171	1, 924501 2, 047757	1, 807915 2, 154588	1, 682461 2, 250852
235°	2, 305546 1, 203121	2, 265491 1, 352611	2, 212559 1, 498040	2, 147152 1, 638304	2, 069771 1, 772333	1, 981002 1, 890108	1, 881522 2, 017664	1, 772088 2, 127098	1, 653532 2, 226578	1, 526757 2, 315347
240°	2, 173033 1, 314313	2, 127596 1, 458421	2, 069771 1, 598021	2, 000000 1, 732050	1, 918813 1, 812616	1, 826828 1, 979366	1, 724745 2, 090770	1, 613341 2, 192853	1, 493464 2, 284838	1, 366025 2, 366025
245°	2, 031332 1, 413533	1, 981002 1, 551812	1, 918813 1, 685177	1, 845236 1, 812616	1, 760843 1, 933157	1, 666236 2, 045882	1, 562192 2, 149335	1, 449467 2, 244523	1, 328926 2, 328926	1, 201487 2, 402503
250°	1, 881522 1, 500026	1, 826828 1, 632070	1, 760843 1, 758845	1, 684040 1, 879386	1, 597034 1, 992775	1, 504476 2, 098149	1, 395102 2, 194707	1, 281713 2, 281713	1, 161172 2, 358506	1, 034397 2, 424501
255°	1, 724745 1, 573132	1, 666245 1, 698586	1, 597034 1, 818462	1, 517638 1, 931852	1, 428662 2, 037890	1, 330783 2, 135769	1, 224745 2, 224745	1, 111356 2, 304141	0, 991479 2, 373352	0, 866025 2, 431852
260°	1, 562192 1, 632297	1, 500476 1, 750853	1, 428662 1, 863578	1, 347236 1, 969616	1, 256999 2, 068159	1, 158456 2, 158456	1, 052418 2, 239822	0, 939593 2, 311036	0, 821137 2, 373352	0, 697653 2, 424501
265°	1, 395102 1, 677049	1, 330783 1, 788473	1, 256999 1, 833847	1, 174312 1, 992390	1, 083351 2, 083351	0, 984808 2, 166038	0, 879434 2, 239822	0, 768030 2, 304141	0, 651404 2, 358506	0, 539563 2, 402503

	1,632297	1,750853	1,863578	1,969616	2,068159	2,158456	2,239822	2,31636	2,395093	2,471131	2,549663
265°	1,395102	1,330783	1,256999	1,174312	1,083351	0,984808	0,879434	0,768030	0,651444	0,530563	0,406533
	1,1,677069	1,788473	1,863847	1,962390	2,063351	2,166038	2,239822	2,304141	2,358506	2,402503	2,446503
270°	1,224745	1,158456	1,083351	1,000000	0,909039	0,811160	0,707107	0,597673	0,483690	0,366025	0,244503
	1,1,707107	1,811160	1,909039	2,000000	2,083351	2,158456	2,224745	2,281713	2,338926	2,386025	2,433025
275°	1,052418	0,984808	0,909039	0,825688	0,735391	0,638833	0,536750	0,429919	0,319152	0,205293	0,089434
	1,1,722184	1,818742	1,909039	1,992390	2,068159	2,135769	2,194707	2,244523	2,284838	2,315347	2,345852
280°	0,879434	0,811160	0,735391	0,652704	0,563728	0,469140	0,369660	0,266045	0,159084	0,049589	0,000000
	1,1,722184	1,811160	1,893847	1,969616	2,037890	2,098149	2,149935	2,192853	2,226578	2,250852	2,275082
285°	0,707107	0,638833	0,563728	0,482362	0,395356	0,303371	0,207107	0,107298	0,004701	0,000000	0,000000
	1,1,707107	1,788473	1,863578	1,931852	1,992775	2,045882	2,090770	2,127098	2,154588	2,178033	2,198033
290°	0,536750	0,469140	0,395356	0,315960	0,231587	0,142788	0,050330	0,045115	0,142819	0,242039	0,342039
	1,1,677069	1,750853	1,818463	1,879386	1,933157	1,979366	2,017664	2,047757	2,069413	2,082481	2,096481
295°	0,369660	0,303371	0,231587	0,154764	0,073577	-0,011386	-0,099480	-0,190032	-0,282354	-0,375745	-0,469136
	1,1,632297	1,698586	1,758845	1,812616	1,859489	1,899108	1,931171	1,955435	1,971714	1,979884	1,985025
300°	0,207107	0,142788	0,073577	0,000000	-0,077381	-0,157980	-0,241281	-0,326351	-0,412844	-0,500000	-0,587646
	1,1,573132	1,632070	1,685177	1,733517	1,773351	1,805717	1,831951	1,850833	1,862219	1,866025	1,870025
305°	0,050330	-0,011386	-0,077381	-0,147152	-0,220169	-0,295875	-0,373694	-0,453035	-0,533293	-0,613859	-0,694425
	1,1,500026	1,551812	1,598182	1,638804	1,672352	1,699607	1,720759	1,734748	1,741770	1,741770	1,741770
310°	0,099480	0,157980	0,220169	0,285576	0,353700	0,424024	0,496014	0,569120	0,642788	0,716456	0,790124
	1,1,413533	1,413533	1,408040	1,393088	1,368307	1,342480	1,316439	1,290404	1,264378	1,238352	1,212326
315°	-0,241281	-0,295875	-0,353700	-0,414214	-0,476956	-0,541451	-0,607206	-0,673722	-0,740492	-0,807008	-0,873274
	1,1,271395	1,352611	1,385995	1,414214	1,437051	1,454331	1,465926	1,471745	1,471745	1,465926	1,454331
320°	-0,373694	-0,424024	-0,476956	-0,532088	-0,589001	-0,647261	-0,706426	-0,766044	-0,825662	-0,884827	-0,943542
	1,1,203121	1,235184	1,262739	1,285576	1,303520	1,316436	1,324225	1,326828	1,324225	1,316436	1,303542
325°	-0,496014	-0,541451	-0,589001	-0,638804	-0,689982	-0,740652	-0,792919	-0,845385	-0,897652	-0,949322	-1,000000
	1,1,080801	1,107035	1,129208	1,147152	1,160732	1,169842	1,174415	1,174415	1,169842	1,160732	1,147152
330°	-0,607206	-0,647261	-0,688982	-0,732050	-0,776138	-0,820910	-0,866025	-0,911140	-0,955912	-1,000000	-1,000000
	0,948288	0,969140	0,986420	1,000000	1,009774	1,015668	1,017638	1,015668	1,009774	1,000000	0,986025
335°	-0,706426	-0,740652	-0,776138	-0,812616	-0,849805	-0,887426	-0,925190	-0,962810	-1,000000	-1,036478	-1,073146
	0,806587	0,825546	0,835462	0,835236	0,831794	0,835085	0,835085	0,831794	0,825546	0,812616	0,806587
340°	-0,792919	-0,820910	-0,849806	-0,879386	-0,909424	-0,939693	-0,969962	-1,000000	-1,029580	-1,058476	-1,087372
	0,656777	0,668372	0,677482	0,684040	0,687995	0,689316	0,687995	0,684040	0,677482	0,668372	0,656777
345°	-0,866025	-0,887426	-0,909424	-0,931832	-0,954539	-0,977313	-1,000000	-1,022428	-1,044426	-1,065827	-1,087372
	0,500000	0,507789	0,513683	0,517638	0,519623	0,519623	0,517638	0,513683	0,507789	0,500000	0,487372
350°	-0,925190	-0,939693	-0,954539	-0,969616	-0,984808	-1,000000	-1,015077	-1,029923	-1,044426	-1,058476	-1,073146
	0,337447	0,342020	0,345311	0,347296	0,347960	0,347296	0,345311	0,342020	0,337447	0,331628	0,325809
355°	-0,969962	-0,977313	-0,984808	-0,992390	-1,000000	-1,007582	-1,015077	-1,022428	-1,029580	-1,036478	-1,043372
	0,170357	0,172327	0,173648	0,174312	0,174312	0,173648	0,172327	0,170357	0,167554	0,164538	0,161522
360°	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000	-1,000000
	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

γ/p γ_{ant}	215°	220°	225°	230°	235°	240°	245°	250°	255°	260°
0°	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000	-1, 000000 0, 000000
5°	-0, 943087 -0, 156368	-0, 937258 -0, 151475	-0, 931876 -0, 146093	-0, 926983 -0, 140264	-0, 922619 -0, 134829	-0, 918813 -0, 127439	-0, 915597 -0, 120541	-0, 912994 -0, 113389	-0, 910244 -0, 106038	-0, 907603 -0, 098543
10°	-0, 872763 -0, 307179	-0, 861552 -0, 296904	-0, 851277 -0, 285593	-0, 842020 -0, 273629	-0, 833850 -0, 260804	-0, 826828 -0, 247316	-0, 821009 -0, 233265	-0, 816436 -0, 218763	-0, 813145 -0, 203917	-0, 811160 -0, 188840
15°	-0, 789562 -0, 451287	-0, 773458 -0, 435183	-0, 758819 -0, 417737	-0, 745756 -0, 399083	-0, 734370 -0, 379360	-0, 724745 -0, 358720	-0, 716956 -0, 337319	-0, 710962 -0, 315321	-0, 707107 -0, 292893	-0, 705122 -0, 270206
20°	-0, 693117 -0, 587596	-0, 673649 -0, 565257	-0, 655204 -0, 541221	-0, 638925 -0, 515659	-0, 624936 -0, 488794	-0, 613341 -0, 460803	-0, 604231 -0, 431907	-0, 597673 -0, 402327	-0, 593718 -0, 372289	-0, 592397 -0, 342020
25°	-0, 587156 -0, 715067	-0, 562882 -0, 686138	-0, 541221 -0, 655204	-0, 522339 -0, 622500	-0, 506380 -0, 588274	-0, 493464 -0, 552788	-0, 483690 -0, 516310	-0, 477132 -0, 479120	-0, 473841 -0, 441500	-0, 473841 -0, 403736
30°	-0, 469491 -0, 842732	-0, 442001 -0, 796905	-0, 417737 -0, 758819	-0, 396885 -0, 718764	-0, 379505 -0, 677043	-0, 366025 -0, 633975	-0, 356251 -0, 589887	-0, 350357 -0, 545115	-0, 348387 -0, 500000	-0, 348387 -0, 454885
35°	-0, 342020 -0, 939603	-0, 311927 -0, 896714	-0, 285693 -0, 851277	-0, 263520 -0, 803727	-0, 245576 -0, 754424	-0, 231996 -0, 703746	-0, 222886 -0, 652076	-0, 218313 -0, 598809	-0, 218313 -0, 547343	-0, 222886 -0, 495075
40°	-0, 205711 -0, 1035138	-0, 173648 -0, 984808	-0, 146093 -0, 931876	-0, 123256 -0, 876744	-0, 105312 -0, 819831	-0, 092396 -0, 761571	-0, 084607 -0, 702406	-0, 082004 -0, 642788	-0, 084607 -0, 583170	-0, 092396 -0, 524005
45°	-0, 061603 -1, 118339	-0, 028219 -1, 060514	0, 000000 -1, 000000	0, 022837 -0, 937258	0, 040117 -0, 872763	0, 051712 -0, 807008	0, 057531 -0, 740492	0, 057531 -0, 673722	0, 051712 -0, 607206	0, 040117 -0, 541451
50°	0, 089208 -1, 188663	0, 123256 -1, 123256	0, 151475 -1, 05132	0, 173648 -0, 984808	0, 189607 -0, 912818	0, 199232 -0, 839712	0, 202448 -0, 760044	0, 199232 -0, 692376	0, 189607 -0, 619270	0, 173648 -0, 547280
55°	0, 245576 -1, 245576	0, 279624 -1, 172559	0, 307179 -1, 096853	0, 328031 -1, 019034	0, 342020 -0, 939693	0, 349042 -0, 859442	0, 349042 -0, 778869	0, 342020 -0, 698611	0, 328031 -0, 619270	0, 307179 -0, 541451
60°	0, 406308 -1, 288644	0, 439692 -1, 208045	0, 465926 -1, 124844	0, 484808 -1, 039674	0, 496194 -0, 953181	0, 500000 -0, 866025	0, 496194 -0, 778869	0, 484808 -0, 692376	0, 465926 -0, 607206	0, 439692 -0, 524005
65°	0, 570182 -1, 317540	0, 602245 -1, 229446	0, 626509 -1, 138694	0, 642788 -1, 046572	0, 650958 -0, 953181	0, 650958 -0, 859435	0, 642788 -0, 766044	0, 626509 -0, 673722	0, 602245 -0, 583170	0, 570182 -0, 495075
70°	0, 735951 -1, 332043	0, 766044 -1, 236598	0, 787705 -1, 138894	0, 800768 -1, 039674	0, 805132 -0, 939693	0, 800768 -0, 839712	0, 787705 -0, 740492	0, 766044 -0, 642788	0, 735951 -0, 547343	0, 697653 -0, 451885
75°	0, 902353 -1, 332043	0, 929843 -1, 229446	0, 948288 -1, 124844	0, 957545 -1, 019034	0, 957545 -0, 912818	0, 948288 -0, 807008	0, 929843 -0, 702406	0, 902353 -0, 598609	0, 866025 -0, 500000	0, 821137 -0, 403736
80°	1, 068122 -1, 317540	1, 092396 -1, 208045	1, 107035 -1, 096853	1, 111928 -0, 984808	1, 107035 -0, 872763	1, 092396 -0, 761571	1, 068122 -0, 652076	1, 034397 -0, 545115	0, 991479 -0, 441500	0, 939693 -0, 342020

85°

1,052418
—0,270206

90°

1,111356
—0,372289

95°

1,224745
—0,292893

100°

1,256999
—0,098543

105°

1,347296
—0,106038

110°

1,428662
—0,151763

115°

1,517638
—0,090000

120°

1,606038
—0,000000

125°

1,682461
—0,156219

130°

1,760843
—0,218763

135°

1,845236
—0,283319

140°

1,918813
—0,337319

145°

1,981002
—0,379360

150°

1,994040
—0,488794

155°

1,807915
—0,718764

160°

1,831951
—0,851277

165°

1,844015
—0,984908

170°

1,844015
—0,984908

175°

1,844015
—0,984908

$\frac{1}{f_p}^\circ$ τ_{min}°	215°	220°	225°	230°	235°	240°	245°	250°	255°	260°
180°	2, 638304 1, 147152	2, 532088 1, 285576	2, 414214 1, 414214	2, 285576 1, 532088	2, 147152 1, 638304	2, 000000 1, 732050	1, 845236 1, 812616	1, 684040 1, 939386	1, 517638 1, 931852	1, 347296 1, 969616
185°	2, 581391 1, 303520	2, 469346 1, 437051	2, 346090 1, 560307	2, 212559 1, 672352	2, 069771 1, 772333	1, 918813 1, 839489	1, 760843 1, 933157	1, 597034 1, 992775	1, 428662 2, 037890	1, 256999 2, 068159
190°	2, 511067 1, 454331	2, 393640 1, 582480	2, 265491 1, 699907	2, 127596 1, 805717	1, 981002 1, 899108	1, 826828 1, 979366	1, 662445 2, 045882	1, 500476 2, 098149	1, 330783 2, 135769	1, 158456 2, 158456
195°	2, 427866 1, 598439	2, 305546 1, 720759	2, 173033 1, 831951	2, 031332 1, 931171	1, 881522 2, 017664	1, 724745 2, 090770	1, 562192 2, 149935	1, 395102 2, 194707	1, 224745 2, 224745	1, 052418 2, 239822
200°	2, 332421 1, 734748	2, 205737 1, 850833	2, 069418 1, 955435	1, 924501 2, 047757	1, 772088 2, 127098	1, 613341 2, 192853	1, 449467 2, 244523	1, 281713 2, 281713	1, 111356 2, 304141	0, 939693 2, 311636
205°	2, 225460 1, 822219	2, 094970 1, 971714	1, 955435 2, 069418	1, 807915 2, 154588	1, 653532 2, 225578	1, 493464 2, 284838	1, 328926 2, 328926	1, 161172 2, 358506	0, 991479 2, 373352	0, 821137 2, 373352
210°	2, 107795 1, 979884	1, 974089 2, 082481	1, 831951 2, 173033	1, 682461 2, 250852	1, 526757 2, 315347	1, 366025 2, 366025	1, 201487 2, 402503	1, 034397 2, 424501	0, 866025 2, 431852	0, 697653 2, 424501
215°	1, 980330 2, 086845	1, 844015 2, 182290	1, 699907 2, 265491	1, 549096 2, 335815	1, 392728 2, 392728	1, 231996 2, 435795	1, 068122 2, 464692	0, 902353 2, 479195	0, 735951 2, 479195	0, 570182 2, 464692
220°	1, 844015 2, 182290	1, 705735 2, 270384	1, 560307 2, 346090	1, 408832 2, 408832	1, 252464 2, 458135	1, 092396 2, 493621	0, 929843 2, 515022	0, 765044 2, 522174	0, 602245 2, 515022	0, 439692 2, 493621
225°	1, 699907 2, 265491	1, 560307 2, 346090	1, 414214 2, 414214	1, 262739 2, 469346	1, 107035 2, 511067	0, 948288 2, 539058	0, 787705 2, 553108	0, 626509 2, 553108	0, 465926 2, 539058	0, 307179 2, 511067
230°	1, 549096 2, 335815	1, 408832 2, 408832	1, 262739 2, 469346	1, 111928 2, 516895	0, 957545 2, 551122	0, 800768 2, 571762	0, 642788 2, 578660	0, 484808 2, 571762	0, 328031 2, 551122	0, 173696 2, 516896
235°	1, 392728 2, 392728	1, 252464 2, 458135	1, 107035 2, 511067	0, 957545 2, 551122	0, 805132 2, 577997	0, 650958 2, 591485	0, 496194 2, 591485	0, 342020 2, 577997	0, 189607 2, 551122	0, 040117 2, 511067
240°	1, 231996 2, 435795	1, 092396 2, 493621	0, 948288 2, 539058	0, 800768 2, 571762	0, 650958 2, 591485	0, 500000 2, 590705	0, 349042 2, 591485	0, 199232 2, 591485	0, 051712 2, 539058	-0, 092396 2, 493621
245°	1, 068122 2, 464692	0, 929843 2, 515022	0, 765044 2, 551122	0, 642788 2, 578660	0, 496194 2, 591485	0, 349042 2, 591485	0, 202448 2, 578660	0, 057531 2, 553108	-0, 084607 2, 515022	-0, 232886 2, 464692
250°	0, 902353 2, 479195	0, 766044 2, 522174	0, 626509 2, 553108	0, 484808 2, 571762	0, 342020 2, 577997	0, 199232 2, 571762	0, 057531 2, 553108	-0, 082004 2, 522174	-0, 218313 2, 479195	-0, 350357 2, 424501
255°	0, 735951 2, 479195	0, 602245 2, 515022	0, 465926 2, 539058	0, 328031 2, 551122	0, 189607 2, 551122	0, 051712 2, 539058	-0, 084607 2, 515022	-0, 218313 2, 479195	-0, 348387 2, 431852	-0, 473841 2, 373352
260°	0, 570182 2, 464692	0, 439692 2, 493621	0, 307179 2, 511067	0, 173696 2, 516895	0, 040117 2, 511067	-0, 092396 2, 493621	-0, 232886 2, 464692	-0, 350357 2, 424501	-0, 473841 2, 373352	-0, 592397 2, 311636

γ_{ip} γ_{un}	265°	270°	275°	280°	285°	290°	295°	300°	305°	310°
0°	-1, 000000 0, 000000 -0, 909039 -0, 090961 -0, 810496 -0, 173648 -0, 705122 -0, 247432 -0, 593718 -0, 311751 -0, 477132 -0, 366116 -0, 356251 -0, 410113 -0, 231996 -0, 443406 -0, 105312 -0, 465745 -0, 022837 -0, 476956 0, 151475 0, 279624 0, 465745 0, 408308 -0, 443406 0, 530563 -0, 410113 0, 651444 -0, 366116 0, 768030 -0, 311751 0, 879434 -0, 247432	-1, 000000 0, 000000 -0, 909039 -0, 083351 -0, 811160 -0, 158456 -0, 707107 -0, 224745 -0, 597673 -0, 281713 -0, 483690 -0, 328926 -0, 366025 -0, 366025 -0, 245576 -0, 392728 -0, 123256 -0, 408832 0, 000000 -0, 41214 0, 123256 -0, 408832 0, 245576 -0, 392723 0, 279624 0, 465745 0, 406308 -0, 443406 0, 530563 -0, 410113 0, 651444 -0, 366116 0, 768030 -0, 311751 0, 879434 -0, 247432	-1, 000000 0, 000000 -0, 90703 -0, 075769 -0, 813145 -0, 143379 -0, 710962 -0, 202317 -0, 604231 -0, 252133 -0, 493464 -0, 292448 -0, 379605 -0, 322957 -0, 263520 -0, 343425 -0, 146093 -0, 353700 -0, 028219 -0, 353700 0, 089208 -0, 343425 0, 205293 -0, 322927 0, 319152 -0, 292448 0, 429919 -0, 252133 0, 536750 -0, 202317 0, 638833 -0, 143379 0, 735391 -0, 075769	-1, 000000 0, 000000 -0, 911024 -0, 068274 -0, 816436 -0, 128533 -0, 716956 -0, 180319 -0, 613341 -0, 223237 -0, 508380 -0, 266962 -0, 396885 -0, 281236 -0, 285693 -0, 295875 -0, 173648 -0, 300568 -0, 061603 -0, 295875 0, 049589 -0, 281236 0, 193084 -0, 256962 0, 266045 -0, 223237 0, 366660 -0, 180319 0, 469140 -0, 128533 0, 563728 -0, 068274 0, 632704 0, 000000	-1, 000000 0, 000000 -0, 912994 -0, 060923 -0, 821009 -0, 114030 -0, 724745 -0, 158918 -0, 624936 -0, 195246 -0, 522339 -0, 222736 -0, 417737 -0, 241181 -0, 311927 -0, 250438 -0, 205711 -0, 250438 -0, 099901 -0, 241181 0, 004701 -0, 222736 0, 107298 -0, 195246 0, 207107 -0, 158918 0, 303371 -0, 114030 0, 396356 -0, 060923 0, 482362 0, 000000 0, 563728 -0, 068274	-1, 000000 0, 000000 -0, 918813 -0, 046873 -0, 833850 -0, 086492 -0, 745756 -0, 118555 -0, 655204 -0, 142819 -0, 562882 -0, 159098 -0, 409491 -0, 167268 -0, 375745 -0, 167268 -0, 282354 -0, 159098 -0, 190032 -0, 142819 -0, 099901 -0, 099480 -0, 118555 -0, 011386 -0, 086492 0, 073577 -0, 046873 0, 154764 0, 000000 0, 231557 -0, 053771 0, 31557 -0, 060923 0, 482362 0, 000000 0, 563728 -0, 068274	-1, 000000 0, 000000 -0, 922619 -0, 040283 -0, 842020 -0, 073667 -0, 758819 -0, 099901 -0, 673649 -0, 118783 -0, 587156 -0, 130169 -0, 428444 -0, 139375 -0, 412844 -0, 130169 -0, 326351 -0, 118783 -0, 241281 -0, 099901 -0, 157980 -0, 073667 -0, 077381 -0, 040283 0, 000000 -0, 077381 0, 040283 0, 073577 -0, 011386 0, 147152 0, 000000 -0, 077381 0, 040283 0, 142788 0, 050330 0, 099980 0, 207107 0, 158918 0, 260045 0, 223237	-1, 000000 0, 000000 -0, 926983 -0, 034048 -0, 851277 -0, 061603 -0, 773458 -0, 082455 -0, 693117 -0, 096444 -0, 713859 -0, 103466 -0, 453035 -0, 096444 -0, 373694 -0, 082455 -0, 295875 -0, 061603 -0, 220169 -0, 034048 -0, 285576 0, 000000 -0, 147152 0, 000000 -0, 077381 0, 040283 0, 086492 0, 053771 0, 128278 0, 138278 0, 168371 0, 107298 0, 195246 0, 159084 0, 256962	-1, 000000 0, 000000 -0, 931876 -0, 028219 -0, 861552 -0, 050392 -0, 789952 -0, 066351 -0, 716456 -0, 075976 -0, 642788 -0, 079192 -0, 569120 -0, 075976 -0, 496014 -0, 066351 -0, 424024 -0, 050392 -0, 353700 -0, 028219 -0, 285576 0, 000000 -0, 147152 0, 034048 -0, 077381 0, 073667 -0, 099480 0, 118555 -0, 011386 -0, 086492 0, 073557 0, 046873 0, 154764 0, 000000 0, 231557 0, 053771 0, 315960 0, 000000 0, 396356 -0, 060923 0, 482362 0, 000000 0, 563728 -0, 068274 0, 632704 0, 000000	
5°										
10°										
15°										
20°										
25°										
30°										
35°										
40°										
45°										
50°										
55°										
60°										
65°										
70°										
75°										
80°										

85°	0, 984808 -0, 173648	0, 909039 -0, 083351	0, 825688 0, 000000	0, 735391 0, 075769	0, 638833 0, 143379	0, 536750 0, 202317	0, 429919 0, 252133	0, 319152 0, 292448	0, 205293 0, 322327	0, 089208 0, 343425
90°	1, 083351 -0, 090961	1, 000000 0, 000000	0, 909039 0, 083351	0, 811160 0, 138456	0, 707107 0, 224745	0, 567673 0, 281713	0, 483690 0, 389266	0, 366025 0, 392728	0, 245576 0, 392728	0, 123256 0, 406832
95°	1, 174312 0, 000000	1, 083351 0, 090961	0, 984808 0, 173648	0, 879434 0, 247432	0, 768030 0, 311751	0, 651444 0, 366116	0, 530563 0, 410113	0, 406308 0, 443406	0, 279624 0, 465745	0, 151475 0, 476956
100°	1, 250999 0, 098543	1, 158456 0, 188840	1, 052418 0, 270206	0, 939693 0, 342020	0, 821137 0, 403736	0, 697683 0, 454885	0, 570182 0, 495076	0, 439692 0, 524005	0, 307179 0, 541451	0, 173648 0, 572890
105°	1, 330783 0, 203917	1, 307673 0, 292893	1, 111356 0, 372289	0, 991479 0, 441500	0, 866025 0, 500000	0, 735951 0, 547343	0, 602245 0, 583170	0, 465926 0, 607206	0, 328031 0, 619270	0, 189607 0, 619270
110°	1, 395102 0, 315321	1, 281713 0, 402327	1, 161172 0, 479120	1, 034397 0, 545115	0, 902353 0, 599809	0, 766044 0, 642788	0, 626509 0, 673722	0, 484808 0, 692376	0, 342020 0, 698611	0, 199232 0, 692376
115°	1, 449467 0, 431907	1, 328926 0, 516310	1, 201487 0, 589887	1, 068122 0, 620766	0, 929843 0, 702406	0, 787705 0, 766044	0, 642788 0, 766044	0, 496194 0, 778869	0, 349042 0, 778869	0, 202448 0, 766044
120°	1, 493464 0, 532788	1, 366025 0, 633975	1, 231996 0, 703746	1, 092396 0, 761571	0, 948288 0, 807008	0, 800768 0, 839712	0, 650958 0, 859435	0, 500000 0, 856025	0, 349042 0, 859435	0, 199232 0, 839712
125°	1, 526757 0, 677043	1, 392728 0, 754424	1, 252464 0, 819831	1, 107035 0, 872763	0, 957545 0, 912818	0, 805132 0, 939693	0, 650958 0, 931818	0, 496194 0, 953181	0, 342020 0, 939693	0, 189607 0, 912818
130°	1, 549096 0, 803727	1, 408832 0, 876744	1, 262739 0, 937258	1, 111928 0, 984808	0, 957545 1, 019034	0, 800768 1, 039674	0, 642788 1, 046572	0, 484808 1, 039674	0, 328031 1, 019034	0, 173648 0, 984808
135°	1, 560307 0, 931876	1, 414214 1, 000000	1, 262739 1, 055132	1, 107035 1, 096853	0, 948288 1, 124844	0, 787705 1, 138894	0, 626509 1, 138894	0, 465926 1, 124844	0, 307179 1, 096853	0, 151475 1, 055132
140°	1, 560307 1, 060514	1, 408832 1, 123256	1, 252464 1, 172559	1, 092396 1, 208045	0, 929843 1, 229446	0, 766044 1, 236598	0, 602245 1, 229446	0, 439692 1, 208045	0, 279624 1, 172359	0, 123256 0, 123256
145°	1, 549096 1, 188663	1, 392728 1, 245576	1, 231996 1, 288644	1, 068122 1, 317540	0, 902353 1, 332043	0, 735951 1, 332043	0, 570182 1, 317540	0, 406308 1, 288644	0, 245576 1, 245576	0, 089208 1, 188663
150°	1, 526757 1, 315347	1, 366025 1, 366025	1, 201487 1, 402503	1, 034397 1, 424501	0, 866025 1, 431852	0, 697683 1, 424501	0, 530563 1, 402503	0, 366025 1, 366025	0, 205293 1, 315347	0, 049589 1, 250852
155°	1, 493464 1, 439602	1, 328926 1, 483690	1, 161172 1, 513270	0, 991479 1, 528116	0, 821137 1, 528116	0, 651444 1, 513270	0, 483690 1, 483690	0, 319152 1, 439602	0, 159084 1, 381342	0, 004701 1, 309352
160°	1, 449467 1, 560483	1, 281713 1, 597673	1, 111356 1, 620101	0, 939693 1, 627596	0, 768030 1, 620101	0, 597673 1, 597673	0, 429919 1, 560483	0, 266045 1, 508813	0, 107298 1, 443058	-0, 045115 1, 363717
165°	1, 395102 1, 677069	1, 224745 1, 707107	1, 052418 1, 722184	0, 879434 1, 722184	0, 707107 1, 707107	0, 567683 1, 677069	0, 369660 1, 632297	0, 207107 1, 573132	0, 050330 1, 500026	-0, 099480 1, 413533
170°	1, 330783 1, 788473	1, 158456 1, 811160	0, 984808 1, 811160	0, 811160 1, 811160	0, 638833 1, 788473	0, 469140 1, 750853	0, 303371 1, 698586	0, 142788 1, 632070	0, 011386 1, 551812	-0, 157980 1, 458421
175°	1, 250999 1, 893847	1, 083351 1, 909039	0, 909039 1, 909039	0, 735391 1, 893847	0, 563728 1, 863578	0, 395356 1, 818463	0, 231557 1, 758845	0, 073577 1, 685177	-0, 077381 1, 598021	-0, 220169 1, 498040

γ_{1p}° γ_{1m}°	265°	270°	275°	280°	285°	290°	295°	300°	305°	310°
180°	1, 174312 1, 992300	1, 000000 2, 000000	0, 825688 1, 992300	0, 652704 1, 969616	0, 482362 1, 879386	0, 315060 1, 879386	0, 154764 1, 812616	0, 000000 1, 732050	-0, 147152 1, 638304	-0, 285576 1, 532088
185°	1, 083351 2, 083351	0, 909039 2, 083351	0, 735391 2, 068159	0, 563728 2, 073780	0, 395356 1, 992775	0, 231557 1, 933157	0, 073577 1, 859489	-0, 077381 1, 772333	-0, 220169 1, 672352	-0, 353700 1, 560307
190°	0, 994808 2, 166038	0, 811160 2, 158456	0, 638833 2, 135769	0, 469140 2, 098149	0, 303371 2, 045882	0, 142788 1, 979366	-0, 011386 1, 899108	-0, 157080 1, 805717	-0, 235875 1, 699907	-0, 424024 1, 582480
195°	0, 879434 2, 239822	0, 707107 2, 224745	0, 536750 2, 194707	0, 369660 2, 149935	0, 207107 2, 090770	0, 050330 2, 017664	-0, 099480 1, 931171	-0, 241281 1, 831951	-0, 373694 1, 720759	-0, 466014 1, 598439
200°	0, 768030 2, 304141	0, 597673 2, 281713	0, 429919 2, 244523	0, 266045 2, 192853	0, 107298 2, 127098	-0, 045115 2, 047757	-0, 190032 1, 955435	-0, 326351 1, 850833	-0, 453035 1, 734748	-0, 569120 1, 608064
205°	0, 658506 2, 368506	0, 483690 2, 328925	0, 319152 2, 284838	0, 159084 2, 226578	0, 004701 2, 154588	-0, 142819 2, 069418	-0, 282354 1, 971714	-0, 412844 1, 862219	-0, 533293 1, 741770	-0, 642788 1, 611280
210°	0, 530563 2, 402503	0, 366025 2, 366025	0, 205293 2, 315347	0, 049589 2, 250852	-0, 099901 2, 173033	-0, 242039 2, 082481	-0, 375745 1, 979884	-0, 500000 1, 866025	-0, 613859 1, 741770	-0, 716456 1, 608064
215°	0, 406308 2, 435796	0, 245576 2, 392728	0, 089208 2, 335815	0, 061603 2, 265491	-0, 205711 2, 182290	-0, 342020 2, 086845	-0, 469491 1, 979884	-0, 587156 1, 862219	-0, 693117 1, 734748	-0, 789562 1, 598439
220°	0, 279624 2, 458135	0, 123256 2, 408832	-0, 028219 2, 346090	-0, 173648 2, 270384	-0, 311927 2, 182290	-0, 442001 2, 082481	-0, 562882 1, 971714	-0, 673649 1, 850833	-0, 773458 1, 720759	-0, 861552 1, 582480
225°	0, 151475 2, 469346	0, 000000 2, 414214	-0, 146093 2, 346090	-0, 285893 2, 265491	-0, 417737 2, 173033	-0, 541221 2, 069418	-0, 655204 1, 955435	-0, 752819 1, 831951	-0, 851277 1, 699907	-0, 931876 1, 560307
230°	0, 022837 2, 469346	-0, 123256 2, 408832	-0, 263520 2, 335815	-0, 396885 2, 250852	-0, 522339 2, 154588	-0, 638925 2, 047757	-0, 745756 1, 931171	-0, 842020 1, 805717	-0, 926893 1, 672352	-1, 000000 1, 532088
235°	-0, 105312 2, 458135	-0, 245576 2, 392728	-0, 379605 2, 315347	-0, 506380 2, 226578	-0, 624936 2, 127098	-0, 734370 2, 017664	-0, 833850 1, 899108	-0, 922619 1, 772333	-1, 000000 1, 638304	-1, 065407 1, 498040
240°	-0, 231996 2, 435796	-0, 366025 2, 366025	-0, 493464 2, 284838	-0, 613341 2, 192853	-0, 724745 2, 090770	-0, 826828 1, 979366	-0, 918813 1, 859489	-1, 000000 1, 732050	-1, 069771 1, 598021	-1, 275596 1, 458421
245°	-0, 366251 2, 402503	-0, 483690 2, 328926	-0, 604231 2, 244523	-0, 716956 2, 149935	-0, 821009 2, 045882	-0, 913597 1, 933157	-1, 000000 1, 812616	-1, 073577 1, 685177	-1, 135766 1, 551812	-1, 160096 1, 413533
250°	-0, 477132 2, 358506	-0, 597673 2, 281713	-0, 710962 2, 194707	-0, 816435 2, 098149	-0, 912994 1, 992775	-1, 000000 1, 879386	-1, 076793 1, 758945	-1, 142788 1, 632070	-1, 197482 1, 500026	-1, 240461 1, 363717
255°	-0, 593718 2, 304141	-0, 707107 2, 224745	-0, 813145 2, 135769	-0, 911024 2, 073780	-1, 000000 1, 931852	-1, 079396 1, 818463	-1, 148607 1, 698566	-1, 207107 1, 573132	-1, 254450 1, 443058	-1, 290277 1, 309352
260°	-0, 705122 2, 239822	-0, 811160 2, 158456	-0, 909703 2, 068159	-1, 000000 1, 969616	-1, 081466 1, 863578	-1, 153180 1, 750853	-1, 214896 1, 632297	-1, 266045 1, 508813	-1, 306236 1, 381342	-1, 335165 1, 250852

265°	-0,810496 2,166038	-0,99039 2,083351	-1,00000 1,992390	-1,082687 1,893847	-1,156471 1,784473	-1,220790 1,677069	-1,275165 1,560483	-1,319152 1,436025	-1,352445 1,315347	-1,374784 1,186063
270°	-0,90039 2,00000	-1,00000 2,00000	-1,083351 1,909039	-1,158456 1,811160	-1,224745 1,707107	-1,281713 1,597073	-1,338926 1,483390	-1,366025 1,366025	-1,392728 1,245576	-1,408832 1,123256
275°	-1,00000 1,992390	-1,083351 1,909039	-1,159120 1,818742	-1,226730 1,722184	-1,285668 1,620101	-1,335484 1,462503	-1,375799 1,402503	-1,403308 1,288644	-1,426776 1,172559	-1,437051 1,055132
280°	-1,082687 1,893847	-1,158456 1,811160	-1,226730 1,722184	-1,285668 1,620101	-1,335484 1,462503	-1,375799 1,402503	-1,403308 1,288644	-1,426776 1,172559	-1,454331 1,096853	-1,459224 0,984808
285°	-1,159471 1,788473	-1,224745 1,707107	-1,285668 1,620101	-1,335484 1,462503	-1,375799 1,402503	-1,403308 1,288644	-1,426776 1,172559	-1,454331 1,096853	-1,475183 0,912818	-1,475183 0,912818
290°	-1,220790 1,677069	-1,281713 1,597073	-1,335484 1,462503	-1,375799 1,402503	-1,403308 1,288644	-1,426776 1,172559	-1,454331 1,096853	-1,475183 0,912818	-1,489172 0,839712	-1,489172 0,839712
295°	-1,275165 1,560483	-1,338926 1,483390	-1,375799 1,402503	-1,403308 1,288644	-1,426776 1,172559	-1,454331 1,096853	-1,475183 0,912818	-1,489172 0,839712	-1,496194 0,766044	-1,488024 0,766044
300°	-1,319152 1,436025	-1,366025 1,366025	-1,403308 1,288644	-1,426776 1,172559	-1,454331 1,096853	-1,475183 0,912818	-1,489172 0,839712	-1,496194 0,766044	-1,496194 0,766044	-1,484808 0,692376
305°	-1,352445 1,315347	-1,392728 1,245576	-1,426776 1,172559	-1,454331 1,096853	-1,475183 0,912818	-1,489172 0,839712	-1,496194 0,766044	-1,496194 0,766044	-1,489172 0,839712	-1,475183 0,912818
310°	-1,374784 1,186063	-1,408832 1,123256	-1,437051 1,055132	-1,459224 0,984808	-1,475183 0,912818	-1,489172 0,839712	-1,496194 0,766044	-1,496194 0,766044	-1,475183 0,912818	-1,459224 0,547280
315°	-1,385995 1,060514	-1,414214 1,00000	-1,437051 0,937258	-1,454331 0,872763	-1,465926 0,807008	-1,475183 0,912818	-1,489172 0,839712	-1,496194 0,766044	-1,454331 0,541451	-1,437051 0,476956
320°	-1,385995 0,931876	-1,408832 0,876744	-1,426776 0,819831	-1,439692 0,761571	-1,447481 0,702406	-1,450084 0,642788	-1,447481 0,583170	-1,439692 0,524005	-1,426776 0,465745	-1,408832 0,408832
325°	-1,374784 0,803727	-1,392728 0,754424	-1,406308 0,703746	-1,415418 0,652076	-1,419991 0,599809	-1,419991 0,547343	-1,415418 0,495076	-1,406308 0,443406	-1,392728 0,392728	-1,374784 0,343425
330°	-1,352445 0,677043	-1,366025 0,633975	-1,375799 0,589687	-1,385663 0,545115	-1,388663 0,500000	-1,381693 0,454885	-1,375799 0,410113	-1,366025 0,366025	-1,352445 0,322927	-1,335165 0,281236
335°	-1,319152 0,552788	-1,328926 0,516310	-1,335484 0,479120	-1,338775 0,441500	-1,338775 0,403736	-1,335484 0,366116	-1,328926 0,328926	-1,319152 0,292448	-1,306236 0,256962	-1,290277 0,222736
340°	-1,275165 0,413907	-1,285668 0,372289	-1,285668 0,32289	-1,285668 0,281713	-1,285668 0,241751	-1,281713 0,202317	-1,275165 0,162045	-1,266045 0,123237	-1,254450 0,086492	-1,240461 0,048471
345°	-1,220790 0,315321	-1,224745 0,262893	-1,226730 0,212026	-1,226730 0,162045	-1,224745 0,114030	-1,220790 0,069980	-1,214896 0,027107	-1,207107 0,018918	-1,197482 0,138278	-1,186096 0,118555
350°	-1,156471 0,203917	-1,158456 0,188840	-1,159120 0,173648	-1,158456 0,158456	-1,156471 0,143379	-1,153180 0,128533	-1,148607 0,114030	-1,142788 0,099980	-1,135766 0,086492	-1,127596 0,073667
355°	-1,082687 0,098543	-1,083351 0,090961	-1,083351 0,083351	-1,082687 0,075769	-1,081466 0,068274	-1,079386 0,060923	-1,076793 0,053771	-1,073577 0,046873	-1,069771 0,042883	-1,065407 0,034048
360°	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000	-1,00000 0,00000

$\frac{1/p}{1/m}$	315°	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°	360°
0°	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
5°	-0,997258 -0,022837	-0,943087 -0,017944	-0,949322 -0,013580	-0,955912 -0,009774	-0,962810 -0,005558	-0,969902 -0,003955	-0,977313 -0,001985	-0,984808 -0,000664	-0,992390 0,000000	-1,000000 0,000000
10°	-0,872763 -0,040117	-0,884827 -0,030860	-0,897652 -0,022690	-0,911140 -0,015668	-0,925190 -0,009849	-0,939693 -0,005276	-0,954539 -0,001985	-0,969616 0,000664	-0,984808 0,000000	-1,000000 0,000000
15°	-0,807008 -0,051712	-0,825662 -0,038649	-0,845385 -0,027263	-0,866025 -0,017638	-0,887426 -0,009849	-0,909424 -0,003955	-0,931832 0,000000	-0,954539 0,001985	-0,977313 0,000000	-1,000000 0,000000
20°	-0,740492 -0,057531	-0,766044 -0,041252	-0,792919 -0,027263	-0,820910 -0,015668	-0,849806 -0,009849	-0,879396 0,000000	-0,909424 0,003955	-0,939693 0,005276	-0,969902 0,009849	-1,000000 0,000000
25°	-0,673722 -0,057531	-0,706426 -0,038649	-0,740652 -0,022690	-0,776138 -0,009774	-0,812616 0,000000	-0,849806 0,005558	-0,887426 0,009849	-0,925190 0,009849	-0,962810 0,005558	-1,000000 0,000000
30°	-0,607206 -0,051712	-0,647261 -0,030860	-0,689982 -0,013580	-0,732050 0,000000	-0,776138 0,009774	-0,820910 0,015668	-0,866025 0,017638	-0,911140 0,015668	-0,955912 0,009774	-1,000000 0,000000
35°	0,541451 -0,040117	-0,589001 -0,017944	-0,638304 0,000000	-0,688982 0,013580	-0,740652 0,022690	-0,792919 0,027263	-0,849806 0,017638	-0,909424 0,015668	-0,969902 0,013580	-1,000000 0,000000
40°	-0,476956 -0,022837	-0,532088 0,000000	-0,589001 0,017944	-0,647261 0,030860	-0,706426 0,038649	-0,766044 0,041252	-0,825662 0,038649	-0,884827 0,030860	-0,943087 0,017944	-1,000000 0,000000
45°	-0,414214 0,000000	-0,476956 0,022837	-0,541451 0,040117	-0,607206 0,051712	-0,673722 0,057531	-0,740492 0,057531	-0,808008 0,051712	-0,872763 0,040117	-0,937258 0,022837	-1,000000 0,000000
50°	-0,353700 0,028219	-0,424024 0,050392	-0,496014 0,066351	-0,569120 0,075976	-0,642788 0,079192	-0,716456 0,075976	-0,789562 0,066351	-0,861552 0,050392	-0,931876 0,028219	-1,000000 0,000000
55°	-0,295875 0,061603	-0,373594 0,082455	-0,453035 0,096444	-0,533293 0,103466	-0,613859 0,103466	-0,694117 0,096444	-0,773458 0,082455	-0,851277 0,061603	-0,926963 0,034048	-1,000000 0,000000
60°	-0,241281 0,099901	-0,326351 0,118783	-0,412844 0,130169	-0,500000 0,133975	-0,587156 0,130169	-0,673649 0,118783	-0,758819 0,099901	-0,842020 0,073667	-0,922619 0,040283	-1,000000 0,000000
65°	-0,190032 -0,142819	-0,282354 0,159098	-0,375745 0,167268	-0,469491 0,167268	-0,562882 0,159098	-0,655204 0,142819	-0,745756 0,118555	-0,833850 0,086492	-0,918813 0,046873	-1,000000 0,000000
70°	-0,142819 0,190032	-0,242039 0,203095	-0,342020 0,207459	-0,442001 0,203095	-0,541221 0,190032	-0,638925 0,168371	-0,734370 0,134370	-0,826828 0,099980	-0,915597 0,053771	-1,000000 0,000000
75°	-0,099901 0,241181	-0,205711 0,250438	-0,311927 0,250438	-0,417737 0,241181	-0,522339 0,222736	-0,624936 0,195246	-0,724745 0,159918	-0,821009 0,114030	-0,912994 0,069923	-1,000000 0,000000
80°	-0,061603 0,295875	-0,173648 0,300568	-0,285693 0,295875	-0,396885 0,281236	-0,506380 0,256962	-0,613341 0,223237	-0,716956 0,180319	-0,816436 0,128533	-0,91024 0,068274	-1,000000 0,000000

85°	-0, 028219 0, 353700	-0, 146093 0, 353700	-0, 268520 0, 343425	-0, 379605 0, 352957	-0, 493464 0, 292448	-0, 604231 0, 252133	-0, 710952 0, 202317	-0, 813145 0, 143379	-0, 909703 0, 075769	-1, 000000 0, 000000
90°	0, 000000 0, 414214	0, 123255 0, 408832	-0, 245576 0, 392728	-0, 366025 0, 366025	-0, 483690 0, 328926	-0, 597673 0, 281713	-0, 707107 0, 224745	-0, 811160 0, 158456	-0, 909039 0, 063351	-1, 000000 0, 000000
95°	0, 022837 0, 476956	-0, 105312 0, 465745	-0, 231996 0, 443406	-0, 356251 0, 410113	-0, 477132 0, 366116	-0, 593718 0, 311751	-0, 705122 0, 247432	-0, 810496 0, 173648	-0, 909039 0, 090961	-1, 000000 0, 000000
100°	0, 040117 0, 541451	-0, 092396 0, 524005	-0, 222886 0, 495076	-0, 350357 0, 454885	-0, 473841 0, 403736	-0, 592397 0, 342020	-0, 705122 0, 270206	-0, 811160 0, 188840	-0, 909703 0, 068543	-1, 000000 0, 000000
105°	0, 051712 0, 607206	-0, 064607 0, 583170	-0, 218513 0, 547343	-0, 348387 0, 500000	-0, 473841 0, 441500	-0, 593718 0, 372289	-0, 707107 0, 292893	-0, 813145 0, 203917	-0, 911024 0, 106038	-1, 000000 0, 000000
110°	0, 057531 0, 673722	-0, 082004 0, 642788	-0, 218313 0, 599809	-0, 350357 0, 545115	-0, 477132 0, 479120	-0, 597673 0, 402327	-0, 710952 0, 315321	-0, 816436 0, 218763	-0, 912994 0, 113389	-1, 000000 0, 000000
115°	0, 057531 0, 740492	-0, 084607 0, 702406	-0, 222886 0, 652076	-0, 356251 0, 589887	-0, 483690 0, 516310	-0, 604231 0, 431907	-0, 716956 0, 337319	-0, 821009 0, 232266	-0, 915597 0, 120541	-1, 000000 0, 000000
120°	0, 051712 0, 807008	-0, 092396 0, 761571	-0, 231996 0, 703746	-0, 366025 0, 633975	-0, 493464 0, 552788	-0, 613341 0, 460803	-0, 724745 0, 358720	-0, 828828 0, 247316	-0, 918813 0, 127439	-1, 000000 0, 000000
125°	0, 040117 0, 872763	-0, 105312 0, 819831	-0, 245576 0, 754424	-0, 379605 0, 677043	-0, 506380 0, 588274	-0, 624936 0, 488794	-0, 734370 0, 379360	-0, 833850 0, 260804	-0, 922619 0, 134029	-1, 000000 0, 000000
130°	0, 022837 0, 937258	-0, 123255 0, 876744	-0, 268520 0, 803727	-0, 396885 0, 718764	-0, 522339 0, 622500	-0, 638925 0, 515669	-0, 745756 0, 399083	-0, 842020 0, 273629	-0, 926983 0, 140254	-1, 000000 0, 000000
135°	0, 000000 1, 000000	-0, 146093 0, 931876	-0, 285693 0, 851277	-0, 417787 0, 788819	-0, 541221 0, 655204	-0, 635204 0, 541221	-0, 758819 0, 417737	-0, 851277 0, 285693	-0, 931876 0, 146093	-1, 000000 0, 000000
140°	-0, 028219 1, 060514	-0, 173648 0, 984808	-0, 311927 0, 896714	-0, 442001 0, 796905	-0, 562882 0, 686138	-0, 673649 0, 565257	-0, 773458 0, 435183	-0, 861552 0, 296904	-0, 937258 0, 151475	-1, 000000 0, 000000
145°	-0, 061603 1, 118339	-0, 205711 1, 035138	-0, 342020 0, 939693	-0, 469491 0, 832732	-0, 587156 0, 715067	-0, 694117 0, 587596	-0, 789562 0, 451287	-0, 872763 0, 307179	-0, 943087 0, 156368	-1, 000000 0, 000000
150°	-0, 099901 1, 173033	-0, 242039 1, 082481	-0, 373745 0, 979884	-0, 500000 0, 860025	-0, 613859 0, 741770	-0, 716456 0, 609064	-0, 807008 0, 465926	-0, 884827 0, 316436	-0, 949322 0, 160752	-1, 000000 0, 000000
155°	-0, 142819 1, 224182	-0, 282354 1, 126478	-0, 412844 1, 016983	-0, 535293 0, 896534	-0, 642788 0, 766044	-0, 740492 0, 626509	-0, 825662 0, 478989	-0, 897652 0, 324606	-0, 95912 0, 164538	-1, 000000 0, 000000
160°	-0, 190032 1, 271395	-0, 326351 1, 166793	-0, 453035 1, 050708	-0, 569120 0, 924024	-0, 673722 0, 787705	-0, 766044 0, 642788	-0, 845385 0, 490375	-0, 911140 0, 331628	-0, 962810 0, 167754	-1, 000000 0, 000000
165°	-0, 241281 1, 314313	-0, 373694 1, 203121	-0, 496014 1, 080801	-0, 607206 0, 948288	-0, 706426 0, 805587	-0, 792919 0, 656777	-0, 866025 0, 500000	-0, 925190 0, 337447	-0, 969662 0, 170357	-1, 000000 0, 000000
170°	-0, 295875 1, 352511	-0, 424024 1, 235184	-0, 541451 1, 107035	-0, 647261 0, 969140	-0, 740362 0, 822546	-0, 820910 0, 668372	-0, 887426 0, 507789	-0, 939693 0, 342020	-0, 977313 0, 172327	-1, 000000 0, 000000
175°	-0, 353700 1, 385995	-0, 476956 1, 262739	-0, 589001 1, 129208	-0, 689882 0, 986420	-0, 776138 0, 835462	-0, 849806 0, 677482	-0, 909424 0, 513683	-0, 954539 0, 345311	-0, 984808 0, 173648	-1, 000000 0, 000000

$\frac{\gamma_{\text{in}}}{\gamma_{\text{out}}}$	γ_{in}°	$\gamma_{\text{out}}^\circ$	315°	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°	360°
180°	-0,414214 1,414214	-0,532088 1,285576	-0,638304 1,147152	-0,732050 1,000000	-0,812616 0,845236	-0,879386 0,684040	-0,931832 0,517638	-0,969616 0,347296	-0,992390 0,174312	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
185°	-0,476956 1,437051	-0,589001 1,303520	-0,688982 1,160732	-0,776138 1,009774	-0,845986 0,851794	-0,904924 0,687995	-0,954539 0,519623	-0,984808 0,347950	-1,000000 0,174312	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
190°	-0,541451 1,454331	-0,647261 1,316436	-0,740652 1,169942	-0,820910 1,015668	-0,887426 0,835085	-0,939893 0,689316	-0,977313 0,519623	-1,000000 0,347296	-1,000000 0,174312	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000	-1,000000 0,000000
195°	-0,607206 1,465926	-0,706426 1,324225	-0,792919 1,174415	-0,866025 1,017638	-0,925190 0,855085	-0,969862 0,687995	-1,000000 0,517638	-1,015077 0,345311	-1,015077 0,172327	-1,015077 0,000000	-1,015077 0,000000	-1,015077 0,000000
200°	-0,673722 1,471745	-0,766044 1,326828	-0,845385 1,174415	-0,911140 1,015668	-0,962810 0,851794	-1,000000 0,684040	-1,022428 0,513683	-1,029923 0,342020	-1,022428 0,170357	-1,022428 0,000000	-1,022428 0,000000	-1,022428 0,000000
205°	-0,740492 1,471745	-0,825662 1,324225	-0,897652 1,169842	-0,955912 1,009774	-1,000000 0,845236	-1,029580 0,677482	-1,044426 0,507789	-1,044426 0,337447	-1,029580 0,167754	-1,029580 0,000000	-1,029580 0,000000	-1,029580 0,000000
210°	-0,807008 1,465926	-0,884827 1,316436	-0,949322 1,160732	-1,000000 1,000000	-1,036478 0,835462	-1,058476 0,668372	-1,065827 0,500000	-1,058476 0,331628	-1,036478 0,164538	-1,036478 0,000000	-1,036478 0,000000	-1,036478 0,000000
215°	-0,872763 1,454331	-0,943087 1,303520	-1,000000 1,147152	-1,043068 0,984220	-1,071964 0,822546	-1,086467 0,656777	-1,086467 0,490375	-1,071964 0,324606	-1,043087 0,160732	-1,043087 0,000000	-1,043087 0,000000	-1,043087 0,000000
220°	-0,937258 1,437051	-1,000000 1,285576	-1,049303 1,129208	-1,084789 0,969140	-1,106190 0,805587	-1,113342 0,642788	-1,106190 0,478989	-1,084789 0,316436	-1,049303 0,156368	-1,049303 0,000000	-1,049303 0,000000	-1,049303 0,000000
225°	-1,000000 1,414214	-1,055132 1,202739	-1,096853 1,107035	-1,124844 0,948288	-1,138894 0,787705	-1,138894 0,625509	-1,124844 0,465926	-1,096853 0,307179	-1,055132 0,151475	-1,055132 0,000000	-1,055132 0,000000	-1,055132 0,000000
230°	-1,060514 1,385995	-1,108064 1,235184	-1,142290 1,080801	-1,162930 0,924024	-1,169828 0,766044	-1,162930 0,608064	-1,142290 0,451287	-1,108064 0,296904	-1,060514 0,146093	-1,060514 0,000000	-1,060514 0,000000	-1,060514 0,000000
235°	-1,118339 1,352611	-1,158394 1,203121	-1,185269 1,050708	-1,198757 0,895534	-1,198757 0,741770	-1,185269 0,587596	-1,158394 0,435183	-1,118339 0,285593	-1,065407 0,140264	-1,065407 0,000000	-1,065407 0,000000	-1,065407 0,000000
240°	-1,173033 1,314313	-1,205737 1,166793	-1,225460 1,016983	-1,232050 0,866025	-1,225460 0,715067	-1,205737 0,565257	-1,173033 0,417737	-1,118339 0,273529	-1,069771 0,134029	-1,069771 0,000000	-1,069771 0,000000	-1,069771 0,000000
245°	-1,224182 1,271395	-1,249734 1,126478	-1,262559 0,979884	-1,262559 0,832732	-1,249734 0,686136	-1,224182 0,541221	-1,186096 0,399083	-1,135766 0,260804	-1,073577 0,127439	-1,073577 0,000000	-1,073577 0,000000	-1,073577 0,000000
250°	-1,271395 1,224182	-1,290049 1,082481	-1,296284 0,939593	-1,290049 0,799005	-1,271395 0,655204	-1,240461 0,515669	-1,197482 0,379360	-1,142788 0,247316	-1,076793 0,120541	-1,076793 0,000000	-1,076793 0,000000	-1,076793 0,000000
255°	-1,314313 1,173033	-1,326377 1,085138	-1,326377 0,896714	-1,314315 0,758819	-1,290277 0,622500	-1,240461 0,488794	-1,207107 0,358720	-1,148607 0,232266	-1,079396 0,113389	-1,079396 0,000000	-1,079396 0,000000	-1,079396 0,000000
260°	-1,352611 1,15339	-1,352611 0,984608	-1,352611 0,851277	-1,335165 0,718764	-1,305236 0,588274	-1,266045 0,460803	-1,214896 0,337319	-1,153180 0,218763	-1,081466 0,106038	-1,081466 0,000000	-1,081466 0,000000	-1,081466 0,000000

ТАБЛИЦА II

$$\left. \begin{aligned} x &= (r-1)(1-\cos \gamma) \\ y &= -(r-1)\sin \gamma \end{aligned} \right\}$$

В первых строчках таблицы даны значения x_k^I и x_k^{II}

Во вторых строчках таблицы даны значения y_k^I и y_k^{II}

$$1 \leq r \leq 2$$

$$0^\circ \leq \gamma \leq 360^\circ$$

$$\left. \begin{aligned} x_k &= (r_{jp}-1)(1-\cos \gamma_{nm}) - [(r_{jq}-1)(1-\cos \gamma_{nl})] = x_k^I - x_k^{II} \\ y_k &= -(r_{jp}-1)\sin \gamma_{nm} - [-(r_{jq}-1)\sin \gamma_{nl}] = y_k^I - y_k^{II} \end{aligned} \right\}$$

Примечание. Значения x_k^I , x_k^{II} , y_k^I и y_k^{II} брать с теми знаками, с какими они даны в таблицах.

γ° r	0°	2°	4°	5°	6°	8°	10°	12°	14°	15°	16°
1,00	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000
1,02	0,000000 0,000000	0,000012 -0,000698	0,000048 -0,001395	0,000076 -0,001743	0,000109 -0,002091	0,000195 -0,002784	0,000304 -0,003473	0,00043 -0,00415	0,000594 -0,004838	0,000682 -0,005176	0,000775 -0,005513
1,04	0,000000 0,000000	0,000024 -0,001396	0,000097 -0,002790	0,000152 -0,003486	0,000219 -0,004181	0,000389 -0,005567	0,000508 -0,006946	0,00087 -0,00831	0,001188 -0,009677	0,001363 -0,010353	0,001549 -0,011025
1,05	0,000000 0,000000	0,000030 -0,001745	0,000122 -0,003488	0,000190 -0,004358	0,000274 -0,005225	0,000487 -0,006959	0,000759 -0,008682	0,001062 -0,01039	0,001485 -0,012096	0,001704 -0,012941	0,001937 -0,013782
1,06	0,000000 0,000000	0,000036 -0,002094	0,000146 -0,004185	0,000228 -0,005229	0,000329 -0,006272	0,000584 -0,008350	0,000912 -0,010419	0,00131 -0,01247	0,001782 -0,014515	0,002044 -0,015529	0,002324 -0,016538
1,08	0,000000 0,000000	0,000048 -0,002792	0,000195 -0,005580	0,000304 -0,006972	0,000438 -0,008362	0,000779 -0,011134	0,001215 -0,013892	0,00174 -0,01663	0,002376 -0,019354	0,002726 -0,020706	0,003099 -0,022051
1,10	0,000000 0,000000	0,000060 -0,003489	0,000244 -0,006976	0,000380 -0,008716	0,000548 -0,010453	0,000973 -0,013917	0,001519 -0,017365	0,00218 -0,02079	0,002970 -0,024192	0,003407 -0,025882	0,003874 -0,027564
1,12	0,000000 0,000000	0,000073 -0,004187	0,000292 -0,008370	0,000457 -0,010459	0,000657 -0,012543	0,001168 -0,016701	0,001823 -0,020838	0,00262 -0,02494	0,003565 -0,029031	0,004089 -0,031058	0,004649 -0,033077
1,14	0,000000 0,000000	0,000085 -0,004885	0,000341 -0,009766	0,000533 -0,01220	0,000767 -0,014634	0,001363 -0,019484	0,002127 -0,024311	0,00305 -0,02910	0,004159 -0,033869	0,004770 -0,036235	0,005423 -0,038589
1,15	0,000000 0,000000	0,000091 -0,005234	0,000365 -0,010463	0,000571 -0,013073	0,000822 -0,015679	0,001459 -0,020876	0,002279 -0,026048	0,00327 -0,03118	0,004456 -0,036289	0,005111 -0,038823	0,005811 -0,041346
1,16	0,000000 0,000000	0,000097 -0,005583	0,000389 -0,011161	0,000609 -0,013945	0,000876 -0,016724	0,001557 -0,022268	0,002431 -0,027789	0,00349 -0,03326	0,004753 -0,038708	0,005452 -0,041411	0,006198 -0,044102
1,18	0,000000 0,000000	0,000109 -0,006282	0,000438 -0,012556	0,000685 -0,015688	0,000986 -0,018815	0,001752 -0,025051	0,002735 -0,031257	0,00393 -0,03742	0,005347 -0,043546	0,006133 -0,046587	0,006973 -0,049615
1,20	0,000000 0,000000	0,000122 -0,006979	0,000487 -0,013951	0,000761 -0,017431	0,001096 -0,020906	0,001946 -0,027835	0,003038 -0,034729	0,004370 -0,041582	0,005941 -0,048384	0,006815 -0,051764	0,007748 -0,055127
1,22	0,000000 0,000000	0,000134 -0,007678	0,000536 -0,015346	0,000837 -0,019174	0,001205 -0,022996	0,002141 -0,030618	0,003342 -0,038293	0,004807 -0,045741	0,006535 -0,053223	0,007496 -0,059940	0,008522 -0,066640
1,24	0,000000 0,000000	0,000146 -0,008378	0,000585 -0,016743	0,000913 -0,020917	0,001315 -0,025087	0,002336 -0,033462	0,003646 -0,041676	0,005244 -0,049899	0,007423 -0,058061	0,008978 -0,066117	0,009923 -0,069153

1, 22	0, 000000 0, 000000	0, 000134 -0, 007078	0, 000536 -0, 015346	0, 000837 -0, 019174	0, 001205 0, 022006	0, 002141 0, 030618	0, 003342 0, 038203	0, 004807 0, 045741	0, 005535 0, 053223	0, 007496 -0, 055940	0, 008522 0, 060340
1, 24	0, 000000 0, 000000	0, 000146 -0, 008376	0, 000585 -0, 016742	0, 000913 -0, 020917	0, 001315 -0, 025087	0, 002336 -0, 033402	0, 003646 -0, 041676	0, 005244 -0, 049899	0, 007129 -0, 058061	0, 008378 -0, 062117	0, 009367 -0, 066153
1, 25	0, 000000 0, 000000	0, 000152 -0, 008724	0, 000609 -0, 017439	0, 000951 -0, 021789	0, 001369 -0, 025132	0, 002433 -0, 034793	0, 003798 -0, 043412	0, 005463 -0, 051978	0, 007426 -0, 060480	0, 008519 -0, 064705	0, 009685 -0, 068909
1, 26	0, 000000 0, 000000	0, 000158 -0, 009074	0, 000633 -0, 018137	0, 000989 -0, 022661	0, 001424 -0, 027177	0, 002530 -0, 036185	0, 003949 -0, 045149	0, 005582 -0, 054057	0, 007723 -0, 062899	0, 008859 -0, 067293	0, 010072 -0, 071666
1, 28	0, 000000 0, 000000	0, 000171 -0, 009772	0, 000682 -0, 019532	0, 001065 -0, 024404	0, 001534 -0, 029267	0, 002725 -0, 038968	0, 004254 -0, 048621	0, 006119 -0, 058215	0, 008317 -0, 067738	0, 009541 -0, 072469	0, 010847 -0, 077178
1, 30	0, 000000 0, 000000	0, 000183 -0, 010469	0, 000731 -0, 020927	0, 001142 -0, 026147	0, 001643 -0, 031358	0, 002919 -0, 041752	0, 004558 -0, 052094	0, 006556 -0, 062374	0, 008911 -0, 072577	0, 010222 -0, 077646	0, 011621 -0, 082691
1, 32	0, 000000 0, 000000	0, 000195 -0, 011168	0, 000779 -0, 022322	0, 001218 -0, 027889	0, 001753 -0, 033449	0, 003114 -0, 044535	0, 004861 -0, 055567	0, 006993 -0, 066532	0, 009505 -0, 077415	0, 010904 -0, 082822	0, 012395 -0, 088204
1, 34	0, 000000 0, 000000	0, 000207 -0, 011866	0, 000828 -0, 023717	0, 001294 -0, 029633	0, 001863 -0, 035539	0, 003309 -0, 047319	0, 005165 -0, 059040	0, 007429 -0, 070090	0, 010099 -0, 082253	0, 011585 -0, 087999	0, 013171 -0, 093717
1, 35	0, 000000 0, 000000	0, 000213 -0, 012215	0, 000853 -0, 024415	0, 001332 -0, 030505	0, 001917 -0, 036585	0, 003403 -0, 048710	0, 005317 -0, 060777	0, 007648 -0, 072769	0, 010396 -0, 084673	0, 011926 -0, 090587	0, 013558 -0, 096473
1, 36	0, 000000 0, 000000	0, 000219 -0, 012564	0, 000877 -0, 025112	0, 001369 -0, 031376	0, 001972 -0, 037630	0, 003504 -0, 050102	0, 005469 -0, 062513	0, 007867 -0, 074848	0, 010693 -0, 087092	0, 012267 -0, 093175	0, 013946 -0, 099229
1, 38	0, 000000 0, 000000	0, 000231 -0, 013262	0, 000926 -0, 026507	0, 001446 -0, 033119	0, 002082 -0, 039721	0, 003698 -0, 052886	0, 005773 -0, 065986	0, 008304 -0, 079007	0, 011288 -0, 091930	0, 012948 -0, 098351	0, 014720 -0, 104742
1, 40	0, 000000 0, 000000	0, 000244 -0, 013959	0, 000974 -0, 027902	0, 001522 -0, 034862	0, 002191 -0, 041811	0, 003893 -0, 055669	0, 006077 -0, 069459	0, 008741 -0, 083165	0, 011882 -0, 096769	0, 013629 -0, 103528	0, 015495 -0, 110255
1, 42	0, 000000 0, 000000	0, 000256 -0, 014658	0, 001023 -0, 029297	0, 001598 -0, 036606	0, 002301 -0, 043992	0, 004087 -0, 058453	0, 006381 -0, 072932	0, 009178 -0, 087323	0, 012476 -0, 101607	0, 014311 -0, 108704	0, 016270 -0, 115768
1, 44	0, 000000 0, 000000	0, 000268 -0, 015356	0, 001072 -0, 030693	0, 001674 -0, 038349	0, 002410 -0, 045992	0, 004282 -0, 061236	0, 006685 -0, 076405	0, 009615 -0, 091481	0, 013059 -0, 106446	0, 014993 -0, 113880	0, 017045 -0, 121281
1, 45	0, 000000 0, 000000	0, 000274 -0, 015705	0, 001096 -0, 031390	0, 001712 -0, 039220	0, 002465 -0, 047038	0, 004379 -0, 062628	0, 006836 -0, 078142	0, 009833 -0, 093560	0, 013367 -0, 108865	0, 015333 -0, 116469	0, 017432 -0, 124037
1, 46]	0, 000000 0, 000000	0, 000280 -0, 016054	0, 001121 -0, 032088	0, 001750 -0, 040092	0, 002519 -0, 048083	0, 004477 -0, 064019	0, 006988 -0, 079878	0, 010052 -0, 095639	0, 013664 -0, 111284	0, 015674 -0, 119037	0, 017819 -0, 126794

r, θ	0°	2°	4°	5°	6°	8°	10°	12°	14°	15°	16°
1.48	0, 000000 0, 000000	0, 000292 -0, 016752	0, 001169 -0, 033483	0, 001826 -0, 041835	0, 002629 -0, 050173	0, 004671 -0, 066803	0, 007292 -0, 083351	0, 010489 -0, 099798	0, 014258 -0, 116123	0, 016355 -0, 124233	0, 018594 -0, 132306
1.50	0, 000000 0, 000000	0, 000305 -0, 017449	0, 001218 -0, 034578	0, 001903 -0, 043578	0, 002739 -0, 052264	0, 004866 -0, 069587	0, 007596 -0, 086824	0, 010926 -0, 103956	0, 014852 -0, 120961	0, 017037 -0, 129409	0, 019369 -0, 137819
1.52	0, 000000 0, 000000	0, 000317 -0, 018148	0, 001267 -0, 036273	0, 001979 -0, 045321	0, 002849 -0, 054355	0, 005060 -0, 072370	0, 007899 -0, 090297	0, 011363 -0, 108114	0, 015446 -0, 125799	0, 017719 -0, 134586	0, 020144 -0, 143331
1.54	0, 000000 0, 000000	0, 000329 -0, 018846	0, 001315 -0, 037668	0, 002055 -0, 047064	0, 002958 -0, 056445	0, 005255 -0, 075153	0, 008204 -0, 093769	0, 011800 -0, 112273	0, 016040 -0, 130638	0, 018400 -0, 139762	0, 020919 -0, 148844
1.55	0, 000000 0, 000000	0, 000335 -0, 019194	0, 001339 -0, 038366	0, 002093 -0, 047936	0, 003013 -0, 057490	0, 005353 -0, 076545	0, 008356 -0, 095506	0, 012019 -0, 114352	0, 016337 -0, 133057	0, 018741 -0, 142350	0, 021306 -0, 151600
1.56	0, 000000 0, 000000	0, 000341 -0, 019543	0, 001364 -0, 039063	0, 002131 -0, 048807	0, 003068 -0, 058536	0, 005449 -0, 077937	0, 008508 -0, 097243	0, 012230 -0, 116431	0, 016634 -0, 135476	0, 019081 -0, 144939	0, 021693 -0, 154357
1.58	0, 000000 0, 000000	0, 000353 -0, 020241	0, 001413 -0, 040459	0, 002207 -0, 050551	0, 003177 -0, 060626	0, 005645 -0, 080720	0, 008811 -0, 100716	0, 012674 -0, 120589	0, 017228 -0, 140315	0, 019763 -0, 150115	0, 022468 -0, 159869
1.60	0, 000000 0, 000000	0, 000365 -0, 020939	0, 001462 -0, 041854	0, 002283 -0, 052294	0, 003287 -0, 062717	0, 005839 -0, 083504	0, 009115 -0, 104188	0, 013111 -0, 124747	0, 017822 -0, 145153	0, 020444 -0, 155291	0, 023243 -0, 165382
1.62	0, 000000 0, 000000	0, 000378 -0, 021637	0, 001510 -0, 043249	0, 002359 -0, 054037	0, 003396 -0, 064807	0, 006034 -0, 086287	0, 009419 -0, 107662	0, 013548 -0, 128905	0, 018417 -0, 149992	0, 021126 -0, 160468	0, 024018 -0, 170895
1.64	0, 000000 0, 000000	0, 000389 -0, 022335	0, 001559 -0, 044643	0, 002435 -0, 055779	0, 003506 -0, 066897	0, 006229 -0, 089071	0, 009723 -0, 111135	0, 013985 -0, 133084	0, 019011 -0, 154830	0, 021808 -0, 165644	0, 024792 -0, 176408
1.65	0, 000000 0, 000000	0, 000396 -0, 022684	0, 001583 -0, 045341	0, 002473 -0, 056651	0, 003561 -0, 067943	0, 006326 -0, 090462	0, 009875 -0, 112871	0, 014204 -0, 135143	0, 019308 -0, 157249	0, 022148 -0, 168239	0, 025179 -0, 179164
1.66	0, 000000 0, 000000	0, 000402 -0, 023033	0, 001608 -0, 046039	0, 002511 -0, 057523	0, 003616 -0, 068989	0, 006423 -0, 091854	0, 010027 -0, 114608	0, 014422 -0, 137222	0, 019605 -0, 159669	0, 022489 -0, 170621	0, 025567 -0, 181920
1.68	0, 000000 0, 000000	0, 000414 -0, 023731	0, 001657 -0, 047434	0, 002587 -0, 059266	0, 003725 -0, 071079	0, 006618 -0, 094638	0, 010331 -0, 118081	0, 014859 -0, 141380	0, 020199 -0, 164507	0, 023170 -0, 175997	0, 026342 -0, 187433
1.70	0, 000000 0, 000000	0, 000426 -0, 024429	0, 001705 -0, 048829	0, 002664 -0, 061009	0, 003835 -0, 073169	0, 006812 -0, 097421	0, 010634 -0, 121554	0, 015296 -0, 145538	0, 020793 -0, 169345	0, 023852 -0, 181173	0, 027117 -0, 192946
1.72	0, 000000 0, 000000	0, 000439 -0, 025127	0, 001754 -0, 050224	0, 002739 -0, 062752	0, 003944 -0, 075260	0, 007007 -0, 100205	0, 010938 -0, 125027	0, 015733 -0, 149697	0, 021387 -0, 174184	0, 024533 -0, 186349	0, 027891 -0, 198459
1.74	0, 000000 0, 000000	0, 000451 -0, 025825	0, 001803 -0, 051619	0, 002816 -0, 064495	0, 004054 -0, 077351	0, 007202 -0, 102988	0, 011242 -0, 128499	0, 016171 -0, 153835	0, 021981 -0, 179222	0, 025219 -0, 191526	0, 028666 -0, 203971

1, 1/4	0, 000000	-0, 025825	-0, 051619	-0, 064495	-0, 077351	-0, 102988	-0, 128499	-0, 153855	-0, 179022	-0, 204219	-0, 228665
1, 75	0, 000000	0, 000457	0, 001827	0, 002854	0, 004109	0, 007299	0, 011394	0, 016389	0, 022278	0, 025556	0, 029054
	0, 000000	-0, 026174	-0, 052317	-0, 085367	-0, 078396	-0, 104379	-0, 130236	-0, 155934	-0, 181442	-0, 194114	-0, 206728
1, 76	0, 000000	0, 000463	0, 001851	0, 002892	0, 004163	0, 007396	0, 011546	0, 016608	0, 022575	0, 025896	0, 029441
	0, 000000	-0, 026523	-0, 053015	-0, 086239	-0, 079441	-0, 105772	-0, 131973	-0, 158013	-0, 183861	-0, 196702	-0, 209484
1, 78	0, 000000	0, 000475	0, 001900	0, 002968	0, 004273	0, 007591	0, 011849	0, 017045	0, 023169	0, 026578	0, 030216
	0, 000000	-0, 027221	-0, 054409	-0, 087982	-0, 081532	-0, 108555	-0, 135445	-0, 162171	-0, 188699	-0, 201879	-0, 214997
1, 80	0, 000000	0, 000487	0, 001949	0, 003044	0, 004382	0, 007786	0, 012154	0, 017482	0, 023763	0, 027259	0, 030990
	0, 000000	-0, 027919	-0, 055805	-0, 089725	-0, 083622	-0, 111338	-0, 138918	-0, 166329	-0, 193538	-0, 207055	-0, 220509
1, 82	0, 000000	0, 000499	0, 001988	0, 003120	0, 004492	0, 007980	0, 012457	0, 017919	0, 024357	0, 027941	0, 031765
	0, 000000	-0, 028517	-0, 057199	-0, 091458	-0, 085713	-0, 114122	-0, 142391	-0, 170488	-0, 198376	-0, 212252	-0, 226022
1, 84	0, 000000	0, 000512	0, 002046	0, 003196	0, 004602	0, 008175	0, 012761	0, 018356	0, 024951	0, 028622	0, 032539
	0, 000000	-0, 029315	-0, 058595	-0, 093211	-0, 087804	-0, 116905	-0, 145864	-0, 174646	-0, 203215	-0, 217408	-0, 231554
1, 85	0, 000000	0, 000518	0, 002071	0, 003234	0, 004656	0, 008272	0, 012913	0, 018574	0, 025248	0, 028963	0, 032927
	0, 000000	-0, 029654	-0, 059293	-0, 094083	-0, 088849	-0, 118297	-0, 147601	-0, 176725	-0, 205634	-0, 219996	-0, 234291
1, 86	0, 000000	0, 000524	0, 002095	0, 003272	0, 004711	0, 008369	0, 013065	0, 018793	0, 025545	0, 029304	0, 033315
	0, 000000	-0, 030013	-0, 059990	-0, 094954	-0, 089894	-0, 119689	-0, 149337	-0, 178804	-0, 208053	-0, 222584	-0, 237048
1, 88	0, 000000	0, 000536	0, 002144	0, 003348	0, 004821	0, 008564	0, 013369	0, 019229	0, 026139	0, 029985	0, 034089
	0, 000000	-0, 030711	-0, 061385	-0, 096697	-0, 091985	-0, 122472	-0, 152810	-0, 182963	-0, 212891	-0, 227761	-0, 242561
1, 90	0, 000000	0, 000548	0, 002192	0, 003425	0, 004930	0, 008759	0, 013673	0, 019568	0, 026734	0, 030667	0, 034864
	0, 000000	-0, 031409	-0, 062780	-0, 098440	-0, 094075	-0, 125256	-0, 156283	-0, 187121	-0, 217729	-0, 232937	-0, 248073
1, 92	0, 000000	0, 000560	0, 002241	0, 003501	0, 005039	0, 008953	0, 013977	0, 020104	0, 027328	0, 031348	0, 035539
	0, 000000	-0, 032107	-0, 064176	-0, 098184	-0, 095165	-0, 128039	-0, 159756	-0, 191279	-0, 222568	-0, 238114	-0, 253585
1, 94	0, 000000	0, 000573	0, 002289	0, 003577	0, 005149	0, 009148	0, 014281	0, 020541	0, 027922	0, 032029	0, 036414
	0, 000000	-0, 032805	-0, 065571	-0, 098197	-0, 098255	-0, 130823	0, 163229	0, 195437	0, 227407	0, 243289	-0, 259099
1, 95	0, 000000	0, 000579	0, 002314	0, 003615	0, 005204	0, 009245	0, 014432	0, 020759	0, 028219	0, 032370	0, 036801
	0, 000000	-0, 033154	-0, 066268	-0, 098298	-0, 099301	-0, 132214	-0, 164966	-0, 197516	-0, 229826	-0, 245878	-0, 261855
1, 96	0, 000000	0, 000585	0, 002339	0, 003653	0, 005259	0, 009343	0, 014584	0, 020978	0, 028516	0, 032711	0, 037189
	0, 000000	-0, 033503	-0, 066966	-0, 098369	-0, 100347	-0, 133606	-0, 166702	-0, 199596	-0, 232245	-0, 248466	-0, 264612
1, 98	0, 000000	0, 000597	0, 002387	0, 003729	0, 005368	0, 009537	0, 014882	0, 021415	0, 029109	0, 033393	0, 037963
	0, 000000	-0, 034201	-0, 068361	-0, 098543	-0, 102437	-0, 136389	-0, 170175	-0, 203754	-0, 237084	-0, 253643	-0, 270124
2, 00	0, 000000	0, 000609	0, 002436	0, 003805	0, 005478	0, 009732	0, 015192	0, 021852	0, 029704	0, 034074	0, 038738
	0, 000000	-0, 034899	-0, 069756	-0, 098715	-0, 104538	-0, 139173	-0, 173048	-0, 207912	-0, 241922	-0, 258819	-0, 275537

γ°	18°	20°	22°	24°	25°	26°	28°	30°	32°	34°	35°	36°
1,00	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000
1,02	0,000979 -0,006180	0,001206 -0,006840	0,001456 -0,007492	0,001729 -0,008134	0,001874 -0,008452	0,002024 -0,008767	0,002341 -0,009389	0,002579 -0,010000	0,003039 -0,010598	0,003419 -0,011183	0,003617 -0,011471	0,003819 -0,011755
1,04	0,001958 -0,012361	0,002412 -0,013681	0,002913 -0,014984	0,003458 -0,016269	0,003748 -0,016905	0,004048 -0,017535	0,004582 -0,018778	0,005359 -0,020000	0,006078 -0,021196	0,006838 -0,022367	0,007233 -0,022943	0,007639 -0,023511
1,05	0,002447 -0,015451	0,003016 -0,017101	0,003641 -0,018731	0,004323 -0,020337	0,004685 -0,021131	0,005060 -0,021912	0,005852 -0,023473	0,006698 -0,025000	0,007597 -0,026496	0,008548 -0,027959	0,009042 -0,028678	0,009549 -0,029389
1,06	0,002937 -0,018541	0,003618 -0,020521	0,004369 -0,022476	0,005187 -0,024404	0,005622 -0,025357	0,006072 -0,026302	0,007023 -0,028168	0,008038 -0,030000	0,009117 -0,031795	0,010257 -0,033551	0,010850 -0,034414	0,011459 -0,035267
1,08	0,003915 -0,024721	0,004824 -0,027362	0,005825 -0,029969	0,006916 -0,032539	0,007495 -0,033809	0,008097 -0,035069	0,009364 -0,037557	0,010718 -0,040000	0,012156 -0,042393	0,013677 -0,044735	0,014467 -0,045886	0,015278 -0,047022
1,10	0,004894 -0,030902	0,006031 -0,034202	0,007282 -0,037461	0,008646 -0,040674	0,009369 -0,042262	0,010121 -0,043837	0,011705 -0,046947	0,013397 -0,050000	0,015195 -0,052991	0,017096 -0,055919	0,018084 -0,057357	0,019028 -0,058778
1,12	0,005873 -0,037082	0,007237 -0,041042	0,008738 -0,044953	0,010374 -0,048808	0,011243 -0,050714	0,012145 -0,052605	0,014046 -0,056336	0,016077 -0,060000	0,018234 -0,063590	0,020515 -0,067103	0,021701 -0,068829	0,022918 -0,070534
1,14	0,006852 -0,043262	0,008443 -0,047883	0,010194 -0,052445	0,012104 -0,056943	0,013117 -0,059167	0,014169 -0,061372	0,016387 -0,065726	0,018756 -0,070000	0,021273 -0,074188	0,023934 -0,078287	0,025318 -0,080300	0,026737 -0,082289
1,15	0,007341 -0,046353	0,009046 -0,051303	0,010924 -0,056191	0,012968 -0,061010	0,014054 -0,063393	0,015181 -0,065756	0,017557 -0,070420	0,020086 -0,075000	0,022792 -0,079487	0,025644 -0,083879	0,027127 -0,086036	0,028647 -0,088167
1,16	0,007831 -0,049443	0,009649 -0,054723	0,011651 -0,059937	0,013833 -0,065078	0,014991 -0,067619	0,016193 -0,070139	0,021069 -0,084505	0,024115 -0,090000	0,027351 -0,095385	0,030773 -0,100654	0,032552 -0,103243	0,034376 -0,105801
1,18	0,008809 -0,055523	0,010855 -0,061564	0,013107 -0,067429	0,015562 -0,073213	0,016865 -0,076071	0,018217 -0,078907	0,021728 -0,084524	0,024436 -0,090000	0,027353 -0,094787	0,029935 -0,099470	0,031972 -0,104169	0,033557 -0,108405
1,20	0,009789 -0,061803	0,012061 -0,068404	0,014563 -0,074921	0,017291 -0,081347	0,018738 -0,084524	0,020241 -0,087674	0,023410 -0,093894	0,026795 -0,100000	0,030390 -0,105983	0,034192 -0,111838	0,036169 -0,114715	0,038196 -0,117557
1,22	0,010767 -0,067984	0,013268 -0,075244	0,016019 -0,082414	0,019020 -0,089482	0,020612 -0,092976	0,022265 -0,096442	0,025751 -0,103283	0,029474 -0,110000	0,033429 -0,116582	0,037611 -0,123022	0,039786 -0,126186	0,042016 -0,129132
1,24	0,011746 -0,074164	0,014474 -0,082085	0,017476 -0,089906	0,020749 -0,097617	0,022486 -0,101428	0,024289 -0,105209	0,028092 -0,112673	0,032154 -0,120000	0,036468 -0,127180	0,041030 -0,134206	0,043403 -0,137658	0,045835 -0,141068

1,25	0,012236 -0,077254	0,015077 -0,085505	0,018204 -0,093652	0,021614 -0,101684	0,023423 -0,105655	0,025302 -0,109593	0,029263 -0,117368	0,033493 -0,125000	0,037988 -0,132479	0,042740 -0,139798	0,045212 -0,143394	0,047745 -0,146946
1,26	0,012725 -0,080344	0,015079 -0,083925	0,018932 -0,097397	0,022478 -0,105752	0,024359 -0,109881	0,026314 -0,113977	0,030433 -0,122067	0,034833 -0,130000	0,039507 -0,137778	0,044450 -0,145390	0,047020 -0,149129	0,049655 -0,152824
1,28	0,013704 -0,086525	0,016886 -0,095766	0,020389 -0,104890	0,024207 -0,113887	0,026234 -0,118333	0,028338 -0,122744	0,032774 -0,131452	0,037513 -0,140000	0,042546 -0,148377	0,047869 -0,156574	0,050637 -0,160601	0,053475 -0,164579
1,30	0,014683 -0,092705	0,018992 -0,102606	0,021845 -0,112382	0,025937 -0,120221	0,028108 -0,126785	0,030362 -0,131511	0,035115 -0,140841	0,040192 -0,150000	0,045585 -0,158975	0,051288 -0,167757	0,054254 -0,172072	0,057294 -0,176335
1,32	0,015662 -0,098885	0,019298 -0,109446	0,023301 -0,119874	0,027666 -0,130156	0,029981 -0,135238	0,032386 -0,140279	0,037456 -0,150231	0,042872 -0,160000	0,048024 -0,169574	0,054707 -0,178941	0,057871 -0,183544	0,061114 -0,188091
1,34	0,016541 -0,105066	0,020504 -0,116287	0,024757 -0,127366	0,029305 -0,138291	0,031835 -0,143690	0,034410 -0,149046	0,039797 -0,159620	0,045551 -0,170000	0,051653 -0,180172	0,058127 -0,190125	0,061488 -0,195015	0,064934 -0,199846
1,35	0,017130 -0,108156	0,021107 -0,119707	0,025486 -0,131112	0,030259 -0,142358	0,032702 -0,147916	0,035422 -0,153429	0,040968 -0,164315	0,046891 -0,175000	0,053183 -0,185471	0,059836 -0,195717	0,063296 -0,200751	0,066844 -0,205724
1,36	0,017619 -0,111246	0,021711 -0,123127	0,026214 -0,134859	0,031124 -0,146425	0,033729 -0,152143	0,036434 -0,157814	0,042138 -0,169009	0,048231 -0,180000	0,054702 -0,190770	0,061546 -0,201309	0,065105 -0,206487	0,068753 -0,211602
1,38	0,018598 -0,117427	0,022017 -0,129968	0,027670 -0,142351	0,032853 -0,154550	0,035603 -0,160595	0,038458 -0,166581	0,044479 -0,178399	0,050910 -0,190000	0,057741 -0,201369	0,064965 -0,212493	0,068722 -0,217958	0,072573 -0,223358
1,40	0,019577 -0,123607	0,024123 -0,136808	0,029126 -0,149842	0,034582 -0,162595	0,037477 -0,169047	0,040482 -0,175348	0,046820 -0,187788	0,053590 -0,200000	0,060780 -0,211967	0,068384 -0,223577	0,072339 -0,229430	0,076393 -0,235114
1,42	0,020556 -0,129787	0,025329 -0,143648	0,030583 -0,157335	0,036311 -0,170829	0,039351 -0,177499	0,042507 -0,182116	0,049161 -0,197178	0,056269 -0,210000	0,063819 -0,222566	0,071804 -0,234861	0,075956 -0,240901	0,080212 -0,246869
1,44	0,021535 -0,135968	0,026535 -0,150489	0,032039 -0,164827	0,038040 -0,178904	0,041225 -0,185952	0,044531 -0,192883	0,051502 -0,208567	0,058949 -0,220000	0,066858 -0,233164	0,075223 -0,246044	0,079573 -0,252373	0,084032 -0,258625
1,45	0,022024 -0,139058	0,027138 -0,153909	0,032767 -0,168373	0,038905 -0,183032	0,042161 -0,190178	0,045543 -0,197267	0,052673 -0,211262	0,060288 -0,225000	0,068378 -0,238463	0,076932 -0,251636	0,081381 -0,258109	0,085942 -0,264503
1,46	0,022514 -0,142148	0,027741 -0,157329	0,033495 -0,172319	0,039769 -0,187099	0,043098 -0,194404	0,046555 -0,201651	0,053843 -0,215957	0,061628 -0,230000	0,069897 -0,243762	0,078642 -0,257228	0,083190 -0,263845	0,087852 -0,270381
1,48	0,023493 -0,148328	0,028947 -0,164169	0,034952 -0,179811	0,041493 -0,195234	0,044972 -0,202857	0,048579 -0,210418	0,056185 -0,225346	0,064308 -0,240000	0,072937 -0,254361	0,082061 -0,268412	0,086807 -0,275316	0,091671 -0,281336
1,50	0,024472 -0,154509	0,030154 -0,171010	0,036408 -0,187304	0,043228 -0,203309	0,046846 -0,211309	0,050603 -0,219180	0,058526 -0,234736	0,066987 -0,250000	0,075976 -0,264959	0,085481 -0,279596	0,090424 -0,286788	0,095491 -0,293892

γ°	18°	20°	22°	24°	25°	26°	28°	30°	32°	34°	35°	36°
1,52	0,025450 -0,160689	0,031359 -0,177850	0,037864 -0,194796	0,044957 -0,211503	0,048719 -0,219761	0,052627 -0,227953	0,060857 -0,244125	0,069667 -0,260000	0,079015 -0,275557	0,088900 -0,290780	0,094041 -0,298259	0,099311 -0,305648
1,54	0,026429 -0,166869	0,032566 -0,184691	0,039321 -0,202288	0,046686 -0,219638	0,050594 -0,228214	0,054651 -0,236720	0,063208 -0,253514	0,072346 -0,270000	0,082054 -0,286156	0,092319 -0,301964	0,097657 -0,309731	0,103130 -0,317403
1,55	0,026919 -0,169959	0,033169 -0,188111	0,040049 -0,206034	0,047550 -0,223705	0,051531 -0,232439	0,055663 -0,241104	0,064378 -0,258209	0,073686 -0,275000	0,083573 -0,291455	0,094029 -0,307556	0,099466 -0,315466	0,105040 -0,323281
1,56	0,027408 -0,173049	0,033772 -0,191531	0,040777 -0,209779	0,048415 -0,227773	0,052468 -0,236666	0,056675 -0,245458	0,065549 -0,262904	0,075026 -0,280000	0,085093 -0,296764	0,095738 -0,313148	0,101274 -0,321202	0,106950 -0,329159
1,58	0,028387 -0,179229	0,034978 -0,198371	0,042233 -0,217272	0,050144 -0,235908	0,054341 -0,245118	0,058699 -0,254255	0,067890 -0,272293	0,077705 -0,290000	0,088132 -0,307353	0,099158 -0,324331	0,104891 -0,332674	0,110770 -0,340915
1,60	0,029366 -0,185410	0,036184 -0,205212	0,043689 -0,224764	0,051873 -0,244042	0,056215 -0,253571	0,060724 -0,263023	0,070231 -0,281683	0,080385 -0,300000	0,091171 -0,317951	0,102577 -0,335515	0,108508 -0,344145	0,114589 -0,352671
1,62	0,030345 -0,191591	0,037390 -0,212052	0,045146 -0,232256	0,053602 -0,252177	0,058089 -0,262023	0,062747 -0,271790	0,072572 -0,291072	0,083064 -0,310000	0,094210 -0,328549	0,105996 -0,346699	0,112125 -0,355617	0,118409 -0,364426
1,64	0,031324 -0,197771	0,038597 -0,218893	0,046602 -0,239749	0,055331 -0,260312	0,059963 -0,270476	0,064772 -0,280557	0,074913 -0,300463	0,085744 -0,320000	0,097249 -0,339148	0,109415 -0,357883	0,115742 -0,367088	0,122229 -0,376182
1,65	0,031830 -0,200861	0,039199 -0,222313	0,047330 -0,243495	0,056196 -0,264379	0,060899 -0,274702	0,065784 -0,284941	0,076083 -0,305156	0,087083 -0,325000	0,098768 -0,344447	0,111125 -0,363475	0,117551 -0,372824	0,124139 -0,382060
1,66	0,032302 -0,203951	0,039803 -0,225733	0,048059 -0,247241	0,057060 -0,268446	0,061837 -0,278928	0,066796 -0,289325	0,077254 -0,309851	0,088423 -0,330000	0,100288 -0,349746	0,112834 -0,369067	0,119359 -0,378560	0,126048 -0,387938
1,68	0,033281 -0,210132	0,041009 -0,232574	0,049515 -0,254733	0,058789 -0,276581	0,063711 -0,287360	0,068820 -0,298092	0,079525 -0,319241	0,091103 -0,340000	0,103327 -0,360344	0,116254 -0,380251	0,122976 -0,390031	0,129868 -0,399693
1,70	0,034260 -0,216312	0,042215 -0,239414	0,050971 -0,262225	0,060519 -0,284716	0,065584 -0,295833	0,070844 -0,306859	0,081936 -0,328630	0,093782 -0,350000	0,106366 -0,370943	0,119673 -0,391435	0,126593 -0,401503	0,133688 -0,411449
1,72	0,035239 -0,222492	0,043421 -0,246254	0,052428 -0,269717	0,062248 -0,292851	0,067458 -0,304285	0,072868 -0,315637	0,084277 -0,338019	0,096462 -0,360000	0,109405 -0,381541	0,123092 -0,402619	0,130210 -0,412974	0,137807 -0,423205
1,74	0,036218 -0,228673	0,044627 -0,253095	0,053884 -0,277209	0,063977 -0,300985	0,069332 -0,312737	0,074892 -0,324394	0,086618 -0,347409	0,099141 -0,370000	0,112444 -0,392140	0,126511 -0,413802	0,133827 -0,424446	0,141327 -0,434960
1,75	0,036707 -0,231763	0,045230 -0,265515	0,054612 -0,280955	0,064841 -0,305052	0,070269 -0,316964	0,075905 -0,328778	0,087789 -0,352104	0,100481 -0,375000	0,113964 -0,397439	0,128221 -0,419394	0,135636 -0,430182	0,143237 -0,440838

1.76	0.037197 -0.234853	0.045833 -0.259935	0.055340 -0.284701	0.065706 -0.309120	0.071206 -0.333162	0.076916 -0.356798	0.101821 -0.380000	0.115483 -0.402738	0.129931 -0.424986	0.137444 -0.435917	0.145147 -0.446716
1.78	0.038176 -0.241033	0.047039 -0.266776	0.056796 -0.292193	0.067435 -0.317255	0.073079 -0.329642	0.078941 -0.341929	0.104500 -0.390000	0.118522 -0.413336	0.133350 -0.436170	0.141061 -0.447389	0.148966 -0.458472
1.80	0.039154 -0.247213	0.048245 -0.273616	0.058252 -0.299685	0.069164 -0.325389	0.074953 -0.338094	0.080964 -0.350696	0.107180 -0.400000	0.121561 -0.423935	0.136769 -0.447354	0.144678 -0.458860	0.152786 -0.470228
1.82	0.040133 -0.253393	0.049451 -0.280456	0.059709 -0.307177	0.070893 -0.333524	0.076827 -0.346546	0.082988 -0.359464	0.109859 -0.410000	0.124600 -0.434533	0.140188 -0.458538	0.148295 -0.470332	0.156606 -0.481983
1.84	0.041112 -0.259574	0.050657 -0.287296	0.061165 -0.314609	0.072622 -0.341659	0.078701 -0.354999	0.085013 -0.368231	0.112539 -0.420000	0.127639 -0.445132	0.143608 -0.469722	0.151912 -0.481803	0.160425 -0.493739
1.85	0.041601 -0.262664	0.051261 -0.290717	0.061893 -0.318416	0.073486 -0.345726	0.079632 -0.359225	0.086025 -0.372615	0.109494 -0.425000	0.129159 -0.450431	0.145317 -0.475314	0.153720 -0.487539	0.162335 -0.499617
1.86	0.042091 -0.265754	0.051864 -0.294137	0.062621 -0.322162	0.074351 -0.349793	0.080575 -0.363451	0.087037 -0.376999	0.115218 -0.430000	0.130678 -0.455730	0.147027 -0.480906	0.155529 -0.493275	0.164245 -0.505495
1.88	0.043069 -0.271935	0.053070 -0.300977	0.064078 -0.329654	0.075080 -0.357928	0.082449 -0.371903	0.089051 -0.385766	0.103005 -0.413135	0.117898 -0.440000	0.133717 -0.466328	0.150446 -0.492089	0.168065 -0.517250
1.90	0.044048 -0.278115	0.054276 -0.307818	0.065534 -0.337146	0.077809 -0.366063	0.084322 -0.380356	0.091085 -0.394533	0.105346 -0.422524	0.120577 -0.450000	0.136756 -0.476927	0.153865 -0.503273	0.171884 -0.529006
1.92	0.045027 -0.284295	0.055482 -0.314658	0.066990 -0.344638	0.079538 -0.374198	0.086196 -0.388808	0.093109 -0.403301	0.107687 -0.431914	0.123257 -0.460000	0.139795 -0.487525	0.157285 -0.514457	0.175704 -0.540762
1.94	0.046006 -0.290476	0.056688 -0.321498	0.068447 -0.352130	0.081267 -0.382332	0.088070 -0.397260	0.095133 -0.412068	0.110028 -0.441303	0.125836 -0.470000	0.142834 -0.498123	0.160704 -0.525641	0.179524 -0.552517
1.95	0.046495 -0.293566	0.057291 -0.324919	0.069175 -0.355876	0.082132 -0.386400	0.089007 -0.401487	0.096145 -0.416452	0.111199 -0.445998	0.127276 -0.475000	0.144354 -0.503423	0.161805 -0.531233	0.181433 -0.558395
1.96	0.046985 -0.296656	0.057894 -0.328339	0.069903 -0.359622	0.082996 -0.390467	0.089944 -0.405713	0.097157 -0.420836	0.112369 -0.450693	0.128616 -0.480000	0.145873 -0.508722	0.164123 -0.536825	0.183343 -0.564273
1.98	0.047964 -0.302836	0.059100 -0.335179	0.071359 -0.367114	0.084725 -0.396602	0.091818 -0.414165	0.099181 -0.429603	0.114711 -0.460082	0.131295 -0.490000	0.148913 -0.519350	0.167542 -0.54897	0.187163 -0.576029
2.00	0.048943 -0.309017	0.060307 -0.342020	0.072816 -0.374607	0.086455 -0.406737	0.093692 -0.422618	0.101206 -0.438371	0.117052 -0.469472	0.133975 -0.500000	0.151952 -0.529919	0.170962 -0.559193	0.190983 -0.587785

r	38°	40°	42°	44°	45°	46°	48°	50°	52°	54°	55°	56°
1.00	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000	0.000000 0.000000 0.000000
1.02	0.004239 -0.012313 0.009479	0.004679 -0.012855 0.009358	0.005137 -0.013382 0.010274	0.005613 -0.013893 0.011226	0.005857 -0.014142 0.011715	0.006106 -0.014386 0.012213	0.006617 -0.014862 0.013234	0.007144 -0.015320 0.014288	0.007866 -0.015760 0.015373	0.008244 -0.016180 0.016488	0.008528 -0.016383 0.017057	0.008816 -0.016580 0.017632
1.04	-0.024626 0.009358 0.011697	-0.025711 0.009358 0.011697	-0.026765 0.010274 0.012842	-0.027786 0.011226 0.014033	-0.028284 0.011715 0.014644	-0.028773 0.012213 0.015267	-0.029725 0.013234 0.016543	-0.030641 0.014288 0.017860	-0.031520 0.015373 0.019217	-0.032360 0.016488 0.020610	-0.032766 0.017057 0.021321	-0.033161 0.017632 0.022040
1.05	0.010599 -0.030783 0.012719	0.011697 -0.032139 0.014037	0.012842 -0.033466 0.015411	0.014033 -0.034732 0.016839	0.014644 -0.035355 0.017573	0.015267 -0.035967 0.018320	0.016543 -0.037157 0.019852	0.017860 -0.037157 0.021432	0.019217 -0.039400 0.023060	0.020610 -0.040450 0.024732	0.021321 -0.040957 0.025585	0.022040 -0.041451 0.026448
1.06	-0.030939 0.016059 0.018716	-0.038567 0.014037 0.018716	-0.040147 0.015411 0.020548	-0.041679 0.016839 0.022452	-0.042426 0.017573 0.023431	-0.043160 0.018320 0.024427	-0.044588 0.019852 0.026469	-0.045962 0.021432 0.028577	-0.047280 0.023060 0.030747	-0.048541 0.024732 0.032977	-0.049149 0.025585 0.034113	-0.049742 0.026448 0.035264
1.08	-0.049252 0.021198 0.061566	-0.051423 0.023395 0.064278	-0.053530 0.025685 0.066913	-0.055572 0.028066 0.069465	-0.056568 0.029289 0.070710	-0.057547 0.030534 0.071934	-0.059451 0.033086 0.074314	-0.061283 0.035721 0.076604	-0.063040 0.038433 0.078801	-0.064721 0.041221 0.080901	-0.065532 0.042642 0.081915	-0.066323 0.044080 0.082903
1.10	0.025438 -0.073879 0.029678	0.028074 -0.077134 0.032753	0.030822 -0.080295 0.035959	0.033679 -0.083359 0.039202	0.035147 -0.084852 0.041005	0.036641 -0.086320 0.042747	0.039704 -0.089177 0.046321	0.042865 -0.091925 0.050009	0.046120 -0.094561 0.053807	0.049465 -0.097082 0.057710	0.051170 -0.098298 0.059699	0.052896 -0.099484 0.061713
1.14	-0.081992 0.031798 0.092349	-0.088990 0.035093 0.096418	-0.093678 0.038528 0.100369	-0.097252 0.042099 0.104198	-0.098995 0.043934 0.106066	-0.100707 0.045801 0.107901	-0.104040 0.049630 0.111471	-0.107246 0.053581 0.114906	-0.110321 0.057650 0.118201	-0.113262 0.061832 0.121352	-0.114681 0.063963 0.122827	-0.116065 0.066121 0.124355
1.15	0.033916 -0.098505 0.038158	0.037433 -0.102846 0.042112	0.041096 -0.107061 0.046233	0.044905 -0.111145 0.050518	0.046802 -0.113137 0.052720	0.048854 -0.115094 0.054961	0.052939 -0.118903 0.059556	0.057153 -0.122567 0.064298	0.061494 -0.126081 0.069181	0.065954 -0.129442 0.074198	0.068272 -0.131064 0.076756	0.070529 -0.132646 0.079345
1.16	0.042397 -0.123132 0.046637	0.046791 -0.128557 0.051470	0.051371 -0.133826 0.056508	0.056132 -0.138931 0.061745	0.058578 -0.141421 0.064436	0.061068 -0.143868 0.067175	0.065173 -0.148629 0.072791	0.071442 -0.153208 0.078586	0.076967 -0.157602 0.084554	0.082443 -0.161803 0.090687	0.085284 -0.163830 0.096977	0.088161 -0.165807 0.103341
1.20	-0.135445 0.050877 -0.147758	-0.141413 0.056149 -0.154269	-0.147208 0.061645 -0.160591	-0.152824 0.067358 -0.166717	-0.155563 0.070294 -0.169705	-0.158254 0.073282 -0.172641	-0.163491 0.079408 -0.178354	-0.168529 0.085730 -0.183850	-0.173362 0.092241 -0.189122	-0.177983 0.098931 -0.194164	-0.182388 0.102341 -0.196596	-0.186398 0.105793 -0.198969

1,25	0,052997 -0,153915	0,058489 -0,160097	0,064213 -0,167282	0,070165 -0,173664	0,073223 -0,176776	0,076335 -0,179835	0,082717 -0,185786	0,089303 -0,191511	0,096084 -0,197002	0,103053 -0,202254	0,106806 -0,204788	0,110201 -0,207259
1,26	0,055117 -0,160071	0,060828 -0,167124	0,066782 -0,173974	0,072971 -0,180611	0,076152 -0,183847	0,079388 -0,187028	0,086025 -0,193217	0,092875 -0,199171	0,099928 -0,204882	0,107175 -0,210344	0,110870 -0,212979	0,114609 -0,215549
1,28	0,059356 -0,172385	0,065507 -0,179980	0,071919 -0,187356	0,078584 -0,194504	0,082010 -0,197990	0,086495 -0,201415	0,092643 -0,208080	0,100019 -0,214492	0,107614 -0,220643	0,115420 -0,226524	0,119398 -0,229362	0,123426 -0,232130
1,30	0,063596 -0,184698	0,070186 -0,192836	0,077056 -0,200739	0,084193 -0,208397	0,087867 -0,212132	0,091602 -0,215802	0,099260 -0,222943	0,107163 -0,229813	0,115301 -0,236403	0,123664 -0,242705	0,127927 -0,245745	0,132242 -0,248711
1,32	0,067836 -0,197011	0,074865 -0,205692	0,082193 -0,214121	0,089811 -0,222290	0,093725 -0,226274	0,097709 -0,230188	0,105878 -0,237806	0,114307 -0,245134	0,122988 -0,252163	0,131908 -0,258885	0,136455 -0,262128	0,141058 -0,265292
1,34	0,072076 -0,209324	0,079545 -0,218547	0,087330 -0,227504	0,095424 -0,236183	0,099583 -0,240416	0,103816 -0,244575	0,112495 -0,252669	0,121452 -0,260455	0,130675 -0,267923	0,140153 -0,275065	0,144984 -0,278511	0,149874 -0,281872
1,35	0,074196 -0,215181	0,081884 -0,224975	0,089899 -0,234195	0,098231 -0,243130	0,102512 -0,247487	0,106869 -0,251769	0,115804 -0,260100	0,125024 -0,268115	0,134518 -0,275803	0,144275 -0,283156	0,149248 -0,286703	0,154282 -0,290163
1,36	0,076316 -0,221638	0,084224 -0,231403	0,092407 -0,240887	0,101037 -0,250076	0,105441 -0,254558	0,109923 -0,258962	0,119112 -0,267532	0,128595 -0,275775	0,138302 -0,283684	0,148397 -0,291246	0,153512 -0,294894	0,158690 -0,298453
1,38	0,080555 -0,233951	0,088903 -0,244259	0,097604 -0,254269	0,106650 -0,263970	0,111299 -0,268700	0,116030 -0,273340	0,125730 -0,282395	0,135740 -0,291066	0,146048 -0,299444	0,156641 -0,307426	0,162041 -0,311277	0,167506 -0,315034
1,40	0,084795 -0,246364	0,093582 -0,257115	0,102742 -0,267652	0,112294 -0,277863	0,117157 -0,282842	0,122136 -0,287736	0,132347 -0,297258	0,142884 -0,306417	0,153735 -0,315204	0,164886 -0,323606	0,170569 -0,327650	0,176322 -0,331615
1,42	0,089035 -0,258577	0,098261 -0,269971	0,107879 -0,281035	0,117877 -0,291756	0,123015 -0,296984	0,128243 -0,302122	0,138965 -0,312120	0,150029 -0,321738	0,161422 -0,330954	0,173130 -0,339787	0,179098 -0,344043	0,185138 -0,348195
1,44	0,093275 -0,270890	0,102940 -0,282826	0,113016 -0,294417	0,123490 -0,305649	0,128872 -0,311127	0,134350 -0,316509	0,145582 -0,326983	0,157173 -0,337059	0,169109 -0,346724	0,181374 -0,355967	0,187626 -0,360426	0,193955 -0,364776
1,45	0,095395 -0,277047	0,105280 -0,289254	0,115584 -0,301109	0,126297 -0,312596	0,131801 -0,318198	0,137403 -0,323703	0,148891 -0,334415	0,160745 -0,344719	0,172952 -0,354605	0,185496 -0,364057	0,191890 -0,368618	0,198363 -0,373067
1,46	0,097514 -0,283204	0,107619 -0,295682	0,118153 -0,307800	0,129103 -0,319542	0,134730 -0,325269	0,140457 -0,330895	0,152199 -0,341846	0,164317 -0,352330	0,176795 -0,362486	0,189618 -0,372147	0,196155 -0,376809	0,202771 -0,381357
1,48	0,101754 -0,295517	0,112298 -0,308538	0,123290 -0,321182	0,134716 -0,333435	0,140588 -0,339411	0,146564 -0,345283	0,158817 -0,356709	0,171461 -0,367701	0,184482 -0,378245	0,197863 -0,388328	0,204683 -0,393193	0,211867 -0,397938
1,50	0,105994 -0,307830	0,116978 -0,321394	0,128427 -0,334565	0,140330 -0,347329	0,146446 -0,353553	0,152671 -0,359670	0,165434 -0,371572	0,178606 -0,383022	0,192169 -0,394005	0,206107 -0,404508	0,213212 -0,409576	0,220403 -0,414519

r	38°	40°	42°	44°	45°	46°	48°	50°	52°	54°	55°	56°
1.52	0, 110234 -0, 320143	0, 121657 -0, 334249	0, 133564 -0, 347948	0, 145943 -0, 361222	0, 152304 -0, 367695	0, 158777 -0, 374056	0, 172051 -0, 386435	0, 185750 -0, 398342	0, 199556 -0, 409765	0, 214351 -0, 420688	0, 221740 -0, 425959	0, 229219 -0, 431099
1.54	0, 114474 -0, 332456	0, 126336 -0, 347105	0, 138701 -0, 361330	0, 151556 -0, 375115	0, 158162 -0, 381837	0, 164884 -0, 388443	0, 178669 -0, 401298	0, 192894 -0, 413663	0, 207543 -0, 425525	0, 222596 -0, 438869	0, 230269 -0, 442342	0, 238035 -0, 447680
1.55	0, 116594 -0, 338613	0, 128675 -0, 353533	0, 141270 -0, 368022	0, 154363 -0, 382061	0, 161091 -0, 388908	0, 167938 -0, 395637	0, 181978 -0, 408729	0, 196466 -0, 421324	0, 211386 -0, 433406	0, 226718 -0, 444959	0, 234533 -0, 450533	0, 242443 -0, 455970
1.56	0, 118713 -0, 344770	0, 131015 -0, 359961	0, 143838 -0, 374713	0, 157169 -0, 389008	0, 164020 -0, 395977	0, 170991 -0, 402830	0, 185286 -0, 416161	0, 200038 -0, 428984	0, 215229 -0, 441286	0, 230840 -0, 453049	0, 238797 -0, 458725	0, 246851 -0, 464261
1.58	0, 122963 -0, 357083	0, 135694 -0, 372817	0, 148975 -0, 388096	0, 162782 -0, 402901	0, 169877 -0, 410122	0, 177098 -0, 417217	0, 191904 -0, 431024	0, 207183 -0, 444305	0, 222916 -0, 457046	0, 239084 -0, 469229	0, 247325 -0, 475108	0, 255668 -0, 480842
1.60	0, 127193 -0, 369306	0, 140373 -0, 385672	0, 154113 -0, 401478	0, 168396 -0, 416794	0, 175735 -0, 424264	0, 183205 -0, 431604	0, 198521 -0, 445887	0, 214327 -0, 459626	0, 230603 -0, 472806	0, 247329 -0, 485410	0, 255854 -0, 491491	0, 264484 -0, 497422
1.62	0, 131433 -0, 381709	0, 145052 -0, 398528	0, 159250 -0, 414861	0, 174009 -0, 430688	0, 181593 -0, 438406	0, 189312 -0, 445990	0, 205138 -0, 460749	0, 221471 -0, 474947	0, 238290 -0, 488566	0, 255573 -0, 501590	0, 264382 -0, 507874	0, 273300 -0, 514003
1.64	0, 135673 -0, 394023	0, 149731 -0, 411384	0, 164387 -0, 428243	0, 179622 -0, 444581	0, 187451 -0, 452548	0, 195418 -0, 460377	0, 211756 -0, 475612	0, 228615 -0, 490268	0, 245977 -0, 504327	0, 263817 -0, 517770	0, 272911 -0, 524251	0, 282116 -0, 530584
1.65	0, 137792 -0, 400179	0, 152071 -0, 417812	0, 166955 -0, 434935	0, 182429 -0, 451527	0, 190380 -0, 459619	0, 198472 -0, 467571	0, 215064 -0, 483044	0, 232187 -0, 497928	0, 249820 -0, 512207	0, 267939 -0, 525861	0, 277175 -0, 532448	0, 286524 -0, 538874
1.66	0, 139912 -0, 406336	0, 154411 -0, 424240	0, 169524 -0, 441626	0, 185235 -0, 458474	0, 193309 -0, 466690	0, 201525 -0, 474764	0, 218373 -0, 490475	0, 235759 -0, 505589	0, 253663 -0, 520087	0, 272061 -0, 533951	0, 281439 -0, 540640	0, 290932 -0, 547165
1.68	0, 144152 -0, 418649	0, 159090 -0, 437095	0, 174661 -0, 455009	0, 190848 -0, 472367	0, 199167 -0, 480832	0, 207632 -0, 489151	0, 224990 -0, 505338	0, 242904 -0, 520909	0, 261350 -0, 535847	0, 280306 -0, 550131	0, 289968 -0, 557023	0, 299748 -0, 563745
1.70	0, 148392 -0, 430962	0, 163769 -0, 449951	0, 179798 -0, 468391	0, 196462 -0, 486260	0, 205025 -0, 494974	0, 213739 -0, 503538	0, 231608 -0, 520201	0, 250048 -0, 536230	0, 269037 -0, 551607	0, 288550 -0, 566311	0, 298496 -0, 573406	0, 308564 -0, 580326
1.72	0, 152632 -0, 443275	0, 168448 -0, 462807	0, 184935 -0, 481774	0, 202075 -0, 500153	0, 210883 -0, 509117	0, 219846 -0, 517924	0, 238225 -0, 535064	0, 257192 -0, 551581	0, 276724 -0, 567367	0, 296794 -0, 582492	0, 307025 -0, 596989	0, 317381 -0, 606172
1.74	0, 156871 -0, 455589	0, 173127 -0, 475663	0, 190072 -0, 495156	0, 207688 -0, 514046	0, 216740 -0, 523259	0, 225953 -0, 532311	0, 244843 -0, 549927	0, 264336 -0, 566872	0, 284410 -0, 583128	0, 305039 -0, 598672	0, 315553 -0, 606172	0, 326197 -0, 613488
1.75	0, 158991 -0, 461745	0, 175467 -0, 482091	0, 192641 -0, 501848	0, 210495 -0, 520993	0, 219669 -0, 530330	0, 229005 -0, 539505	0, 248151 -0, 557336	0, 267909 -0, 574533	0, 288254 -0, 591008	0, 309161 -0, 606762	0, 319818 -0, 614364	0, 330605 -0, 621778

1,76	0,16111 -0,467902	0,177806 -0,488518	0,195209 -0,508539	0,213301 -0,527940	0,222598 -0,537401	0,232059 -0,546698	0,251460 -0,564790	* 0,271481 -0,582193	0,292097 -0,598888	0,313283 -0,614852	0,324082 -0,622555	0,335013 -0,630068
1,78	0,165351 -0,480215	0,182485 -0,501374	0,200346 -0,521922	0,218914 -0,541833	0,228456 -0,551543	0,238166 -0,561085	0,258077 -0,579653	0,278625 -0,597514	0,299784 -0,614648	0,321527 -0,631033	0,332610 -0,638938	0,343829 -0,646649
1,80	0,169591 -0,492528	0,187164 -0,514230	0,205484 -0,535304	0,224528 -0,555726	0,234314 -0,565685	0,244273 -0,574472	0,264695 -0,594516	0,285769 -0,612835	0,307471 -0,630408	0,329772 -0,647213	0,341139 -0,655321	0,352645 -0,662530
1,82	0,173831 -0,504842	0,191843 -0,527086	0,210621 -0,548687	0,230141 -0,569619	0,240172 -0,579627	0,250380 -0,589658	0,271312 -0,609378	0,292913 -0,628156	0,315188 -0,646169	0,338016 -0,663393	0,349667 -0,671704	0,361461 -0,679811
1,84	0,178070 -0,517155	0,196523 -0,539941	0,215758 -0,562070	0,235754 -0,583512	0,246030 -0,593969	0,256487 -0,604245	0,277930 -0,624241	0,300058 -0,643477	0,322844 -0,661929	0,346260 -0,679574	0,358196 -0,688087	0,370277 -0,696391
1,85	0,180190 -0,523311	0,198862 -0,546369	0,218326 -0,568761	0,238561 -0,590459	0,248959 -0,601041	0,259540 -0,611439	0,281238 -0,631673	0,303630 -0,651137	0,326688 -0,669809	0,350382 -0,687664	0,362460 -0,696279	0,374686 -0,704682
1,86	0,182310 -0,529468	0,201202 -0,552797	0,220895 -0,575452	0,241367 -0,597495	0,251888 -0,608112	0,262594 -0,618632	0,284547 -0,639104	0,307202 -0,658797	0,330531 -0,677689	0,354504 -0,695754	0,366724 -0,704470	0,379094 -0,712972
1,88	0,186550 -0,541781	0,208881 -0,565653	0,226032 -0,588835	0,246980 -0,611299	0,257745 -0,622254	0,268701 -0,633019	0,291164 -0,653967	0,314346 -0,674118	0,338218 -0,693449	0,362749 -0,711935	0,375253 -0,720853	0,387910 -0,729553
1,90	0,190790 -0,554094	0,210560 -0,578509	0,231169 -0,602217	0,252594 -0,625192	0,263603 -0,636396	0,274807 -0,647406	0,297782 -0,668830	0,321490 -0,689439	0,345905 -0,709209	0,370993 -0,728115	0,383781 -0,737236	0,396726 -0,746134
1,92	0,195029 -0,566408	0,215239 -0,591365	0,236306 -0,615600	0,258207 -0,639085	0,269461 -0,650398	0,280914 -0,661792	0,304399 -0,683693	0,328635 -0,704760	0,353591 -0,724970	0,379237 -0,744295	0,392310 -0,753619	0,405542 -0,762715
1,94	0,199269 -0,578721	0,219188 -0,604220	0,241443 -0,628983	0,263820 -0,652978	0,275319 -0,664680	0,287021 -0,676179	0,311016 -0,698556	0,335779 -0,720081	0,361278 -0,740730	0,387482 -0,760476	0,400838 -0,770002	0,414358 -0,779295
1,95	0,201389 -0,584878	0,222258 -0,610648	0,244012 -0,635674	0,266627 -0,659925	0,278248 -0,671751	0,290074 -0,683373	0,314325 -0,705987	0,339351 -0,727741	0,365122 -0,748610	0,391604 -0,768566	0,405102 -0,778191	0,418766 -0,787586
1,96	0,203509 -0,591034	0,224597 -0,617076	0,246580 -0,642365	0,269433 -0,666871	0,281177 -0,678822	0,293128 -0,690566	0,317634 -0,713419	0,342923 -0,735402	0,368965 -0,756490	0,395726 -0,776656	0,409367 -0,786385	0,423174 -0,795876
1,98	0,207749 -0,603347	0,229276 -0,629932	0,251717 -0,655748	0,275046 -0,680764	0,287035 -0,692964	0,299235 -0,704953	0,324251 -0,728282	0,350067 -0,750723	0,376652 -0,772250	0,403970 -0,792836	0,417895 -0,802769	0,431990 -0,812457
2,00	0,211989 -0,615661	0,233956 -0,642788	0,256855 -0,669131	0,280660 -0,694658	0,292893 -0,707107	0,305342 -0,719340	0,330899 -0,743145	0,357212 -0,766044	0,384339 -0,788011	0,412215 -0,809017	0,425424 -0,819152	0,440807 -0,829038

$\frac{r}{\rho}$	58°	60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°	74°	75°	76°
1,00	0,000000 -0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000
1,02	0,009401 -0,016961	0,010000 -0,017320	0,010610 -0,017659	0,011232 -0,017975	0,011547 -0,018126	0,011865 -0,018270	0,012507 -0,018543	0,013159 -0,018793	0,013819 -0,019021	0,014487 -0,019225	0,014823 -0,019318	0,015161 -0,019405
1,04	0,018803 -0,033921	0,020000 -0,034641	0,021221 -0,035317	0,022465 -0,035951	0,023095 -0,036252	0,023730 -0,036541	0,025015 -0,037087	0,026319 -0,037587	0,027639 -0,038042	0,028974 -0,038450	0,029647 -0,038637	0,030323 -0,038811
1,05	0,023504 -0,042402	0,025000 -0,043301	0,026526 -0,044147	0,028081 -0,044939	0,028869 -0,045315	0,029663 -0,045677	0,031269 -0,046359	0,032899 -0,046984	0,034549 -0,047552	0,036218 -0,048063	0,037099 -0,048296	0,037903 -0,048514
1,06	0,028204 -0,050882	0,030000 -0,051961	0,031831 -0,052976	0,033697 -0,053927	0,035422 -0,054378	0,037195 -0,054812	0,039478 -0,055631	0,041459 -0,056381	0,044470 -0,057063	0,047470 -0,057675	0,050470 -0,058217	0,053470 -0,058765
1,08	0,037606 -0,067843	0,040000 -0,069282	0,042442 -0,070635	0,044930 -0,071903	0,047461 -0,072504	0,050031 -0,073083	0,052638 -0,074174	0,055278 -0,075175	0,057949 -0,076084	0,060646 -0,076901	0,063294 -0,077274	0,065929 -0,077623
1,10	0,047008 -0,084804	0,050000 -0,086602	0,053052 -0,088294	0,056162 -0,089879	0,059326 -0,091354	0,062539 -0,092718	0,065798 -0,093909	0,069098 -0,095105	0,072436 -0,096126	0,075807 -0,097029	0,079209 -0,097822	0,082641 -0,098591
1,12	0,056409 -0,101765	0,060000 -0,103923	0,063663 -0,105953	0,067395 -0,107855	0,071191 -0,109625	0,075047 -0,111262	0,078957 -0,112763	0,082918 -0,114126	0,086923 -0,115351	0,090969 -0,115911	0,095059 -0,116435	0,099191 -0,116911
1,14	0,065811 -0,118726	0,070000 -0,121243	0,074273 -0,123612	0,078628 -0,125831	0,083056 -0,127896	0,087555 -0,129805	0,092117 -0,131557	0,096737 -0,133148	0,101410 -0,134576	0,106130 -0,135229	0,110899 -0,135841	0,115711 -0,136454
1,15	0,070512 -0,127207	0,075000 -0,129903	0,079579 -0,132442	0,084244 -0,134819	0,088989 -0,137031	0,093809 -0,139077	0,098697 -0,140954	0,103647 -0,142658	0,108554 -0,144189	0,113177 -0,145544	0,117777 -0,146888	0,122292 -0,148236
1,16	0,075213 -0,135637	0,080000 -0,138564	0,084884 -0,141271	0,089860 -0,143807	0,094922 -0,146167	0,100062 -0,148349	0,105276 -0,150350	0,110557 -0,152169	0,115898 -0,153801	0,121292 -0,155247	0,126247 -0,156848	0,131292 -0,158454
1,18	0,084614 -0,152648	0,090000 -0,155884	0,095495 -0,158930	0,101093 -0,161782	0,106928 -0,163135	0,112570 -0,164438	0,118436 -0,166893	0,124376 -0,169144	0,130385 -0,171190	0,136454 -0,173027	0,142688 -0,174866	0,149089 -0,176715
1,20	0,094016 -0,169609	0,100000 -0,173205	0,106105 -0,176589	0,112325 -0,179758	0,118852 -0,182709	0,125078 -0,185436	0,131593 -0,187938	0,138196 -0,190211	0,144872 -0,192252	0,151615 -0,194059	0,158454 -0,195848	0,165292 -0,197641
1,22	0,103417 -0,186570	0,110000 -0,190525	0,116716 -0,194248	0,123558 -0,197734	0,130517 -0,200979	0,137586 -0,203980	0,144755 -0,206732	0,152016 -0,209232	0,159359 -0,211477	0,166777 -0,213405	0,174250 -0,215203	0,181938 -0,216988
1,24	0,112819 -0,203531	0,120000 -0,207846	0,127326 -0,211907	0,134791 -0,215710	0,142383 -0,219250	0,150094 -0,222524	0,157915 -0,225526	0,165835 -0,228253	0,173847 -0,230702	0,181938 -0,232981	0,190089 -0,235089	0,198292 -0,237122

1,25	0,117520 -0,212012	0,125000 -0,216506	0,140407 -0,224698	0,144345 -0,226577	0,148315 -0,228386	0,156348 -0,231796	0,164495 -0,234923	0,172745 -0,237764	0,181090 -0,240315	0,185295 -0,241481	0,189519 -0,242574
1,26	0,122221 -0,220492	0,130000 -0,225166	0,146023 -0,233686	0,150119 -0,235640	0,154248 -0,237521	0,162602 -0,241067	0,171074 -0,244320	0,179655 -0,247274	0,188334 -0,249928	0,192707 -0,251140	0,197100 -0,252277
1,28	0,131622 -0,237453	0,140000 -0,242487	0,157256 -0,251662	0,161667 -0,253766	0,166113 -0,255792	0,175110 -0,259611	0,182434 -0,263114	0,193475 -0,266296	0,202821 -0,269153	0,207530 -0,270459	0,212261 -0,271682
1,30	0,141024 -0,254414	0,150000 -0,259807	0,168488 -0,269638	0,173214 -0,271892	0,177978 -0,274063	0,187617 -0,278155	0,197394 -0,281907	0,207294 -0,285317	0,217308 -0,288378	0,222354 -0,289777	0,227423 -0,291088
1,32	0,150425 -0,271375	0,160000 -0,277128	0,179721 -0,287614	0,184762 -0,290018	0,189844 -0,292334	0,200125 -0,296698	0,210553 -0,300701	0,221114 -0,304338	0,231796 -0,307603	0,237177 -0,309996	0,242585 -0,310494
1,34	0,159827 -0,288336	0,170000 -0,294448	0,190953 -0,305590	0,196309 -0,308144	0,201709 -0,310605	0,212633 -0,315242	0,223713 -0,319495	0,234934 -0,323359	0,246283 -0,326529	0,252001 -0,328414	0,257746 -0,329900
1,35	0,164528 -0,296816	0,175000 -0,303108	0,196570 -0,314577	0,202083 -0,317207	0,207642 -0,319740	0,218887 -0,324514	0,230293 -0,328892	0,241844 -0,332870	0,253527 -0,336441	0,259413 -0,338074	0,265327 -0,339603
1,36	0,169229 -0,303297	0,180000 -0,311759	0,202186 -0,323565	0,207857 -0,326270	0,213574 -0,328876	0,225141 -0,333786	0,236872 -0,338289	0,248753 -0,342380	0,260770 -0,346054	0,266825 -0,347733	0,272908 -0,349306
1,38	0,173630 -0,322258	0,190000 -0,329089	0,213419 -0,341541	0,219405 -0,344397	0,225439 -0,347147	0,237649 -0,352329	0,250032 -0,357083	0,262573 -0,361401	0,275257 -0,365279	0,281648 -0,367051	0,288069 -0,368712
1,40	0,188032 -0,339219	0,200000 -0,346410	0,224651 -0,359517	0,230952 -0,362523	0,237305 -0,365418	0,250157 -0,370873	0,263192 -0,375877	0,276393 -0,380422	0,289745 -0,384504	0,296472 -0,386370	0,303231 -0,388118
1,42	0,197434 -0,356180	0,210000 -0,363730	0,235884 -0,377493	0,242500 -0,380649	0,249170 -0,383688	0,262665 -0,394917	0,276351 -0,394671	0,290212 -0,399443	0,304232 -0,403730	0,311296 -0,405688	0,318392 -0,407824
1,44	0,208835 -0,373141	0,220000 -0,381051	0,247116 -0,395469	0,254048 -0,398775	0,261035 -0,401959	0,275172 -0,407961	0,289511 -0,413464	0,304032 -0,418455	0,318719 -0,422955	0,326119 -0,425007	0,333554 -0,426930
1,45	0,211536 -0,381621	0,225000 -0,389711	0,252733 -0,404457	0,259821 -0,407838	0,266968 -0,411095	0,281426 -0,417232	0,296091 -0,422670	0,310942 -0,427975	0,325953 -0,432567	0,333531 -0,434666	0,341135 -0,436633
1,46	0,216237 -0,390102	0,230000 -0,398371	0,258349 -0,413445	0,265595 -0,416901	0,272901 -0,420230	0,287680 -0,426504	0,302670 -0,432258	0,317852 -0,437486	0,333207 -0,442180	0,340943 -0,444326	0,348715 -0,446336
1,48	0,225638 -0,407063	0,240000 -0,415692	0,269581 -0,431421	0,277143 -0,435027	0,284766 -0,438501	0,300188 -0,445048	0,315830 -0,451052	0,331671 -0,455507	0,347694 -0,461405	0,355766 -0,463644	0,363877 -0,465742
1,50	0,235040 -0,424024	0,250000 -0,433012	0,280814 -0,449397	0,288691 -0,453154	0,296631 -0,456772	0,312696 -0,463592	0,328990 -0,469846	0,345491 -0,475528	0,362181 -0,480631	0,370590 -0,482993	0,379039 -0,485148

r	58°	60°	62°	64°	65°	66°	68°	70°	72°	74°	75°	76°
1, 52	0, 244442 -0, 440985	0, 260000 -0, 450333	0, 275874 -0, 459133	0, 292047 -0, 467372	0, 300238 -0, 471280	0, 308496 -0, 475043	0, 325204 -0, 482135	0, 342149 -0, 488640	0, 359311 -0, 494549	0, 376668 -0, 499856	0, 385414 -0, 502281	0, 394200 -0, 504553
1, 54	0, 253843 -0, 457945	0, 270000 -0, 467653	0, 286485 -0, 476791	0, 303279 -0, 485348	0, 311786 -0, 489406	0, 320362 -0, 493314	0, 335309 -0, 500679	0, 351156 -0, 507434	0, 367130 -0, 513570	0, 391156 -0, 519081	0, 400237 -0, 521600	0, 409362 -0, 523959
1, 55	0, 258544 -0, 466426	0, 275000 -0, 476313	0, 291790 -0, 485621	0, 308896 -0, 494336	0, 317560 -0, 498469	0, 326294 -0, 502449	0, 343966 -0, 509951	0, 361889 -0, 516831	0, 380040 -0, 523081	0, 398399 -0, 528694	0, 407649 -0, 531259	0, 416942 -0, 533662
1, 56	0, 263245 -0, 474906	0, 280000 -0, 484974	0, 297095 -0, 494450	0, 314512 -0, 503324	0, 323333 -0, 507532	0, 332227 -0, 511585	0, 350220 -0, 519223	0, 368468 -0, 526228	0, 386950 -0, 532591	0, 405643 -0, 538306	0, 415061 -0, 540918	0, 424523 -0, 543365
1, 58	0, 272647 -0, 491867	0, 290000 -0, 502294	0, 307706 -0, 512109	0, 325744 -0, 521300	0, 334881 -0, 525658	0, 344092 -0, 529856	0, 362727 -0, 537766	0, 381628 -0, 545021	0, 400770 -0, 551613	0, 420130 -0, 557532	0, 429885 -0, 560237	0, 439685 -0, 562771
1, 60	0, 282048 -0, 508828	0, 300000 -0, 519615	0, 318316 -0, 529768	0, 336977 -0, 539276	0, 346429 -0, 543784	0, 355957 -0, 548127	0, 375235 -0, 556310	0, 394788 -0, 563815	0, 414589 -0, 570634	0, 434617 -0, 576757	0, 444708 -0, 579555	0, 454846 -0, 582177
1, 62	0, 291450 -0, 525789	0, 310000 -0, 536935	0, 328927 -0, 547427	0, 348210 -0, 557252	0, 357976 -0, 561911	0, 367523 -0, 566397	0, 387743 -0, 574854	0, 407947 -0, 582609	0, 428409 -0, 589855	0, 449105 -0, 595982	0, 459532 -0, 598874	0, 470008 -0, 601583
1, 64	0, 300851 -0, 542750	0, 320000 -0, 554256	0, 339537 -0, 565086	0, 359442 -0, 575228	0, 369524 -0, 580037	0, 379688 -0, 584668	0, 400251 -0, 593397	0, 421107 -0, 601403	0, 442229 -0, 608676	0, 463592 -0, 615207	0, 474355 -0, 618192	0, 485169 -0, 620989
1, 65	0, 305552 -0, 551231	0, 325000 -0, 562916	0, 344843 -0, 573916	0, 365058 -0, 584216	0, 375298 -0, 589100	0, 385621 -0, 593804	0, 406505 -0, 602669	0, 427687 -0, 610800	0, 449139 -0, 618187	0, 470836 -0, 624820	0, 481767 -0, 627851	0, 492750 -0, 630692
1, 66	0, 310253 -0, 559711	0, 330000 -0, 571576	0, 350148 -0, 582745	0, 370875 -0, 593204	0, 381072 -0, 598163	0, 391553 -0, 602939	0, 412759 -0, 611941	0, 434266 -0, 620197	0, 456048 -0, 627697	0, 478079 -0, 634432	0, 489179 -0, 637511	0, 500331 -0, 640395
1, 68	0, 319655 -0, 576672	0, 340000 -0, 588897	0, 360759 -0, 600404	0, 381907 -0, 611179	0, 392619 -0, 616289	0, 403418 -0, 621210	0, 425267 -0, 630485	0, 447426 -0, 638991	0, 469868 -0, 646718	0, 492566 -0, 653658	0, 504403 -0, 658829	0, 515493 -0, 665901
1, 70	0, 329056 -0, 593633	0, 350000 -0, 606217	0, 371369 -0, 618063	0, 393140 -0, 629155	0, 404167 -0, 634415	0, 415284 -0, 639481	0, 437775 -0, 649028	0, 460586 -0, 657785	0, 483688 -0, 665739	0, 507054 -0, 672883	0, 518826 -0, 676148	0, 530654 -0, 679207
1, 72	0, 338458 -0, 610594	0, 360000 -0, 623538	0, 381980 -0, 635722	0, 404372 -0, 647131	0, 415715 -0, 652841	0, 427149 -0, 657752	0, 450283 -0, 667572	0, 473745 -0, 676579	0, 497507 -0, 684761	0, 521541 -0, 692108	0, 533650 -0, 699466	0, 545816 -0, 706813
1, 74	0, 347859 -0, 627555	0, 370000 -0, 640858	0, 392590 -0, 653381	0, 415605 -0, 665107	0, 427262 -0, 670867	0, 439014 -0, 676023	0, 462790 -0, 686116	0, 486905 -0, 695372	0, 511327 -0, 703782	0, 536028 -0, 711333	0, 548473 -0, 714785	0, 560977 -0, 718558
1, 75	0, 352560 -0, 636036	0, 375000 -0, 649518	0, 397896 -0, 662211	0, 421221 -0, 674095	0, 433036 -0, 679731	0, 444947 -0, 685158	0, 469044 -0, 695388	0, 493485 -0, 704769	0, 518237 -0, 713292	0, 543272 -0, 720946	0, 555885 -0, 724444	0, 568558 -0, 727722

1.76	0,357261 -0,644516	0,380000 -0,658179	0,403201 -0,671040	0,426838 -0,683083	0,438810 -0,688794	0,450879 -0,694294	0,475298 -0,704659	0,500064 -0,714166	0,525147 -0,722803	0,550515 -0,730559	0,563297 -0,734103	0,576139 -0,737425
1.78	0,366663 -0,661477	0,390000 -0,675499	0,413811 -0,688699	0,438070 -0,701059	0,450358 -0,706920	0,462745 -0,712565	0,487806 -0,728203	0,513224 -0,732950	0,538966 -0,741824	0,565003 -0,749784	0,578121 -0,753422	0,591300 -0,756830
1.80	0,376064 -0,678438	0,400000 -0,692820	0,424422 -0,706358	0,449303 -0,719035	0,461905 -0,725046	0,474610 -0,730836	0,500314 -0,741747	0,526384 -0,751754	0,552786 -0,760845	0,579490 -0,769009	0,592944 -0,777240	0,606482 -0,776236
1.82	0,385466 -0,695399	0,410000 -0,710140	0,435033 -0,724017	0,460535 -0,737011	0,473453 -0,743172	0,486475 -0,749106	0,512822 -0,760290	0,539543 -0,770548	0,566606 -0,779866	0,593977 -0,788234	0,607768 -0,792089	0,621623 -0,795642
1.84	0,394868 -0,712360	0,420000 -0,727461	0,445643 -0,741676	0,471768 -0,754987	0,485000 -0,761298	0,498340 -0,767377	0,525330 -0,778834	0,552703 -0,789342	0,580425 -0,798887	0,608464 -0,807460	0,622592 -0,811377	0,636735 -0,815048
1.85	0,399568 -0,720840	0,425000 -0,736121	0,450948 -0,750505	0,477384 -0,763974	0,490774 -0,770361	0,504273 -0,776513	0,531584 -0,788106	0,559283 -0,798739	0,587335 -0,808398	0,615708 -0,817072	0,630003 -0,821037	0,644366 -0,824751
1.86	0,404269 -0,729321	0,430000 -0,744781	0,456254 -0,759335	0,483000 -0,772962	0,496548 -0,779424	0,510206 -0,785648	0,537838 -0,797378	0,565862 -0,808136	0,594245 -0,817909	0,622952 -0,826685	0,637415 -0,830696	0,651947 -0,834454
1.88	0,413671 -0,746282	0,440000 -0,762102	0,466864 -0,776994	0,494233 -0,790938	0,508096 -0,797551	0,522071 -0,803919	0,550345 -0,815921	0,579022 -0,826929	0,608065 -0,836930	0,637439 -0,845910	0,652239 -0,850014	0,667108 -0,853869
1.90	0,423072 -0,763243	0,450000 -0,779422	0,477475 -0,794653	0,505466 -0,808914	0,519643 -0,815677	0,533936 -0,822190	0,562853 -0,834465	0,592182 -0,845723	0,621884 -0,855951	0,651926 -0,865135	0,667062 -0,869333	0,682270 -0,873266
1.92	0,432474 -0,780204	0,460000 -0,796743	0,488085 -0,812312	0,516998 -0,826890	0,531191 -0,833303	0,545802 -0,840461	0,575361 -0,853009	0,605341 -0,864517	0,635704 -0,874972	0,666414 -0,884361	0,681886 -0,888651	0,697431 -0,892672
1.94	0,441876 -0,797165	0,470000 -0,814063	0,498696 -0,829971	0,527931 -0,844866	0,542739 -0,851929	0,557667 -0,858732	0,587869 -0,871553	0,618501 -0,883311	0,649524 -0,893993	0,680901 -0,903586	0,696710 -0,907970	0,712593 -0,912078
1.95	0,446577 -0,805645	0,475000 -0,827223	0,504001 -0,838500	0,533547 -0,853854	0,548512 -0,860992	0,563599 -0,867867	0,594123 -0,880824	0,625081 -0,892708	0,656433 -0,903504	0,688144 -0,913198	0,704122 -0,917629	0,720174 -0,921781
1.96	0,451277 -0,814126	0,480000 -0,831384	0,509306 -0,847630	0,539163 -0,862842	0,554286 -0,870055	0,569532 -0,877003	0,600377 -0,890096	0,631660 -0,902105	0,663343 -0,913014	0,695388 -0,922811	0,711533 -0,927289	0,727754 -0,931484
1.98	0,460679 -0,831087	0,490000 -0,848704	0,519917 -0,865289	0,550396 -0,880818	0,565834 -0,888181	0,581397 -0,895274	0,612885 -0,908640	0,644820 -0,920899	0,677163 -0,932035	0,709875 -0,942036	0,726357 -0,946607	0,742916 -0,950890
2.00	0,470081 -0,848048	0,500000 -0,866025	0,530528 -0,882948	0,561629 -0,898794	0,577382 -0,906308	0,593263 -0,913545	0,625393 -0,927184	0,657980 -0,939593	0,690983 -0,951057	0,724363 -0,961262	0,741181 -0,965926	0,778078 -0,970296

$\frac{\rho}{r}$	78°	80°	82°	84°	85°	86°	88°	90°	95°	100°	105°
1,00	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000
1,02	0,015841 -0,019563	0,016527 -0,019595	0,017216 -0,019805	0,017909 -0,019890	0,018256 -0,019923	0,018604 -0,019951	0,019302 -0,019987	0,020000 -0,020000	0,021743 -0,019923	0,023473 -0,019896	0,025176 -0,019318
1,04	0,031683 -0,039125	0,033054 -0,039392	0,034433 -0,039610	0,035818 -0,039780	0,036513 -0,039847	0,037209 -0,039902	0,038604 -0,039975	0,040000 -0,040000	0,043486 -0,039847	0,046945 -0,039392	0,050352 -0,038637
1,05	0,039604 -0,048907	0,041317 -0,049240	0,043041 -0,049513	0,044773 -0,049726	0,046512 -0,049809	0,048255 -0,049878	0,049825 -0,049969	0,050000 -0,050000	0,054357 -0,049809	0,058682 -0,049240	0,062941 -0,048295
1,06	0,047525 -0,058688	0,049581 -0,059088	0,051649 -0,059416	0,053728 -0,059671	0,054770 -0,059771	0,055814 -0,059853	0,057906 -0,059963	0,060000 -0,060000	0,065229 -0,059771	0,070418 -0,059088	0,075529 -0,057955
1,08	0,063357 -0,078251	0,066108 -0,078784	0,068866 -0,079221	0,071637 -0,079561	0,073027 -0,079695	0,074419 -0,079805	0,077208 -0,079951	0,080000 -0,080000	0,086972 -0,079695	0,093891 -0,078784	0,100705 -0,077274
1,10	0,079208 -0,097814	0,082635 -0,098480	0,086082 -0,099026	0,089547 -0,099452	0,091284 -0,099619	0,093024 -0,099756	0,096510 -0,099939	0,100000 -0,100000	0,108715 -0,099619	0,117364 -0,098480	0,125881 -0,096592
1,12	0,095050 -0,117377	0,099162 -0,118177	0,103299 -0,118832	0,107456 -0,119342	0,109541 -0,119543	0,111629 -0,119707	0,115812 -0,119926	0,120000 -0,120000	0,130458 -0,119543	0,140837 -0,118177	0,151058 -0,115911
1,14	0,110892 -0,136940	0,115689 -0,137873	0,120515 -0,138637	0,125366 -0,139233	0,127798 -0,139467	0,130234 -0,139659	0,135114 -0,139914	0,140000 -0,140000	0,152201 -0,139467	0,164310 -0,137873	0,176234 -0,135229
1,15	0,118813 -0,146722	0,123952 -0,147721	0,129124 -0,148540	0,134320 -0,149178	0,136926 -0,149429	0,139536 -0,149634	0,144765 -0,149908	0,150000 -0,150000	0,163073 -0,149429	0,176047 -0,147721	0,188822 -0,144888
1,16	0,126734 -0,156505	0,132216 -0,157569	0,137732 -0,158442	0,143275 -0,159123	0,146055 -0,159391	0,148839 -0,159610	0,154416 -0,159902	0,160000 -0,160000	0,173945 -0,159391	0,187783 -0,157569	0,201411 -0,154548
1,18	0,142575 -0,176066	0,148743 -0,177265	0,154948 -0,178248	0,161185 -0,179014	0,164311 -0,179315	0,167443 -0,179561	0,173718 -0,179890	0,180000 -0,180000	0,195688 -0,179315	0,211256 -0,177265	0,226587 -0,173866
1,20	0,158417 -0,195629	0,165270 -0,196961	0,172165 -0,198053	0,179094 -0,198904	0,182568 -0,199239	0,186048 -0,199512	0,193020 -0,199878	0,200000 -0,200000	0,217431 -0,199239	0,234729 -0,196961	0,251763 -0,193185
1,22	0,174259 -0,215192	0,181797 -0,216657	0,179381 -0,217859	0,197003 -0,218794	0,200825 -0,219162	0,204653 -0,219464	0,212322 -0,219866	0,220000 -0,220000	0,239174 -0,219162	0,258202 -0,216657	0,276940 -0,212503
1,24	0,190101 -0,234755	0,198324 -0,236353	0,206598 -0,237664	0,214913 -0,238685	0,219082 -0,239086	0,223258 -0,239415	0,231624 -0,239853	0,240000 -0,240000	0,260917 -0,239086	0,281675 -0,236353	0,302116 -0,231522

1,25	0,198022 -0,244337	0,206588 -0,246202	0,215206 -0,247567	0,223868 -0,248630	0,228211 -0,249048	0,232561 -0,249391	0,241275 -0,249847	0,250000 -0,250000	0,271789 -0,249048	0,293412 -0,246202	0,314704 -0,241481
1,26	0,205942 -0,254318	0,214851 -0,256050	0,223815 -0,257469	0,232822 -0,258575	0,237339 -0,259010	0,241863 -0,259365	0,250926 -0,259841	0,260000 -0,260000	0,282660 -0,259010	0,305148 -0,256050	0,327292 -0,251140
1,28	0,221784 -0,273881	0,231378 -0,275746	0,241031 -0,277275	0,250732 -0,278466	0,255596 -0,278934	0,260468 -0,279317	0,270228 -0,279829	0,280000 -0,280000	0,304403 -0,278934	0,328521 -0,275746	0,352469 -0,270459
1,30	0,237626 -0,293444	0,247905 -0,295442	0,258248 -0,297080	0,268641 -0,298356	0,273853 -0,298858	0,279073 -0,299269	0,289530 -0,299817	0,300000 -0,300000	0,326146 -0,298858	0,352094 -0,295442	0,377645 -0,289777
1,32	0,253468 -0,313007	0,264432 -0,315138	0,275464 -0,316885	0,286551 -0,318247	0,292110 -0,318782	0,297678 -0,319220	0,308832 -0,319805	0,320000 -0,320000	0,347889 -0,318782	0,375567 -0,315138	0,402822 -0,309096
1,34	0,269309 -0,332570	0,280959 -0,334834	0,292681 -0,336691	0,304460 -0,338706	0,310367 -0,338706	0,316283 -0,339171	0,328134 -0,339792	0,340000 -0,340000	0,369633 -0,338706	0,399040 -0,334834	0,427998 -0,328414
1,35	0,277230 -0,342351	0,289223 -0,344682	0,301269 -0,346593	0,313415 -0,348082	0,319495 -0,348668	0,325585 -0,349147	0,337785 -0,349786	0,350000 -0,350000	0,380504 -0,348668	0,410776 -0,344682	0,440586 -0,338074
1,36	0,285151 -0,352133	0,297486 -0,354530	0,309897 -0,356496	0,322369 -0,358027	0,328623 -0,358630	0,334887 -0,359123	0,347436 -0,359780	0,360000 -0,360000	0,391376 -0,358630	0,422513 -0,354530	0,453174 -0,347733
1,38	0,300993 -0,371696	0,314013 -0,374227	0,327114 -0,376301	0,340279 -0,377918	0,346880 -0,378554	0,353492 -0,379074	0,366738 -0,379768	0,380000 -0,380000	0,413119 -0,378554	0,445986 -0,374227	0,478351 -0,367051
1,40	0,316835 -0,391259	0,330540 -0,393923	0,344330 -0,396107	0,358188 -0,397808	0,365137 -0,398478	0,372097 -0,399025	0,386040 -0,399756	0,400000 -0,400000	0,434862 -0,398478	0,469459 -0,393923	0,503527 -0,386370
1,42	0,332677 -0,410822	0,347067 -0,413619	0,361547 -0,415912	0,376098 -0,417699	0,383394 -0,418401	0,390702 -0,418976	0,405342 -0,419744	0,420000 -0,420000	0,456605 -0,418401	0,492932 -0,413619	0,528704 -0,405688
1,44	0,348518 -0,430385	0,363594 -0,433315	0,378763 -0,435717	0,394007 -0,437589	0,401651 -0,438325	0,409307 -0,438928	0,424644 -0,439732	0,440000 -0,440000	0,478348 -0,438325	0,516405 -0,433315	0,553880 -0,425007
1,45	0,356439 -0,440166	0,371858 -0,443163	0,387372 -0,445620	0,402962 -0,447534	0,410779 -0,448287	0,418609 -0,448903	0,434295 -0,449726	0,450000 -0,450000	0,489220 -0,448287	0,528141 -0,443163	0,566468 -0,434666
1,46	0,364360 -0,449948	0,380121 -0,453011	0,395980 -0,455523	0,411917 -0,457480	0,419908 -0,458249	0,427912 -0,458879	0,443946 -0,459719	0,460000 -0,460000	0,500091 -0,458249	0,539878 -0,453011	0,579056 -0,444326
1,48	0,380202 -0,469511	0,396648 -0,472707	0,413196 -0,475328	0,429826 -0,477370	0,438165 -0,478173	0,446517 -0,478830	0,463248 -0,479707	0,480000 -0,480000	0,521834 -0,478173	0,563351 -0,472707	0,604233 -0,463644
1,50	0,396044 -0,489074	0,413176 -0,492404	0,430413 -0,495134	0,447736 -0,497261	0,456422 -0,498097	0,465122 -0,498782	0,482850 -0,499695	0,500000 -0,500000	0,543578 -0,498097	0,586824 -0,492404	0,629409 -0,482963

$\frac{\gamma}{r}$	78°	80°	82°	84°	85°	86°	88°	90°	95°	100°	105°
1,52	0,411885 -0,508837	0,423703 -0,512100	0,447630 -0,514939	0,465645 -0,517151	0,474678 -0,518021	0,483726 -0,518733	0,501852 -0,519883	0,520000 -0,520000	0,565321 -0,518921	0,610297 -0,512100	0,654585 -0,502281
1,54	0,427727 -0,528199	0,448230 -0,531796	0,464846 -0,534744	0,483554 -0,537041	0,492935 -0,537945	0,502331 -0,538684	0,521154 -0,539671	0,540000 -0,540000	0,587064 -0,537945	0,633769 -0,531796	0,679762 -0,521600
1,55	0,435648 -0,537981	0,454493 -0,541644	0,473454 -0,544647	0,492509 -0,546987	0,502064 -0,547907	0,511634 -0,548660	0,530805 -0,549665	0,550000 -0,550000	0,597935 -0,547907	0,645506 -0,541644	0,692350 -0,531259
1,56	0,443569 -0,547762	0,462757 -0,551492	0,482063 -0,554550	0,501464 -0,556932	0,511192 -0,557869	0,520936 -0,558635	0,540456 -0,559659	0,560000 -0,560000	0,608807 -0,557869	0,657242 -0,551492	0,704938 -0,540918
1,58	0,459411 -0,567325	0,479284 -0,571188	0,499279 -0,574355	0,519373 -0,576822	0,529449 -0,577793	0,539541 -0,578587	0,559758 -0,579046	0,580000 -0,580000	0,630550 -0,577793	0,680715 -0,571188	0,730115 -0,560237
1,60	0,475252 -0,586888	0,495811 -0,590884	0,516496 -0,594160	0,537283 -0,596713	0,547706 -0,597717	0,558146 -0,598538	0,579060 -0,599634	0,600000 -0,600000	0,652293 -0,597717	0,704188 -0,590884	0,755291 -0,579555
1,62	0,491094 -0,606451	0,512338 -0,610581	0,533712 -0,613966	0,555192 -0,616603	0,565963 -0,617640	0,576751 -0,618489	0,598362 -0,619622	0,620000 -0,620000	0,674036 -0,617640	0,727661 -0,610581	0,780467 -0,598874
1,64	0,506936 -0,626014	0,528865 -0,630277	0,550929 -0,633771	0,573102 -0,636494	0,584220 -0,637564	0,595356 -0,638441	0,617664 -0,639610	0,640000 -0,640000	0,695779 -0,637564	0,751134 -0,630277	0,805644 -0,618192
1,65	0,514857 -0,635796	0,537128 -0,640125	0,559537 -0,643674	0,582056 -0,646439	0,593348 -0,647826	0,604658 -0,648416	0,627315 -0,649904	0,650000 -0,650000	0,706651 -0,647526	0,762871 -0,640125	0,818232 -0,627851
1,66	0,522778 -0,645577	0,545392 -0,649973	0,568145 -0,653576	0,591011 -0,656384	0,602477 -0,657488	0,613961 -0,658392	0,636966 -0,659598	0,660000 -0,660000	0,717523 -0,657488	0,774607 -0,649973	0,830820 -0,637511
1,68	0,538619 -0,665140	0,561919 -0,669669	0,585362 -0,673382	0,608921 -0,676275	0,620733 -0,677412	0,632565 -0,678343	0,656268 -0,679585	0,680000 -0,680000	0,739266 -0,677412	0,798080 -0,669669	0,855996 -0,656829
1,70	0,554461 -0,684703	0,578446 -0,689365	0,602578 -0,693187	0,626830 -0,696165	0,638990 -0,697336	0,651170 -0,698294	0,675570 -0,699573	0,700000 -0,700000	0,761009 -0,697336	0,821553 -0,689365	0,881173 -0,676148
1,72	0,570303 -0,704266	0,594973 -0,709061	0,619795 -0,712993	0,644739 -0,716055	0,657247 -0,717260	0,669776 -0,718246	0,694872 -0,719561	0,720000 -0,720000	0,782752 -0,717260	0,845026 -0,709061	0,906349 -0,695466
1,74	0,586145 -0,723829	0,611500 -0,728757	0,637012 -0,732798	0,662649 -0,735946	0,675504 -0,737184	0,688380 -0,738197	0,714174 -0,739549	0,740000 -0,740000	0,804495 -0,737184	0,868499 -0,728757	0,931526 -0,714785
1,75	0,594066 -0,733611	0,619764 -0,738606	0,645620 -0,742701	0,671604 -0,745891	0,684633 -0,747146	0,697683 -0,748173	0,723825 -0,749543	0,750000 -0,750000	0,815367 -0,747146	0,880236 -0,738606	0,944114 -0,724444

1,76	0,601986 -0,743392	0,628027 -0,748454	0,654228 -0,752603	0,680558 -0,755835	0,693761 -0,757108	0,706985 -0,758148	0,733476 -0,759337	0,760000 -0,760000	0,826238 -0,757108	0,891972 -0,748454	0,956702 -0,734103
1,78	0,617828 -0,762955	0,644554 -0,768150	0,671445 -0,772409	0,698468 -0,775727	0,712018 -0,777032	0,725590 -0,778099	0,752778 -0,779325	0,780000 -0,770000	0,847981 -0,777032	0,915445 -0,768150	0,981878 -0,753422
1,80	0,633670 -0,782518	0,661081 -0,787846	0,688661 -0,792214	0,716377 -0,795617	0,730275 -0,796956	0,744195 -0,798051	0,772080 -0,799512	0,800000 -0,800000	0,869724 -0,796956	0,938918 -0,787846	1,007055 -0,772740
1,82	0,649512 -0,802081	0,677608 -0,807542	0,705878 -0,812019	0,734287 -0,815508	0,748532 -0,816879	0,762800 -0,818002	0,791382 -0,819500	0,820000 -0,820000	0,891467 -0,816879	0,962391 -0,807542	1,032231 -0,792059
1,84	0,665353 -0,821644	0,694135 -0,827238	0,723094 -0,831825	0,752195 -0,835398	0,766789 -0,836803	0,781405 -0,837953	0,810684 -0,839488	0,840000 -0,840000	0,913211 -0,836803	0,985864 -0,827238	1,057408 -0,811377
1,85	0,673274 -0,831425	0,702399 -0,837086	0,731703 -0,841727	0,761151 -0,845343	0,775917 -0,846765	0,790707 -0,847929	0,820335 -0,849482	0,850000 -0,850000	0,924082 -0,846765	0,997600 -0,837086	1,069995 -0,821037
1,86	0,681195 -0,841207	0,710662 -0,846934	0,740311 -0,851630	0,770105 -0,855288	0,785045 -0,856727	0,800009 -0,857905	0,829986 -0,859476	0,860000 -0,860000	0,934954 -0,856727	1,009337 -0,846934	1,082584 -0,830696
1,88	0,697037 -0,850770	0,727189 -0,856631	0,757527 -0,861435	0,788015 -0,865179	0,803302 -0,866591	0,818614 -0,867866	0,849288 -0,869451	0,880000 -0,880000	0,956697 -0,866591	1,032810 -0,866631	1,107760 -0,850014
1,90	0,712879 -0,860333	0,743716 -0,866327	0,774744 -0,871241	0,805924 -0,875069	0,821559 -0,876575	0,837219 -0,87807	0,868590 -0,879451	0,900000 -0,900000	0,978440 -0,895575	1,056283 -0,869333	1,132937 -0,858861
1,92	0,728721 -0,869896	0,760243 -0,876023	0,791960 -0,881046	0,823834 -0,884743	0,839816 -0,886073	0,855824 -0,887429	0,887892 -0,888927	0,920000 -0,920000	1,000183 -0,916499	1,079756 -0,906023	1,158113 -0,888651
1,94	0,744562 -0,919459	0,776770 -0,925719	0,809177 -0,930851	0,841743 -0,934850	0,858073 -0,936423	0,874429 -0,937710	0,907194 -0,939427	0,940000 -0,940000	1,021926 -0,936423	1,103229 -0,925719	1,183289 -0,907970
1,95	0,752483 -0,929240	0,785034 -0,935557	0,817785 -0,940754	0,850598 -0,944795	0,867201 -0,946385	0,883731 -0,947685	0,916845 -0,949421	0,950000 -0,950000	1,032798 -0,946385	1,114965 -0,935557	1,195878 -0,917629
1,96	0,760404 -0,939022	0,793297 -0,945415	0,826393 -0,950657	0,859653 -0,954741	0,876330 -0,956347	0,893034 -0,957661	0,926497 -0,959415	0,960000 -0,960000	1,046698 -0,956347	1,126702 -0,945415	1,208486 -0,927289
1,98	0,776246 -0,958585	0,809824 -0,965111	0,843610 -0,970462	0,877562 -0,974631	0,894587 -0,976271	0,911639 -0,977612	0,945799 -0,979403	0,980000 -0,980000	1,065412 -0,976271	1,150175 -0,965111	1,233542 -0,946607
2,00	0,792088 -0,978148	0,826352 -0,984808	0,860827 -0,990268	0,895472 -0,994522	0,912844 -0,996195	0,930244 -0,997564	0,965101 -0,999391	1,000000 -1,000000	1,087156 -0,996195	1,173648 -0,984808	1,258819 -0,965926

γ° r	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°
1,00	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000
1,02	0,026840 -0,018793	0,028452 -0,018126	0,030000 -0,017320	0,031471 -0,016383	0,032855 -0,015320	0,034142 -0,014142	0,035320 -0,012855	0,036383 -0,011471	0,037320 -0,010000	0,038126 -0,008452
1,04	0,053680 -0,037587	0,056904 -0,036252	0,060000 -0,034641	0,065115 -0,030641	0,068284 -0,028284	0,070641 -0,025711	0,072766 -0,023139	0,074641 -0,020900	0,076252 -0,018604	0,077652 -0,016904
1,05	0,067101 -0,046984	0,071130 -0,045315	0,075000 -0,043301	0,078678 -0,040957	0,082139 -0,038302	0,085355 -0,035355	0,088302 -0,032139	0,090957 -0,028678	0,093301 -0,025000	0,095315 -0,021130
1,06	0,080521 -0,056381	0,085357 -0,054378	0,090000 -0,051961	0,094414 -0,049149	0,098567 -0,045962	0,102426 -0,042426	0,105962 -0,038567	0,109149 -0,034414	0,111961 -0,030000	0,114378 -0,025357
1,08	0,107361 -0,075175	0,113809 -0,072504	0,120000 -0,069282	0,125886 -0,065532	0,131423 -0,061283	0,136568 -0,056568	0,141283 -0,051423	0,145532 -0,045886	0,149282 -0,040000	0,152504 -0,033809
1,10	0,134202 -0,093969	0,142261 -0,090630	0,150000 -0,086602	0,157357 -0,081915	0,164278 -0,076604	0,170710 -0,070710	0,176604 -0,064278	0,181915 -0,057357	0,186602 -0,050000	0,190530 -0,042261
1,12	0,161042 -0,112763	0,170714 -0,108757	0,180000 -0,103923	0,188829 -0,098298	0,197134 -0,091925	0,204852 -0,084852	0,211925 -0,077134	0,218298 -0,068829	0,223923 -0,060000	0,228757 -0,050714
1,14	0,187882 -0,131557	0,199166 -0,126883	0,210000 -0,121243	0,220300 -0,114681	0,229990 -0,107246	0,238995 -0,098995	0,247245 -0,089990	0,254681 -0,080300	0,261243 -0,070000	0,266883 -0,059166
1,15	0,201303 -0,140954	0,213392 -0,135946	0,225000 -0,129903	0,236036 -0,122872	0,246418 -0,114906	0,256066 -0,106066	0,264906 -0,096418	0,272872 -0,086036	0,279903 -0,075000	0,285946 -0,063392
1,16	0,214723 -0,150350	0,227618 -0,145009	0,240000 -0,138564	0,251772 -0,131064	0,262846 -0,122567	0,273137 -0,113137	0,282567 -0,102846	0,291064 -0,091772	0,298564 -0,080000	0,305009 -0,067618
1,18	0,241563 -0,169144	0,256071 -0,16313	0,270000 -0,155894	0,283243 -0,147447	0,295701 -0,137887	0,307279 -0,127279	0,317887 -0,115701	0,327447 -0,103243	0,335884 -0,090000	0,343135 -0,076071
1,20	0,268404 -0,187938	0,284523 -0,181261	0,300000 -0,173205	0,314715 -0,163830	0,328557 -0,153208	0,341421 -0,141421	0,353208 -0,128557	0,363830 -0,114715	0,373205 -0,100000	0,381261 -0,084523
1,22	0,295244 -0,206732	0,312976 -0,193387	0,330000 -0,190525	0,346186 -0,180213	0,361413 -0,168529	0,375563 -0,155563	0,388529 -0,141413	0,400213 -0,126186	0,410525 -0,110000	0,419387 -0,092975
1,24	0,322084 -0,225526	0,341428 -0,217513	0,360000 -0,207846	0,377658 -0,196596	0,394269 -0,183850	0,409705 -0,169705	0,423850 -0,154269	0,436596 -0,137658	0,447846 -0,120000	0,457513 -0,101428

1,25	0,335505 -0,234923	0,355554 -0,226577	0,375000 -0,216506	0,393394 -0,204788	0,410697 -0,191511	0,426776 -0,176776	0,441511 -0,160697	0,454788 -0,143394	0,466506 -0,125000	0,476577 -0,105654
1,26	0,348925 -0,244320	0,369880 -0,235640	0,390000 -0,225165	0,409129 -0,212979	0,427124 -0,199171	0,443947 -0,183847	0,459171 -0,167124	0,472979 -0,149129	0,485166 -0,130000	0,495640 -0,109880
1,28	0,375765 -0,263114	0,398333 -0,263766	0,420000 -0,242487	0,440601 -0,229362	0,459980 -0,214492	0,477990 -0,197990	0,494492 -0,179980	0,509362 -0,160601	0,522487 -0,140000	0,533766 -0,118333
1,30	0,402606 -0,281907	0,426785 -0,271892	0,450000 -0,259807	0,472072 -0,245745	0,492836 -0,229813	0,512132 -0,212132	0,529813 -0,192836	0,545745 -0,172072	0,559807 -0,150000	0,571892 -0,126785
1,32	0,429446 -0,300701	0,455237 -0,290018	0,480000 -0,277128	0,503544 -0,262128	0,525692 -0,245134	0,546274 -0,226274	0,565134 -0,205692	0,582128 -0,183544	0,597128 -0,160000	0,610018 -0,135237
1,34	0,456286 -0,319495	0,483690 -0,308144	0,510000 -0,294448	0,535015 -0,278511	0,558547 -0,260455	0,580416 -0,240416	0,600455 -0,218547	0,618511 -0,195015	0,634448 -0,170000	0,648144 -0,143690
1,35	0,469707 -0,328892	0,497916 -0,317207	0,525000 -0,303108	0,550751 -0,286703	0,574975 -0,268111	0,597487 -0,247487	0,618115 -0,224975	0,636703 -0,200751	0,653108 -0,175000	0,667207 -0,147916
1,36	0,483127 -0,338289	0,512142 -0,326270	0,540000 -0,311769	0,566487 -0,294894	0,591403 -0,275775	0,614558 -0,254558	0,635775 -0,231403	0,654894 -0,206487	0,671769 -0,180000	0,686270 -0,152142
1,38	0,509967 -0,357083	0,540594 -0,344397	0,570000 -0,329089	0,597958 -0,311277	0,624259 -0,291096	0,648700 -0,268700	0,671096 -0,244259	0,691277 -0,217958	0,709089 -0,190000	0,724397 -0,160594
1,40	0,536808 -0,375877	0,569047 -0,362523	0,600000 -0,346410	0,629430 -0,327660	0,657115 -0,306417	0,682842 -0,282842	0,706417 -0,257115	0,727660 -0,229430	0,746410 -0,200000	0,762523 -0,169047
1,42	0,563648 -0,394671	0,597499 -0,380649	0,630000 -0,363730	0,660901 -0,344043	0,689971 -0,321738	0,716984 -0,296984	0,741738 -0,269971	0,764043 -0,240901	0,783730 -0,210000	0,800649 -0,177499
1,44	0,590488 -0,413464	0,625951 -0,398775	0,650000 -0,381051	0,692373 -0,360426	0,722826 -0,337059	0,751127 -0,311127	0,777059 -0,282826	0,800426 -0,252373	0,821051 -0,220000	0,838775 -0,185951
1,45	0,603909 -0,422861	0,640178 -0,407838	0,675000 -0,389711	0,708109 -0,368618	0,739254 -0,344719	0,768198 -0,318198	0,794719 -0,289254	0,818618 -0,258109	0,839711 -0,225000	0,857838 -0,190178
1,46	0,617329 -0,432258	0,654404 -0,416901	0,690000 -0,396371	0,723845 -0,376909	0,756682 -0,352380	0,785269 -0,325269	0,812380 -0,295682	0,836809 -0,263845	0,858371 -0,230000	0,876901 -0,194404
1,48	0,644169 -0,451082	0,682856 -0,435027	0,720000 -0,415692	0,755316 -0,393193	0,788538 -0,367701	0,819411 -0,339411	0,847701 -0,308538	0,873193 -0,275316	0,895692 -0,240000	0,915027 -0,202856
1,50	0,671010 -0,469846	0,711309 -0,453154	0,750000 -0,433012	0,786788 -0,409876	0,821394 -0,383022	0,853553 -0,353553	0,883022 -0,321394	0,909576 -0,286788	0,933012 -0,250000	0,953154 -0,211309

$\frac{\lambda}{r}$	110°	115°	120°	125°	130°	135°	140°	145°	150°	155°
1.52	0.697850 -0.488640	0.739761 -0.471280	0.780000 -0.450333	0.818259 -0.425959	0.854249 -0.398342	0.887695 -0.367695	0.918342 -0.334249	0.945959 -0.298259	0.970333 -0.260000	0.991280 -0.219761
1.54	0.724690 -0.507434	0.768213 -0.489406	0.810000 -0.467653	0.849731 -0.442342	0.887105 -0.413663	0.921837 -0.381837	0.953563 -0.347105	0.982342 -0.309731	1.007553 -0.270000	1.029406 -0.228213
1.55	0.738111 -0.516831	0.782439 -0.498469	0.825000 -0.476313	0.865466 -0.450533	0.903533 -0.421324	0.938908 -0.388908	0.971324 -0.353533	1.000533 -0.315466	1.026313 -0.275000	1.048469 -0.232439
1.56	0.751531 -0.526228	0.796666 -0.507532	0.840000 -0.484974	0.881202 -0.458725	0.919961 -0.428984	0.955979 -0.395979	0.988984 -0.359961	1.018725 -0.321202	1.044974 -0.280000	1.067532 -0.236666
1.58	0.778371 -0.545021	0.825118 -0.525558	0.870000 -0.502294	0.912674 -0.475108	0.952317 -0.444305	0.990122 -0.410122	1.024305 -0.372817	1.055108 -0.332574	1.082294 -0.290000	1.105658 -0.245118
1.60	0.805212 -0.56381	0.853570 -0.543784	0.900000 -0.51951	0.944145 -0.491491	0.985672 -0.459626	1.024264 -0.424264	1.059626 -0.385672	1.091491 -0.344145	1.119615 -0.300000	1.143784 -0.253570
1.62	0.832052 -0.582695	0.882023 -0.561911	0.930000 -0.536935	0.975617 -0.507874	1.018528 -0.474947	1.058406 -0.438406	1.094947 -0.398528	1.127874 -0.355617	1.156935 -0.310000	1.181911 -0.262023
1.64	0.858892 -0.601403	0.910475 -0.580037	0.960000 -0.554256	1.007088 -0.524257	1.051384 -0.490268	1.092548 -0.452548	1.130268 -0.411384	1.164257 -0.367088	1.194256 -0.320000	1.220037 -0.270475
1.65	0.872313 -0.610800	0.924701 -0.59100	0.975000 -0.562916	1.022824 -0.532448	1.067812 -0.497928	1.109619 -0.459619	1.147928 -0.417812	1.182448 -0.372824	1.212916 -0.325000	1.239100 -0.274701
1.66	0.885733 -0.620197	0.938927 -0.598163	0.990000 -0.571576	1.038560 -0.540640	1.084240 -0.505589	1.126690 -0.466690	1.165589 -0.424240	1.200640 -0.378560	1.231576 -0.330000	1.258163 -0.278927
1.68	0.912573 -0.638991	0.967380 -0.616289	1.020000 -0.588897	1.070031 -0.557023	1.117095 -0.520909	1.160832 -0.480832	1.200909 -0.437095	1.237023 -0.390031	1.268897 -0.340000	1.296289 -0.287380
1.70	0.939414 -0.657785	0.995832 -0.634415	1.050000 -0.606217	1.101503 -0.573406	1.149951 -0.536230	1.194974 -0.494974	1.236230 -0.449951	1.273406 -0.401503	1.306217 -0.350000	1.334415 -0.295832
1.72	0.966254 -0.676579	1.024285 -0.652541	1.080000 -0.623538	1.132974 -0.589789	1.182807 -0.551551	1.229117 -0.509117	1.271551 -0.462807	1.309789 -0.412974	1.343538 -0.360000	1.372541 -0.304285
1.74	0.993094 -0.695372	1.052737 -0.670667	1.110000 -0.640858	1.164446 -0.606172	1.215663 -0.566872	1.263259 -0.523259	1.306872 -0.475663	1.346172 -0.424446	1.380858 -0.370000	1.410667 -0.312737
1.75	1.006515 -0.704769	1.066963 -0.679731	1.125000 -0.649518	1.180182 -0.614394	1.232091 -0.574533	1.280330 -0.530330	1.324533 -0.482091	1.364394 -0.430182	1.399518 -0.375000	1.429731 -0.316963

1,76	1,019935 -0,714165	1,081189 -0,688794	1,140000 -0,698179	1,195917 -0,622555	1,248518 -0,592193	1,297401 -0,537401	1,342193 -0,488518	1,382555 -0,435917	1,418179 -0,380000	1,399518 -0,375000	1,364364 -0,430182	1,429731 -0,316963
1,78	1,046775 -0,732960	1,109642 -0,706920	1,170000 -0,675499	1,227389 -0,638938	1,281374 -0,591514	1,331543 -0,551543	1,377514 -0,501374	1,418938 -0,447359	1,455499 -0,390000	1,486920 -0,329642	1,455499 -0,329642	1,486920 -0,329642
1,80	1,073616 -0,751754	1,138094 -0,725046	1,200000 -0,692820	1,258860 -0,655321	1,314230 -0,612835	1,365685 -0,565685	1,412835 -0,514230	1,455321 -0,458860	1,492820 -0,400000	1,525046 -0,338094	1,492820 -0,400000	1,525046 -0,338094
1,82	1,100456 -0,770548	1,165546 -0,743172	1,230000 -0,710140	1,290332 -0,671704	1,347086 -0,628156	1,399827 -0,579827	1,448156 -0,527086	1,491704 -0,470332	1,530140 -0,410000	1,563172 -0,346546	1,530140 -0,410000	1,563172 -0,346546
1,84	1,127295 -0,789342	1,194999 -0,761298	1,260000 -0,727461	1,321893 -0,688087	1,379941 -0,643477	1,433969 -0,593969	1,483476 -0,539941	1,528087 -0,481803	1,567461 -0,420000	1,601298 -0,354999	1,567461 -0,420000	1,601298 -0,354999
1,85	1,140717 -0,798739	1,209225 -0,770361	1,275000 -0,736121	1,337539 -0,696279	1,396369 -0,651137	1,451041 -0,601041	1,501137 -0,546369	1,546279 -0,487539	1,586121 -0,425000	1,620361 -0,35022	1,586121 -0,425000	1,620361 -0,35022
1,86	1,154137 -0,808136	1,223451 -0,779424	1,290000 -0,744781	1,353275 -0,704470	1,412797 -0,658797	1,468112 -0,608112	1,518797 -0,552797	1,564470 -0,493275	1,604781 -0,430000	1,639424 -0,363451	1,604781 -0,430000	1,639424 -0,363451
1,88	1,180977 -0,826929	1,251903 -0,797551	1,320000 -0,762102	1,384746 -0,720853	1,445553 -0,674118	1,502254 -0,622254	1,554118 -0,565553	1,600853 -0,504746	1,642102 -0,440000	1,677551 -0,371903	1,642102 -0,440000	1,677551 -0,371903
1,90	1,207818 -0,845723	1,280356 -0,815677	1,350000 -0,779422	1,416218 -0,737236	1,478509 -0,689439	1,536396 -0,636396	1,589439 -0,578509	1,637236 -0,516218	1,679422 -0,450000	1,715677 -0,380356	1,679422 -0,450000	1,715677 -0,380356
1,92	1,234658 -0,864517	1,308808 -0,833803	1,380000 -0,796743	1,447689 -0,753619	1,511365 -0,704760	1,570538 -0,650538	1,624760 -0,591365	1,673619 -0,527689	1,716743 -0,460000	1,753803 -0,388803	1,716743 -0,460000	1,753803 -0,388803
1,94	1,261498 -0,883311	1,337260 -0,851929	1,410000 -0,814063	1,479161 -0,770002	1,544220 -0,720081	1,604680 -0,664680	1,660081 -0,604220	1,710002 -0,539161	1,754063 -0,470000	1,791929 -0,397260	1,754063 -0,470000	1,791929 -0,397260
1,95	1,274919 -0,892708	1,351487 -0,860992	1,425000 -0,822723	1,494897 -0,778194	1,560648 -0,727741	1,621751 -0,671751	1,677741 -0,610648	1,728194 -0,544897	1,772723 -0,475000	1,810992 -0,401487	1,772723 -0,475000	1,810992 -0,401487
1,96	1,288339 -0,902105	1,365713 -0,870055	1,440000 -0,831384	1,510633 -0,783885	1,577076 -0,735402	1,638822 -0,678822	1,695402 -0,617076	1,74638 -0,550633	1,791384 -0,480000	1,830055 -0,405713	1,791384 -0,480000	1,830055 -0,405713
1,98	1,315179 -0,920899	1,394165 -0,888181	1,470000 -0,848704	1,542104 -0,802769	1,609932 -0,750723	1,672984 -0,692984	1,730723 -0,629932	1,782769 -0,562104	1,828704 -0,490000	1,868181 -0,414165	1,828704 -0,490000	1,868181 -0,414165
2,00	1,342020 -0,939693	1,422618 -0,906308	1,500000 -0,866025	1,573576 -0,819152	1,642788 -0,766044	1,707107 -0,707107	1,766044 -0,642788	1,819152 -0,573576	1,86602 -0,500000	1,906308 -0,422618	1,86602 -0,500000	1,906308 -0,422618

r γ°	160°	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°	200°	205°
1,00	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000
1,02	0,038793 -0,006840	0,039318 -0,005176	0,039692 -0,003473	0,039923 -0,001743	0,040000 0,000000	0,039923 0,001743	0,39696 0,003473	0,039318 0,005176	0,038793 0,006840	0,038126 0,008452
1,04	0,077587 -0,013680	0,078637 -0,010352	0,079392 -0,006945	0,079847 -0,003486	0,080000 0,000000	0,079847 0,003486	0,079392 0,006945	0,078637 0,010352	0,077587 0,013680	0,076252 0,016904
1,05	0,096984 -0,017101	0,098296 -0,012941	0,099240 -0,008682	0,099809 -0,004357	0,100000 0,000000	0,099809 0,004357	0,099240 0,008682	0,098296 0,012941	0,096984 0,017101	0,095315 0,021130
1,06	0,116381 -0,020521	0,117955 -0,015529	0,119088 -0,010418	0,119771 -0,005229	0,120000 0,000000	0,119771 0,005229	0,119088 0,010418	0,117955 0,015529	0,116381 0,020521	0,114378 0,025357
1,08	0,155175 -0,027361	0,157274 -0,020705	0,158784 -0,017364	0,159695 -0,008715	0,160000 0,000000	0,159695 0,008715	0,158784 0,017364	0,157274 0,020705	0,155175 0,027361	0,152504 0,033809
1,10	0,193669 -0,034202	0,196592 -0,025881	0,198480 -0,017364	0,199619 -0,008715	0,200000 0,000000	0,199619 0,008715	0,198480 0,017364	0,196592 0,025881	0,193669 0,034202	0,190630 0,042261
1,12	0,232763 -0,041042	0,235911 -0,031058	0,238177 -0,020837	0,239543 -0,010458	0,240000 0,000000	0,239543 0,010458	0,238177 0,020837	0,235911 0,031058	0,232763 0,041042	0,228757 0,050714
1,14	0,271557 -0,047882	0,275229 -0,036234	0,277873 -0,024310	0,279467 -0,012201	0,280000 0,000000	0,279467 0,012201	0,277873 0,024310	0,275229 0,036234	0,271557 0,047882	0,266883 0,059166
1,15	0,290954 -0,051303	0,294888 -0,038822	0,297721 -0,026047	0,299429 -0,013073	0,300000 0,000000	0,299429 0,013073	0,297721 0,026047	0,294888 0,038822	0,290954 0,051303	0,285946 0,063392
1,16	0,310350 -0,054723	0,314548 -0,041411	0,317569 -0,027783	0,319391 -0,013945	0,320000 0,000000	0,319391 0,013945	0,317569 0,027783	0,314548 0,041411	0,310350 0,054723	0,305009 0,067618
1,18	0,349144 -0,061563	0,353866 -0,046587	0,357265 -0,031256	0,359315 -0,018688	0,360000 0,000000	0,359315 0,018688	0,357265 0,031256	0,353866 0,046587	0,349144 0,061563	0,343135 0,076071
1,20	0,387938 -0,068404	0,393185 -0,051763	0,396961 -0,034729	0,399239 -0,017431	0,400000 0,000000	0,399239 0,017431	0,396961 0,034729	0,393185 0,051763	0,387938 0,068404	0,381261 0,084523
1,22	0,425732 -0,075244	0,432503 -0,056940	0,436657 -0,038202	0,439162 -0,019174	0,440000 0,000000	0,439162 0,019174	0,436657 0,038202	0,432503 0,056940	0,425732 0,075244	0,419387 0,092976
1,24	0,465526 -0,082084	0,471822 -0,062116	0,476353 -0,041675	0,479086 -0,020917	0,480000 0,000000	0,479086 0,020917	0,476353 0,041675	0,471822 0,062116	0,465526 0,082084	0,457513 0,101428

$\frac{\gamma}{r}$	160°	165°	170°	175°	180°	185°	190°	195°	200°	205°
1.52	1,008640 -0,177850	1,022281 -0,134585	1,032100 -0,090297	1,038021 -0,045321	1,040000 0,000000	1,038021 0,045321	1,032100 0,090297	1,022281 0,134585	1,008640 0,177850	0,991280 0,219761
1.54	1,047434 -0,184690	1,061600 -0,139762	1,071796 -0,093769	1,077945 -0,047064	1,080000 0,000000	1,077945 0,047064	1,071796 0,093769	1,061600 0,139762	1,047434 0,184690	1,029406 0,228213
1.55	1,066831 -0,188111	1,081259 -0,142350	1,091644 -0,095506	1,097907 -0,047935	1,100000 0,000000	1,097907 0,047935	1,091644 0,095506	1,081259 0,142350	1,066831 0,188111	1,048469 0,232439
1.56	1,086228 -0,191531	1,100918 -0,144938	1,111492 -0,097242	1,117869 -0,048807	1,120000 0,000000	1,117869 0,048807	1,111492 0,097242	1,100918 0,144938	1,086228 0,191531	1,067532 0,236666
1.58	1,125021 -0,198371	1,140237 -0,150115	1,151188 -0,100715	1,157793 -0,050550	1,160000 0,000000	1,157793 0,050550	1,151188 0,100715	1,140237 0,150115	1,125021 0,198371	1,105658 0,245118
1.60	1,163815 -0,205212	1,179555 -0,155291	1,190884 -0,104188	1,197717 -0,052293	1,200000 0,000000	1,197717 0,052293	1,190884 0,104188	1,179555 0,155291	1,163815 0,205212	1,143784 0,253570
1.62	1,202609 -0,212032	1,218874 -0,160467	1,230581 -0,107661	1,237640 -0,054036	1,240000 0,000000	1,237640 0,054036	1,230581 0,107661	1,218874 0,160467	1,202609 0,212032	1,181911 0,262023
1.64	1,241403 -0,218892	1,258192 -0,165644	1,270277 -0,111134	1,277564 -0,055779	1,280000 0,000000	1,277564 0,055779	1,270277 0,111134	1,258192 0,165644	1,241403 0,218892	1,220037 0,270475
1.65	1,260800 -0,222313	1,277851 -0,168232	1,290125 -0,112871	1,297526 -0,056651	1,300000 0,000000	1,297526 0,056651	1,290125 0,112871	1,277851 0,168232	1,260800 0,222313	1,239100 0,274701
1.66	1,280197 -0,225733	1,297511 -0,170820	1,309973 -0,114607	1,317488 -0,057523	1,320000 0,000000	1,317488 0,057523	1,309973 0,114607	1,297511 0,170820	1,280197 0,225733	1,258163 0,278927
1.68	1,318991 -0,232573	1,336829 -0,175996	1,349669 -0,118080	1,357412 -0,059266	1,360000 0,000000	1,357412 0,059266	1,349669 0,118080	1,336829 0,175996	1,318991 0,232573	1,296289 0,287380
1.70	1,357785 -0,239414	1,376148 -0,181173	1,389365 -0,121553	1,397336 -0,061009	1,400000 0,000000	1,397336 0,061009	1,389365 0,121553	1,376148 0,181173	1,357785 0,239414	1,334415 0,295832
1.72	1,396579 -0,246254	1,415466 -0,186349	1,429061 -0,125026	1,437260 -0,062752	1,440000 0,000000	1,437260 0,062752	1,429061 0,125026	1,415466 0,186349	1,396579 0,246254	1,372541 0,304285
1.74	1,435372 -0,253094	1,454785 -0,191526	1,468757 -0,128499	1,477184 -0,064495	1,480000 0,000000	1,477184 0,064495	1,468757 0,128499	1,454785 0,191526	1,435372 0,253094	1,410667 0,312737
1.75	1,454769 -0,256515	1,474444 -0,194114	1,488606 -0,130236	1,497146 -0,065367	1,500000 0,000000	1,497146 0,065367	1,488606 0,130236	1,474444 0,194114	1,454769 0,256515	1,429731 0,316963

1,76	1,474166 -0,259935	1,494103 -0,196702	1,508454 -0,131972	1,517108 0,066238	1,520000 0,000000	1,517108 0,066238	1,508454 0,131972	1,494103 0,196702	1,474166 0,259935	1,448794 0,321189
1,78	1,512960 -0,266775	1,533422 -0,201878	1,548150 -0,135445	1,557032 -0,067981	1,560000 0,000000	1,557032 0,067981	1,548150 0,135445	1,533422 0,201878	1,512960 0,266775	1,486920 0,329642
1,80	1,551754 -0,273516	1,572740 -0,207055	1,587846 -0,138918	1,596956 -0,069724	1,600000 0,000000	1,596956 0,069724	1,587846 0,138918	1,572740 0,207055	1,551754 0,273516	1,525046 0,338094
1,82	1,590548 -0,280456	1,612059 -0,212231	1,627542 -0,142391	1,636879 -0,071467	1,640000 0,000000	1,636879 0,071467	1,627542 0,142391	1,612059 0,212231	1,590548 0,280456	1,563172 0,346546
1,84	1,629342 -0,287296	1,651377 -0,217408	1,667238 -0,145864	1,676803 -0,073211	1,680000 0,000000	1,676803 0,073211	1,667238 0,145864	1,651377 0,217408	1,629342 0,287296	1,601298 0,354999
1,85	1,648739 -0,290717	1,671037 -0,219996	1,687086 -0,147600	1,696765 -0,074082	1,700000 0,000000	1,696765 0,074082	1,687086 0,147600	1,671037 0,219996	1,648739 0,290717	1,620361 0,359225
1,86	1,668136 -0,294137	1,690696 -0,222584	1,706934 -0,149337	1,716727 -0,074954	1,720000 0,000000	1,716727 0,074954	1,706934 0,149337	1,690696 0,222584	1,668136 0,294137	1,639424 0,363451
1,88	1,706929 -0,300977	1,730014 -0,227760	1,746631 -0,152810	1,756651 -0,076697	1,760000 0,000000	1,756651 0,076697	1,746631 0,152810	1,730014 0,227760	1,706929 0,300977	1,677551 0,371903
1,90	1,745723 -0,307818	1,769333 -0,232937	1,786327 -0,156283	1,796575 -0,078440	1,800000 0,000000	1,796575 0,078440	1,786327 0,156283	1,769333 0,232937	1,745723 0,307818	1,715677 0,380356
1,92	1,784517 -0,314658	1,808651 -0,238113	1,826023 -0,159756	1,836499 -0,080183	1,840000 0,000000	1,836499 0,080183	1,826023 0,159756	1,808651 0,238113	1,784517 0,314658	1,753803 0,388808
1,94	1,823311 -0,321498	1,847970 -0,243289	1,865719 -0,163229	1,876423 -0,081925	1,880000 0,000000	1,876423 0,081925	1,865719 0,163229	1,847970 0,243289	1,823311 0,321498	1,791919 0,397609
1,95	1,842708 -0,324919	1,867629 -0,245878	1,885567 -0,164965	1,896385 -0,082798	1,900000 0,000000	1,896385 0,082798	1,885567 0,164965	1,867629 0,245878	1,842708 0,324919	1,810992 0,401487
1,96	1,862105 -0,328339	1,887289 -0,248466	1,905415 -0,166702	1,916347 -0,083669	1,920000 0,000000	1,916347 0,083669	1,905415 0,166702	1,887289 0,248466	1,862105 0,328339	1,830055 0,408713
1,98	1,900899 -0,335179	1,926607 -0,253642	1,945111 -0,170175	1,956271 -0,085412	1,960000 0,000000	1,956271 0,085412	1,945111 0,170175	1,926607 0,253642	1,900899 0,335179	1,868181 0,414165
2,00	1,959593 -0,342020	1,985926 -0,258819	1,984808 -0,173648	1,996195 -0,087156	2,000000 0,000000	1,996195 0,087156	1,984808 0,173648	1,985926 0,258819	1,959593 0,342020	1,906308 0,422618

γ° r	210°	215°	220°	225°	230°	235°	240°	245°	250°	255°
1,00	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000	0,000000 0,000000 0,000000
1,02	0,037320 0,010000	0,036383 0,011471	0,035320 0,012855	0,034142 0,014142	0,032855 0,015320	0,031471 0,016383	0,030000 0,017320	0,028452 0,018126	0,026840 0,018793	0,025176 0,019318
1,04	0,074641 0,020000	0,072766 0,022943	0,070641 0,025711	0,068284 0,028284	0,065711 0,030641	0,062943 0,032766	0,060000 0,034641	0,056904 0,036252	0,053680 0,037587	0,050352 0,038637
1,05	0,093301 0,025000	0,090957 0,028678	0,088302 0,032139	0,085555 0,035355	0,082139 0,038302	0,078678 0,040957	0,075000 0,043301	0,071130 0,045315	0,067101 0,046984	0,062941 0,048296
1,06	0,111951 0,030000	0,109149 0,034414	0,105962 0,038567	0,102426 0,042426	0,098557 0,045962	0,094414 0,049149	0,090000 0,051961	0,085357 0,054378	0,080521 0,056381	0,075529 0,057955
1,08	0,149282 0,040000	0,145532 0,045886	0,141285 0,051423	0,136568 0,056568	0,131423 0,061283	0,125886 0,065532	0,120000 0,069282	0,113809 0,072504	0,107361 0,075175	0,100705 0,077274
1,10	0,186602 0,050000	0,181915 0,057357	0,176604 0,064278	0,170710 0,070710	0,164278 0,076604	0,157357 0,081915	0,150000 0,086602	0,142261 0,090630	0,134202 0,093969	0,125881 0,096592
1,12	0,223923 0,060000	0,218298 0,068829	0,211925 0,077134	0,204852 0,084852	0,197134 0,091925	0,188829 0,098298	0,180000 0,103923	0,170714 0,108757	0,161042 0,112763	0,151058 0,115911
1,14	0,261243 0,070000	0,254681 0,080300	0,247246 0,089990	0,238995 0,098995	0,229990 0,107246	0,220300 0,114681	0,210000 0,121243	0,199166 0,126883	0,187882 0,131557	0,176234 0,135229
1,15	0,279903 0,075000	0,272872 0,086036	0,264906 0,096418	0,256066 0,106066	0,246418 0,114906	0,236036 0,122872	0,225000 0,129903	0,213392 0,135946	0,201303 0,140954	0,188822 0,144888
1,16	0,298564 0,080000	0,291064 0,091772	0,282567 0,102846	0,273137 0,113137	0,262846 0,122567	0,251772 0,131064	0,240000 0,138564	0,227618 0,145009	0,214723 0,150350	0,201411 0,154548
1,18	0,335884 0,090000	0,327447 0,103243	0,317887 0,115701	0,307279 0,127279	0,295701 0,137887	0,283243 0,147447	0,270000 0,155884	0,256071 0,163135	0,241563 0,169144	0,226587 0,173866
1,20	0,373205 0,100000	0,363830 0,114715	0,353208 0,128557	0,341421 0,141421	0,328557 0,153208	0,314715 0,163830	0,300000 0,173205	0,284523 0,181261	0,268404 0,187938	0,251763 0,193185
1,22	0,410525 0,110000	0,400213 0,126186	0,388529 0,141413	0,375563 0,155563	0,361413 0,168529	0,346186 0,180213	0,330000 0,190525	0,312976 0,199387	0,295244 0,206732	0,276940 0,212503
1,24	0,447846 0,120000	0,436596 0,137658	0,423850 0,254269	0,409705 0,169705	0,394269 0,183850	0,377658 0,196596	0,360000 0,207846	0,341428 0,217513	0,322084 0,225526	0,302116 0,231822

$\frac{r}{\rho}$	210°	215°	220°	225°	230°	235°	240°	245°	250°	255°
1,52	0,970333 0,260000	0,945959 0,298259	0,918342 0,334249	0,887695 0,367695	0,854249 0,398342	0,818259 0,425959	0,780000 0,450333	0,739761 0,471280	0,697850 0,488640	0,654585 0,502281
1,54	1,007653 0,270000	0,982342 0,309731	0,953663 0,347105	0,921837 0,381837	0,887105 0,413663	0,849731 0,442342	0,810000 0,467653	0,768213 0,489406	0,724690 0,501434	0,679762 0,521600
1,55	1,026313 0,275000	1,000533 0,315466	0,971324 0,353533	0,938908 0,388908	0,903533 0,421324	0,865466 0,450533	0,825000 0,476313	0,782439 0,498469	0,738111 0,516831	0,692350 0,531259
1,56	1,044974 0,280000	1,018725 0,321202	0,988984 0,359961	0,955979 0,395979	0,919961 0,428984	0,881202 0,458725	0,840000 0,484974	0,796666 0,507532	0,751531 0,526228	0,704938 0,540918
1,58	1,082294 0,290000	0,055108 0,332674	1,024305 0,372817	0,990122 0,410122	0,952817 0,444305	0,912674 0,475108	0,870000 0,502294	0,825118 0,525658	0,778371 0,545021	0,730115 0,560237
1,60	1,119515 0,300000	1,091491 0,344156	1,059626 0,385672	1,024264 0,424264	0,985572 0,459626	0,944145 0,491491	0,900000 0,519615	0,853570 0,538784	0,805212 0,563815	0,755291 0,579555
1,62	1,155935 0,310000	1,127874 0,355617	1,094947 0,398528	1,058406 0,438406	1,018528 0,474947	0,975617 0,507874	0,930000 0,536935	0,882023 0,561911	0,832052 0,582609	0,780467 0,598874
1,64	1,194256 0,320000	1,164257 0,367088	1,130268 0,411384	1,092548 0,452548	1,051384 0,490268	1,007088 0,524257	0,960000 0,554256	0,910475 0,580037	0,858892 0,601403	0,805644 0,618192
1,65	1,212916 0,325000	1,182448 0,372824	1,147928 0,417812	1,109619 0,459619	1,067812 0,497928	1,022824 0,532448	0,975000 0,562916	0,924701 0,589100	0,872313 0,610800	0,818232 0,627851
1,66	1,231576 0,330000	1,200640 0,378520	1,165589 0,424240	1,126690 0,466690	1,084240 0,505589	1,038560 0,540640	0,990000 0,571576	0,938927 0,598163	0,885733 0,620197	0,830820 0,637511
1,68	1,26897 0,340000	1,237023 0,390031	1,200909 0,437095	1,160832 0,480832	1,117095 0,520909	1,070031 0,557023	1,200000 0,588897	0,967380 0,616289	0,912573 0,638991	0,855906 0,656839
1,70	1,306217 0,350000	1,273406 0,401503	1,236230 0,449951	1,194974 0,494974	1,149951 0,536230	1,101503 0,573406	1,050000 0,606217	0,99832 0,634415	0,939414 0,657785	0,881173 0,676148
1,72	1,343538 0,360000	1,309789 0,412974	1,271551 0,462807	1,229117 0,509117	1,182807 0,551551	1,132974 0,589789	1,080000 0,623538	1,024285 0,652541	0,966254 0,676579	0,906349 0,695466
1,74	1,380858 0,370000	1,346172 0,424446	1,306872 0,475663	1,263259 0,523259	1,215663 0,566872	1,164446 0,606172	1,110000 0,640858	1,052737 0,670667	0,993094 0,695372	0,931526 0,714785
1,75	1,399518 0,375000	1,364364 0,430182	1,324533 0,482091	1,280330 0,530330	1,232091 0,574533	1,180182 0,614364	1,125000 0,649518	1,069663 0,679731	1,006515 0,704769	0,944114 0,724444

λ °	260°	265°	270°	275°	280°	285°	290°	295°	300°	305°
1, 00	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000	0, 000000 0, 000000
1, 02	0, 023473 0, 199696	0, 021743 0, 019923	0, 020000 0, 020000	0, 018056 0, 019923	0, 016557 0, 019596	0, 014823 0, 019318	0, 018159 0, 018793	0, 011547 0, 018126	0, 010000 0, 017320	0, 008528 0, 016383
1, 04	0, 046945 0, 039392	0, 043485 0, 039847	0, 040000 0, 040000	0, 036513 0, 039547	0, 033054 0, 039392	0, 029647 0, 038637	0, 026319 0, 037587	0, 023095 0, 036252	0, 020000 0, 034641	0, 017057 0, 032766
1, 05	0, 058682 0, 049240	0, 054357 0, 049809	0, 050000 0, 050000	0, 046442 0, 049809	0, 041317 0, 049240	0, 037059 0, 048296	0, 032899 0, 046984	0, 028869 0, 045315	0, 025000 0, 043301	0, 021321 0, 040957
1, 06	0, 070418 0, 059088	0, 065229 0, 059771	0, 060000 0, 060000	0, 054770 0, 059771	0, 049581 0, 059088	0, 044470 0, 057955	0, 039478 0, 056381	0, 034042 0, 054378	0, 030000 0, 051961	0, 025585 0, 049149
1, 08	0, 093891 0, 078784	0, 086972 0, 079695	0, 080000 0, 080000	0, 073027 0, 079695	0, 065108 0, 078784	0, 059294 0, 077274	0, 052638 0, 075175	0, 046190 0, 072504	0, 040000 0, 069282	0, 034113 0, 065532
1, 10	0, 117364 0, 098480	0, 108715 0, 099619	0, 100000 0, 100000	0, 091284 0, 099619	0, 082635 0, 098480	0, 074118 0, 096592	0, 065798 0, 093969	0, 057738 0, 090630	0, 050000 0, 086602	0, 042642 0, 081915
1, 12	0, 140837 0, 118177	0, 130458 0, 119543	0, 120000 0, 120000	0, 100541 0, 119543	0, 093162 0, 118177	0, 088941 0, 115911	0, 078957 0, 112763	0, 069285 0, 108757	0, 060000 0, 103923	0, 051170 0, 098298
1, 14	0, 164310 0, 137873	0, 152201 0, 139467	0, 140000 0, 140000	0, 127798 0, 139467	0, 115689 0, 137873	0, 103765 0, 135229	0, 092117 0, 131557	0, 080833 0, 126883	0, 070000 0, 121243	0, 059699 0, 114681
1, 15	0, 176047 0, 147721	0, 163073 0, 149429	0, 150000 0, 150000	0, 136026 0, 149429	0, 123952 0, 147721	0, 111177 0, 144888	0, 098697 0, 140954	0, 086607 0, 135946	0, 075000 0, 129903	0, 063963 0, 122872
1, 16	0, 187783 0, 157599	0, 173945 0, 159391	0, 160000 0, 160000	0, 146055 0, 159391	0, 132216 0, 157599	0, 118089 0, 154548	0, 105276 0, 150350	0, 092381 0, 145009	0, 080000 0, 138564	0, 068227 0, 131064
1, 18	0, 211256 0, 177205	0, 195688 0, 179315	0, 180000 0, 180000	0, 164311 0, 179315	0, 148743 0, 177205	0, 133412 0, 173866	0, 118436 0, 169144	0, 103928 0, 163135	0, 090000 0, 155884	0, 076756 0, 147447
1, 20	0, 234729 0, 196961	0, 217431 0, 199239	0, 200000 0, 200000	0, 185268 0, 199239	0, 165270 0, 196961	0, 148236 0, 193185	0, 131596 0, 187938	0, 115476 0, 181261	0, 100000 0, 173205	0, 085284 0, 163830
1, 22	0, 258202 0, 216657	0, 239174 0, 219162	0, 220000 0, 220000	0, 200825 0, 219162	0, 181797 0, 216657	0, 163059 0, 212503	0, 144755 0, 206732	0, 127024 0, 199387	0, 110000 0, 190525	0, 093813 0, 180213
1, 24	0, 281675 0, 236353	0, 260917 0, 239086	0, 240000 0, 240000	0, 219082 0, 239086	0, 198324 0, 236353	0, 177883 0, 231822	0, 157915 0, 225526	0, 138571 0, 217513	0, 120000 0, 207846	0, 102341 0, 196596

1, 25	0, 293412 0, 246202	0, 271789 0, 249048	0, 250000 0, 250000	0, 228211 0, 249048	0, 208588 0, 246202	0, 185295 0, 241481	0, 164495 0, 234923	0, 144345 0, 226577	0, 125000 0, 216506	0, 106606 0, 204788
1, 26	0, 305148 0, 256050	0, 282560 0, 259010	0, 260000 0, 260000	0, 237339 0, 259010	0, 214851 0, 256050	0, 192707 0, 251140	0, 171074 0, 244320	0, 150119 0, 235640	0, 130000 0, 225166	0, 110870 0, 212979
1, 28	0, 328621 0, 275746	0, 304403 0, 278934	0, 280000 0, 280000	0, 255596 0, 278934	0, 231378 0, 275746	0, 207530 0, 270459	0, 184234 0, 263114	0, 161667 0, 253766	0, 140000 0, 242487	0, 119398 0, 229362
1, 30	0, 352094 0, 295442	0, 326146 0, 298858	0, 300000 0, 300000	0, 273353 0, 298858	0, 247905 0, 295442	0, 222354 0, 289777	0, 197394 0, 281907	0, 173214 0, 271892	0, 150000 0, 259807	0, 127927 0, 245745
1, 32	0, 375567 0, 315138	0, 347889 0, 318782	0, 320000 0, 320000	0, 292110 0, 318782	0, 264432 0, 315138	0, 237177 0, 309096	0, 210553 0, 300701	0, 184762 0, 290018	0, 160000 0, 277128	0, 136455 0, 262128
1, 34	0, 399040 0, 334834	0, 369633 0, 338706	0, 340000 0, 340000	0, 310367 0, 338706	0, 280959 0, 334834	0, 252001 0, 328414	0, 223713 0, 319495	0, 196309 0, 308144	0, 170000 0, 294448	0, 144984 0, 278511
1, 35	0, 410776 0, 344682	0, 380504 0, 348668	0, 350000 0, 350000	0, 319495 0, 348668	0, 289223 0, 344682	0, 259413 0, 338074	0, 230293 0, 328892	0, 202083 0, 317207	0, 175000 0, 303108	0, 149248 0, 286703
1, 36	0, 422513 0, 354530	0, 391376 0, 358630	0, 360000 0, 360000	0, 328623 0, 358630	0, 297486 0, 354530	0, 266825 0, 347733	0, 236872 0, 338289	0, 207857 0, 326270	0, 180000 0, 311769	0, 153512 0, 294894
1, 38	0, 445986 0, 374227	0, 413119 0, 378554	0, 380000 0, 380000	0, 346880 0, 378554	0, 314013 0, 374227	0, 281648 0, 367051	0, 250032 0, 357083	0, 219405 0, 344397	0, 190000 0, 329089	0, 162041 0, 311277
1, 40	0, 469459 0, 393923	0, 434862 0, 398478	0, 400000 0, 400000	0, 365137 0, 398478	0, 330540 0, 393923	0, 296472 0, 386370	0, 263192 0, 375877	0, 230952 0, 362523	0, 200000 0, 346410	0, 170569 0, 327660
1, 42	0, 492932 0, 413619	0, 456605 0, 418401	0, 420000 0, 420000	0, 383394 0, 418401	0, 347037 0, 413619	0, 311296 0, 405688	0, 276351 0, 394671	0, 242500 0, 380649	0, 210000 0, 363730	0, 179098 0, 344043
1, 44	0, 516405 0, 433315	0, 478348 0, 438325	0, 440000 0, 440000	0, 401651 0, 438325	0, 363594 0, 433315	0, 326119 0, 425007	0, 289511 0, 413464	0, 254048 0, 398775	0, 220000 0, 381051	0, 187626 0, 360426
1, 45	0, 528141 0, 443163	0, 489220 0, 448287	0, 450000 0, 450000	0, 410779 0, 448287	0, 371858 0, 443163	0, 335531 0, 434666	0, 296091 0, 422861	0, 259821 0, 407838	0, 225000 0, 389711	0, 191890 0, 368616
1, 46	0, 539878 0, 453011	0, 500091 0, 458249	0, 460000 0, 460000	0, 419908 0, 458249	0, 380121 0, 453011	0, 340943 0, 444326	0, 302670 0, 432258	0, 265595 0, 416901	0, 230000 0, 398371	0, 196155 0, 376809
1, 48	0, 563351 0, 472707	0, 521834 0, 478173	0, 480000 0, 480000	0, 438165 0, 478173	0, 396648 0, 472707	0, 355766 0, 463644	0, 315830 0, 451052	0, 277143 0, 435027	0, 240000 0, 415682	0, 204683 0, 393193
1, 50	0, 586824 0, 492404	0, 543578 0, 498097	0, 500000 0, 500000	0, 456422 0, 498097	0, 413176 0, 492404	0, 370590 0, 482963	0, 328990 0, 469846	0, 288691 0, 453154	0, 250000 0, 433012	0, 213212 0, 409576

r	θ	260°	265°	270°	275°	280°	285°	290°	295°	300°	305°
1,52		0,610297 0,512100	0,565321 0,518021	0,520000 0,520000	0,474678 0,518021	0,429703 0,512100	0,385414 0,502281	0,342149 0,488640	0,300238 0,471280	0,260000 0,450333	0,221740 0,425959
1,54		0,633769 0,531796	0,587064 0,537945	0,540000 0,540000	0,492935 0,537945	0,446230 0,531796	0,400237 0,521600	0,355309 0,507434	0,311786 0,489406	0,270000 0,467653	0,230269 0,442342
1,55		0,645508 0,541644	0,597935 0,547907	0,550000 0,550000	0,502064 0,547907	0,454493 0,541644	0,407649 0,531259	0,361889 0,516831	0,317560 0,498469	0,275000 0,476313	0,234533 0,450533
1,56		0,657242 0,551492	0,608807 0,557869	0,560000 0,560000	0,511192 0,557869	0,462757 0,551492	0,415061 0,540918	0,369468 0,526228	0,323333 0,507532	0,280000 0,484970	0,238797 0,458725
1,58		0,680715 0,571188	0,630550 0,577793	0,580000 0,580000	0,529449 0,577793	0,479284 0,571188	0,429885 0,560237	0,381628 0,545021	0,334881 0,526658	0,290000 0,502294	0,247325 0,475108
1,60		0,704188 0,590884	0,652293 0,597717	0,600000 0,600000	0,547706 0,597717	0,495811 0,590884	0,444708 0,579555	0,394788 0,563815	0,346429 0,543784	0,300000 0,519615	0,255854 0,491491
1,62		0,727661 0,610581	0,674036 0,617640	0,620000 0,620000	0,568963 0,617640	0,512338 0,610581	0,459532 0,598374	0,407947 0,582609	0,357976 0,561911	0,310000 0,536935	0,264382 0,507874
1,64		0,751134 0,630277	0,695779 0,637564	0,640000 0,640000	0,584220 0,637564	0,528865 0,630277	0,474355 0,618192	0,421107 0,601403	0,369524 0,580037	0,320000 0,554256	0,272911 0,524257
1,65		0,762871 0,640125	0,706651 0,647526	0,650000 0,650000	0,593348 0,647526	0,537128 0,640125	0,481767 0,627851	0,427687 0,610800	0,375298 0,589100	0,325000 0,562916	0,277175 0,532448
1,66		0,774607 0,649973	0,717523 0,657488	0,660000 0,660000	0,602477 0,657488	0,545392 0,649973	0,489179 0,637511	0,434266 0,620197	0,381072 0,598163	0,330000 0,571576	0,281439 0,540640
1,68		0,798080 0,669669	0,739266 0,677412	0,680000 0,680000	0,620733 0,677412	0,561919 0,669669	0,504003 0,656829	0,447426 0,638991	0,392619 0,616289	0,340000 0,568897	0,289968 0,557023
1,70		0,821553 0,689365	0,761009 0,697336	0,700000 0,700000	0,638990 0,697336	0,578446 0,689365	0,518826 0,676148	0,460586 0,657785	0,404167 0,634415	0,350000 0,606217	0,298496 0,573406
1,72		0,845026 0,709061	0,782752 0,717260	0,720000 0,720000	0,657247 0,717260	0,594973 0,709061	0,533650 0,695466	0,473745 0,676579	0,415715 0,652541	0,360000 0,623338	0,307025 0,589789
1,74		0,868499 0,728757	0,804495 0,737184	0,740000 0,740000	0,675504 0,737184	0,611500 0,728757	0,548473 0,714785	0,486905 0,695372	0,427262 0,670667	0,370000 0,640858	0,315553 0,606172
1,75		0,880236 0,738606	0,815367 0,747146	0,750000 0,750000	0,694633 0,747146	0,619764 0,738606	0,555885 0,724444	0,493485 0,704769	0,433036 0,679731	0,375000 0,649518	0,319818 0,614364

1,76	0,891972 0,748454	0,826238 0,757108	0,760000 0,760000	0,693761 0,757108	0,628027 0,748454	0,563297 0,734103	0,500064 0,714166	0,438810 0,688794	0,380000 0,658179	0,324082 0,622555
1,78	0,915445 0,768150	0,847981 0,777032	0,780000 0,780000	0,712018 0,777032	0,644554 0,768150	0,578121 0,753422	0,513224 0,732960	0,450358 0,706920	0,390000 0,675499	0,332610 0,638938
1,80	0,938918 0,787846	0,869724 0,796956	0,800000 0,800000	0,730275 0,796956	0,661081 0,787846	0,592944 0,772740	0,526384 0,751754	0,461905 0,725046	0,400000 0,692820	0,341139 0,655321
1,82	0,962391 0,807542	0,891467 0,816879	0,820000 0,820000	0,748532 0,816879	0,677608 0,807542	0,607768 0,792059	0,539543 0,770548	0,473453 0,743172	0,410000 0,710140	0,349667 0,671704
1,84	0,985894 0,827238	0,913211 0,836803	0,840000 0,840000	0,766789 0,836803	0,694135 0,827238	0,622592 0,811377	0,552703 0,789342	0,485000 0,761298	0,420000 0,727461	0,358196 0,688067
1,85	0,997600 0,837086	0,924082 0,846765	0,850000 0,850000	0,775917 0,846765	0,702399 0,837086	0,630003 0,821037	0,552383 0,798739	0,490774 0,770361	0,425000 0,736121	0,362460 0,696279
1,86	1,009337 0,846934	0,934954 0,856727	0,860000 0,860000	0,785045 0,856727	0,710662 0,846934	0,637415 0,830696	0,565862 0,808136	0,496548 0,779424	0,430000 0,744781	0,366724 0,704470
1,88	1,032810 0,866631	0,956697 0,876651	0,880000 0,880000	0,803302 0,876651	0,727189 0,866631	0,652239 0,850014	0,579022 0,829929	0,508096 0,797551	0,440000 0,762102	0,375253 0,720853
1,90	1,056283 0,886327	0,978440 0,896575	0,900000 0,900000	0,821559 0,896575	0,743716 0,886327	0,667062 0,869333	0,592182 0,845723	0,519643 0,815677	0,450000 0,779422	0,383781 0,737236
1,92	1,079756 0,906029	1,000183 0,916499	0,920000 0,920000	0,839816 0,916499	0,760243 0,906023	0,681886 0,888651	0,606341 0,864517	0,531191 0,833803	0,460000 0,796743	0,392310 0,753619
1,94	1,103229 0,925719	1,021926 0,936423	0,940000 0,940000	0,858073 0,936423	0,776770 0,925719	0,696710 0,907970	0,618501 0,883311	0,542739 0,851929	0,470000 0,814063	0,400838 0,770002
1,95	1,114965 0,935567	1,032798 0,946385	0,950000 0,950000	0,867201 0,946385	0,785034 0,935567	0,704122 0,91629	0,625081 0,892708	0,548512 0,860992	0,476000 0,822723	0,405102 0,778194
1,96	1,126702 0,945415	1,043669 0,956347	0,960000 0,960000	0,876330 0,956347	0,793297 0,945415	0,711533 0,927289	0,631660 0,902105	0,554286 0,870055	0,480000 0,831384	0,409367 0,786385
1,98	1,150175 0,965111	1,065412 0,976271	0,980000 0,980000	0,894587 0,976271	0,809824 0,965111	0,726357 0,946607	0,644820 0,920899	0,565834 0,888181	0,490000 0,848704	0,417895 0,802769
2,00	1,173648 0,984808	1,087156 0,996195	1,000000 1,000000	0,912844 0,996195	0,826352 0,984808	0,741181 0,965926	0,657980 0,939693	0,577382 0,906308	0,500000 0,866025	0,426424 0,819152

γ°	310°	315°	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°	360°
1,00	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000	0,000000 0,000000
1,02	0,007144 0,015320	0,005857 0,014142	0,004679 0,012855	0,003617 0,011471	0,002679 0,010000	0,001873 0,008452	0,001206 0,006840	0,000681 0,005176	0,000303 0,003473	0,000076 0,001743	0,000000 0,000000
1,04	0,014288 0,030641	0,011715 0,028284	0,009358 0,025711	0,007233 0,022943	0,005359 0,020000	0,003747 0,016904	0,002412 0,013680	0,001363 0,010352	0,000607 0,006945	0,000152 0,003486	0,000000 0,000000
1,05	0,017860 0,038302	0,014644 0,035355	0,011697 0,032139	0,009042 0,028678	0,006698 0,025000	0,004684 0,021130	0,003015 0,017100	0,001703 0,012941	0,000759 0,008682	0,000190 0,004357	0,000000 0,000000
1,06	0,021432 0,045962	0,017573 0,042426	0,014037 0,038567	0,010850 0,034414	0,008038 0,030000	0,005621 0,025357	0,003518 0,020521	0,002044 0,015529	0,000911 0,010418	0,000228 0,005229	0,000000 0,000000
1,08	0,028577 0,061283	0,023431 0,056568	0,018716 0,051423	0,014467 0,045886	0,010718 0,040000	0,007495 0,033809	0,004824 0,027361	0,002725 0,020705	0,001215 0,013891	0,000304 0,006972	0,000000 0,000000
1,10	0,035721 0,076604	0,029289 0,070710	0,023395 0,064278	0,018084 0,057357	0,013397 0,050000	0,009369 0,042261	0,006030 0,034202	0,003407 0,025881	0,001519 0,017364	0,000380 0,008715	0,000000 0,000000
1,12	0,042865 0,091925	0,035147 0,084852	0,028074 0,077134	0,021701 0,068825	0,016077 0,060060	0,011243 0,050714	0,007236 0,041042	0,004088 0,031058	0,001823 0,020837	0,000456 0,010458	0,000000 0,000000
1,14	0,050009 0,107246	0,041005 0,098995	0,032753 0,089990	0,025318 0,080300	0,018756 0,070000	0,013116 0,059166	0,008443 0,047882	0,004770 0,036234	0,002126 0,024310	0,000532 0,012201	0,000000 0,000000
1,15	0,053581 0,114906	0,043934 0,108066	0,035093 0,096418	0,027127 0,086036	0,020096 0,075000	0,014053 0,063392	0,009046 0,051303	0,005111 0,038822	0,002278 0,026047	0,000570 0,013073	0,000000 0,000000
1,16	0,057153 0,122567	0,046862 0,113137	0,037433 0,102846	0,028935 0,091772	0,021436 0,080000	0,014990 0,067618	0,009649 0,054723	0,005451 0,041411	0,002430 0,027783	0,000608 0,013945	0,000000 0,000000
1,18	0,064298 0,137887	0,052720 0,127279	0,042112 0,115701	0,032552 0,103243	0,024115 0,090000	0,016864 0,076071	0,010855 0,061563	0,006133 0,046587	0,002734 0,031256	0,000684 0,015688	0,000000 0,000000
1,20	0,071442 0,153208	0,058578 0,141421	0,046731 0,128557	0,036169 0,114715	0,026795 0,100000	0,018738 0,084523	0,012061 0,068404	0,006814 0,051763	0,003038 0,034729	0,000761 0,017431	0,000000 0,000000
1,22	0,078586 0,168529	0,064436 0,155563	0,051470 0,141413	0,039786 0,126186	0,029474 0,110000	0,020612 0,092976	0,013267 0,075244	0,007496 0,056940	0,003342 0,038302	0,000837 0,019174	0,000000 0,000000
1,24	0,085730 0,183850	0,070294 0,169705	0,056149 0,154269	0,043403 0,137658	0,032154 0,120000	0,022486 0,101428	0,014473 0,082084	0,008177 0,062116	0,003646 0,041675	0,000913 0,020917	0,000000 0,000000

1, 24	0, 085730 0, 183850	0, 070294 0, 169705	0, 056149 0, 154269	0, 043403 0, 137658	0, 032154 0, 120000	0, 022486 0, 101428	0, 014473 0, 082084	0, 008177 0, 062116	0, 003646 0, 041675	0, 000913 0, 020917	0, 000000 0, 000000
1, 25	0, 089303 0, 191511	0, 073223 0, 176776	0, 058489 0, 160697	0, 045212 0, 143894	0, 033493 0, 125000	0, 023423 0, 105654	0, 015076 0, 085505	0, 008518 0, 064704	0, 003798 0, 043412	0, 000951 0, 021789	0, 000000 0, 000000
1, 26	0, 092875 0, 199171	0, 076152 0, 183847	0, 060828 0, 167124	0, 047020 0, 149129	0, 034833 0, 130000	0, 024359 0, 109880	0, 015679 0, 088925	0, 008859 0, 067292	0, 003949 0, 045148	0, 000989 0, 022660	0, 000000 0, 000000
1, 28	0, 100019 0, 214492	0, 082010 0, 197990	0, 065507 0, 179980	0, 050637 0, 160601	0, 037513 0, 140000	0, 026233 0, 118333	0, 016886 0, 095765	0, 009540 0, 072469	0, 004253 0, 048621	0, 001065 0, 024403	0, 000000 0, 000000
1, 30	0, 107163 0, 229813	0, 087867 0, 212132	0, 070186 0, 192836	0, 054254 0, 172072	0, 040192 0, 150000	0, 028107 0, 126785	0, 018092 0, 102006	0, 010222 0, 077645	0, 004557 0, 052094	0, 001141 0, 026146	0, 000000 0, 000000
1, 32	0, 114307 0, 245134	0, 093725 0, 226274	0, 074865 0, 205692	0, 057871 0, 183544	0, 042872 0, 160000	0, 029981 0, 135237	0, 019298 0, 109446	0, 010903 0, 082822	0, 004861 0, 055567	0, 001217 0, 027889	0, 000000 0, 000000
1, 34	0, 121452 0, 260455	0, 099583 0, 240416	0, 079545 0, 218647	0, 061488 0, 195015	0, 045551 0, 170000	0, 031855 0, 143690	0, 020504 0, 116286	0, 011585 0, 087998	0, 005165 0, 059040	0, 001293 0, 029633	0, 000000 0, 000000
1, 35	0, 125024 0, 268115	0, 102512 0, 247487	0, 081884 0, 224975	0, 063296 0, 200751	0, 046891 0, 175000	0, 032792 0, 147916	0, 021107 0, 119707	0, 011925 0, 090586	0, 005317 0, 060776	0, 001331 0, 030504	0, 000000 0, 000000
1, 36	0, 128596 0, 275758	0, 105441 0, 254558	0, 084224 0, 231403	0, 065105 0, 206487	0, 048231 0, 180000	0, 033729 0, 152142	0, 021710 0, 123127	0, 012266 0, 093174	0, 005469 0, 062513	0, 001369 0, 031376	0, 000000 0, 000000
1, 38	0, 135740 0, 291096	0, 111299 0, 268700	0, 088903 0, 244259	0, 068722 0, 217958	0, 050910 0, 190000	0, 035603 0, 160594	0, 022916 0, 129967	0, 012948 0, 098351	0, 005773 0, 065986	0, 001445 0, 033119	0, 000000 0, 000000
1, 40	0, 142884 0, 306417	0, 117157 0, 282842	0, 093582 0, 257115	0, 072339 0, 229430	0, 053590 0, 200000	0, 037476 0, 169047	0, 024122 0, 136808	0, 013629 0, 103527	0, 006076 0, 069459	0, 001522 0, 034862	0, 000000 0, 000000
1, 42	0, 150029 0, 321738	0, 123015 0, 299584	0, 098261 0, 269971	0, 075955 0, 240901	0, 056269 0, 210000	0, 039350 0, 177499	0, 025328 0, 143648	0, 014311 0, 108704	0, 006380 0, 072932	0, 001598 0, 036605	0, 000000 0, 000000
1, 44	0, 157173 0, 337059	0, 128872 0, 311127	0, 102940 0, 282826	0, 079573 0, 252373	0, 058949 0, 220000	0, 041224 0, 185951	0, 026535 0, 150488	0, 014992 0, 113880	0, 006684 0, 076405	0, 001674 0, 038348	0, 000000 0, 000000
1, 45	0, 160745 0, 344719	0, 131801 0, 318198	0, 105280 0, 289254	0, 081381 0, 268109	0, 060288 0, 225000	0, 042161 0, 190178	0, 027138 0, 153909	0, 015333 0, 116468	0, 006896 0, 078141	0, 001712 0, 039220	0, 000000 0, 000000
1, 46	0, 164317 0, 352380	0, 134730 0, 325269	0, 107619 0, 295682	0, 083190 0, 263845	0, 061628 0, 230000	0, 043098 0, 194404	0, 027741 0, 157329	0, 015674 0, 119056	0, 006988 0, 079878	0, 001750 0, 040091	0, 000000 0, 000000
1, 48	0, 171461 0, 367701	0, 140588 0, 339411	0, 112298 0, 308538	0, 086807 0, 275316	0, 064308 0, 240000	0, 044972 0, 202866	0, 028947 0, 164169	0, 016355 0, 124233	0, 007292 0, 083351	0, 001826 0, 041834	0, 000000 0, 000000
1, 50	0, 178606 0, 383022	0, 146446 0, 353553	0, 116978 0, 321394	0, 090424 0, 286788	0, 066987 0, 250000	0, 046846 0, 211309	0, 030153 0, 171010	0, 017037 0, 129409	0, 007596 0, 086824	0, 001902 0, 043578	0, 000000 0, 000000

λ	310°	315°	320°	325°	330°	335°	340°	345°	350°	355°	360°
1.52	0,185750 0,398342	0,152304 0,367695	0,121657 0,334249	0,094041 0,298259	0,069667 0,260000	0,048719 0,219761	0,031359 0,177850	0,017718 0,134585	0,007899 0,090297	0,001978 0,048321	0,000000 0,000000
1.54	0,192894 0,413663	0,158162 0,381837	0,126336 0,347105	0,097657 0,309731	0,072346 0,270000	0,050593 0,228213	0,032565 0,184690	0,018400 0,139762	0,008203 0,093769	0,002054 0,047064	0,000000 0,000000
1.55	0,196466 0,421324	0,161091 0,388908	0,128675 0,353533	0,099466 0,315466	0,073686 0,275000	0,051530 0,232439	0,033168 0,188111	0,018740 0,142350	0,008355 0,095506	0,002092 0,047935	0,000000 0,000000
1.56	0,200038 0,428984	0,164020 0,395979	0,131015 0,359961	0,101274 0,321202	0,075026 0,280000	0,052467 0,236665	0,033771 0,191531	0,019081 0,144938	0,008507 0,097242	0,002130 0,048807	0,000000 0,000000
1.58	0,207183 0,444305	0,169877 0,410122	0,135694 0,372817	0,104891 0,332674	0,077705 0,290000	0,054341 0,245118	0,034978 0,198371	0,019762 0,150115	0,008811 0,100715	0,002206 0,050550	0,000000 0,000000
1.60	0,214327 0,459626	0,175735 0,424264	0,140373 0,385672	0,106508 0,344145	0,080385 0,300000	0,056215 0,253570	0,036184 0,205212	0,020444 0,155291	0,009115 0,104188	0,002283 0,052293	0,000000 0,000000
1.62	0,221471 0,474947	0,181593 0,438406	0,145052 0,398328	0,112125 0,355617	0,083064 0,310000	0,058089 0,262023	0,037390 0,212052	0,021125 0,160467	0,009419 0,107661	0,002359 0,054036	0,000000 0,000000
1.64	0,228615 0,490268	0,187451 0,452548	0,149781 0,411384	0,115742 0,367088	0,085744 0,320000	0,059962 0,270475	0,038596 0,218892	0,021807 0,165644	0,009722 0,111134	0,002435 0,055779	0,000000 0,000000
1.65	0,232187 0,497928	0,190380 0,459619	0,152071 0,417812	0,117551 0,372824	0,087083 0,325000	0,060899 0,274701	0,039199 0,222313	0,022148 0,168232	0,009874 0,112871	0,002473 0,056651	0,000000 0,000000
1.66	0,235759 0,505589	0,193309 0,466690	0,154411 0,424240	0,119359 0,378560	0,088423 0,330000	0,061836 0,278927	0,039802 0,225733	0,022488 0,170820	0,010026 0,114607	0,002511 0,057523	0,000000 0,000000
1.68	0,242904 0,520909	0,199167 0,480832	0,159090 0,437095	0,122976 0,390031	0,091103 0,340000	0,063710 0,287380	0,041008 0,232573	0,023170 0,175996	0,010330 0,118080	0,002587 0,059266	0,000000 0,000000
1.70	0,250048 0,536230	0,205025 0,494974	0,163769 0,449951	0,126593 0,401503	0,093782 0,350000	0,065584 0,295532	0,042214 0,239414	0,023851 0,181173	0,010634 0,121553	0,002663 0,061009	0,000000 0,000000
1.72	0,257192 0,551551	0,210883 0,509117	0,168448 0,462807	0,150210 0,412974	0,096462 0,360000	0,067458 0,304285	0,043421 0,246254	0,024533 0,186349	0,010938 0,125026	0,002739 0,062792	0,000000 0,000000
1.74	0,264336 0,566872	0,216740 0,523259	0,173127 0,475663	0,133927 0,424446	0,099141 0,370000	0,069332 0,312737	0,044627 0,253094	0,025214 0,191526	0,011242 0,128499	0,002815 0,064495	0,000000 0,000000
1.75	0,267909 0,574533	0,219669 0,530330	0,175467 0,482091	0,135636 0,430182	0,100481 0,375000	0,070269 0,316963	0,045230 0,256515	0,025555 0,191414	0,011394 0,130236	0,002853 0,065367	0,000000 0,000000

1,75	0,201909 0,574533	0,213009 0,530330	0,113401 0,482091	0,150000 0,430182	0,375000	0,316963	0,255515	0,194114	0,130236	0,065367	0,000000
1,76	0,271481 0,582193	0,222598 0,537401	0,177806 0,488518	0,137444 0,435917	0,101821 0,380000	0,071205 0,321189	0,045833 0,259935	0,025896 0,195702	0,011545 0,131972	0,002891 0,066238	0,000000 0,000000
1,78	0,278625 0,597514	0,228456 0,551543	0,182485 0,501374	0,141061 0,447389	0,104500 0,390000	0,073079 0,329642	0,047039 0,266775	0,026577 0,201878	0,011849 0,135445	0,002967 0,067981	0,000000 0,000000
1,80	0,285769 0,612835	0,234314 0,565685	0,187164 0,514230	0,144678 0,458860	0,107180 0,400000	0,074953 0,328094	0,048245 0,273616	0,027259 0,207053	0,012153 0,138918	0,003044 0,069724	0,000000 0,000000
1,82	0,292913 0,628156	0,240172 0,579827	0,191843 0,527086	0,148295 0,470332	0,109859 0,410000	0,076827 0,346546	0,049451 0,280456	0,027940 0,212231	0,012457 0,142391	0,003120 0,071146	0,000000 0,000000
1,84	0,300088 0,643477	0,246030 0,593969	0,196523 0,539941	0,151912 0,481803	0,112539 0,420000	0,078701 0,354999	0,050657 0,287296	0,028622 0,217408	0,012761 0,145864	0,003196 0,073211	0,000000 0,000000
1,85	0,303630 0,651137	0,248959 0,601041	0,198862 0,546369	0,153720 0,487539	0,113878 0,425000	0,079638 0,359225	0,051261 0,290717	0,028962 0,219996	0,012913 0,147600	0,003234 0,074082	0,000000 0,000000
1,86	0,307202 0,658797	0,251888 0,608112	0,201202 0,552797	0,155529 0,493275	0,115218 0,430000	0,080575 0,363451	0,051864 0,294137	0,029303 0,222954	0,013065 0,149337	0,003272 0,074954	0,000000 0,000000
1,88	0,314346 0,674118	0,257745 0,622254	0,205881 0,565653	0,159146 0,504746	0,117898 0,440000	0,082449 0,371903	0,053070 0,300977	0,029985 0,227760	0,013369 0,152810	0,003348 0,076697	0,000000 0,000000
1,90	0,321490 0,689439	0,263603 0,636396	0,210560 0,578509	0,162763 0,516218	0,120577 0,450000	0,084322 0,380356	0,054276 0,307818	0,030666 0,232937	0,013672 0,156283	0,003424 0,078440	0,000000 0,000000
1,92	0,328635 0,704760	0,269461 0,650538	0,215239 0,591365	0,166380 0,527689	0,123257 0,460000	0,086196 0,388808	0,055482 0,314658	0,031348 0,238113	0,013976 0,159756	0,003500 0,080185	0,000000 0,000000
1,94	0,335779 0,720081	0,275319 0,664680	0,219918 0,604220	0,169997 0,539161	0,125936 0,470000	0,088070 0,397260	0,056688 0,321498	0,032029 0,243289	0,014280 0,163229	0,003576 0,081926	0,000000 0,000000
1,95	0,339351 0,727741	0,278248 0,671751	0,222258 0,610648	0,171805 0,544897	0,127276 0,475000	0,089007 0,401487	0,057291 0,324919	0,032370 0,245878	0,014432 0,164965	0,003614 0,082798	0,000000 0,000000
1,96	0,342923 0,735402	0,281177 0,678822	0,224397 0,617076	0,173614 0,550633	0,128616 0,480000	0,089944 0,405713	0,057894 0,328339	0,032711 0,248466	0,014584 0,166702	0,003652 0,083669	0,000000 0,000000
1,98	0,350067 0,750723	0,287035 0,692964	0,229276 0,639932	0,177231 0,562104	0,131295 0,490000	0,091818 0,414165	0,059109 0,335179	0,033392 0,253642	0,014888 0,170175	0,003728 0,085412	0,000000 0,000000
2,00	0,357212 0,766044	0,292893 0,707107	0,233056 0,642788	0,180848 0,573576	0,133975 0,500000	0,093692 0,422618	0,060307 0,342020	0,034074 0,268819	0,015192 0,173648	0,003805 0,087156	0,000000 0,000000

Л И Т Е Р А Т У Р А

Монографии и учебники

1. И. И. Артоболовский, З. Ш. Блох, В. В. Добровольский, Синтез механизмов, ч. I (готовится к печати).
2. И. И. Привалов, Введение в теорию функции комплексного переменного, ГТТИ, 1937.
3. Н. А. Глаголев, Теоретические основы номографии, ГТТИ, 1934.
4. Н. А. Глаголев, Справочник по номографии, ГТТИ, 1933.
5. Б. А. Невский, Методика построения номограмм.

Журнальные статьи

1. З. Ш. Блох, К синтезу плоского четырехзвенного механизма, Сельскохозяйственная машина, № 5—6, 1937.
2. З. Ш. Блох, Проектирование кривошипно-шатунных механизмов, Сельскохозяйственная машина, № 7, 1937.
3. З. Ш. Блох, К синтезу плоских механизмов, Вестник инженеров и техников, № 8, 1937.
4. З. Ш. Блох, К синтезу плоских механизмов, Вестник инженеров и техников, № 12, 1937.
5. З. Ш. Блох, К синтезу плоских механизмов, Вестник инженеров и техников, № 2, 1938.
6. З. Ш. Блох, Задача об угле передачи, Сельскохозяйственная машина, № 3, 1938.
7. З. Ш. Блох, Графо-аналитические методы проектирования плоских механизмов с низшими парами, Вестник инженеров и техников, № 10, 1938.
8. З. Ш. Блох, Применение шатунных кривых к задачам синтеза плоских механизмов, Известия ОН АН СССР, № 8, 1940.
9. H Alt, Das Konstruieren von Gelenkvierecken unter Benutzung einer Kurventafel, v. D. 1 — Zeitschrift, Bd. 85, № 3, 18 Januar 1941.

Подписано в печать 29/VI 1943 г. Л42782.

Печ. листов: в книге 10,75 + в атласе номограмм 9,5.

Уч.-изд. листов: в книге 20,1 + в атласе номограмм 8,5. Тираж 2000 экз.

Цена книги вместе с атласом номограмм 17 руб. Заказ № 1550.

1-я Образцовая тип. ОГИЗа РСФСР треста „Полиграфкинг“. Москва,
Валовая, 28.

1-40

-65429-

Цена книги с атласом номограмм 17 руб.

1943

RLST



0000000364667

