

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

В тех случаях, когда движение выходного звена механизма должно изменяться по строго заданному закону и должно быть согласовано с движением других механизмов, наиболее просто вопрос решается применением кулачковых механизмов. Воспроизведение заданного движения выходного звена-толкателя такие механизмы осуществляют теоретически точно. Их входное звено называется кулачком. Закон движения толкателя определяется профилем кулачка и является основной характеристикой кулачкового механизма.

5.1. Закон движения толкателя и его выбор

На рис. 5.1 показана диаграмма перемещения толкателя в зависимости от угла поворота кулачка. На этой диаграмме за 1 цикл (1 оборот кулачка) можно выделить 4 фазы и соответствующие им фазовые углы: угол удаления φ_y , угол дальнего стояния $\varphi_{дс}$, угол приближения φ_n , угол ближнего стояния φ_b .

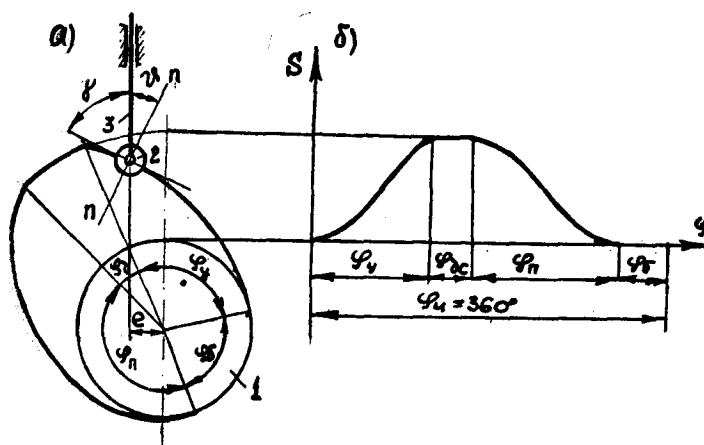


Рис. 5.1. Кулачковый механизм с поступательно движущимся толкателем: а) схема механизма; б) диаграмма перемещения толкателя

Угол (рис. 5.1 а) между нормалью $n-n$ и направлением скорости выходного звена называют углом давления ϑ . Угол γ , дополняющий угол ϑ до 90° , называют углом передачи движения.

В практике проектирования наибольшее применение получили относительно простые законы движения толкателя, показанные на рис. 5.2: а - параболический, б - косинусоидальный, в - синусоидальный. При выборе закона движения толкателя нужно иметь в виду возможность возникновения жестких и мягких ударов в кулачковом механизме.

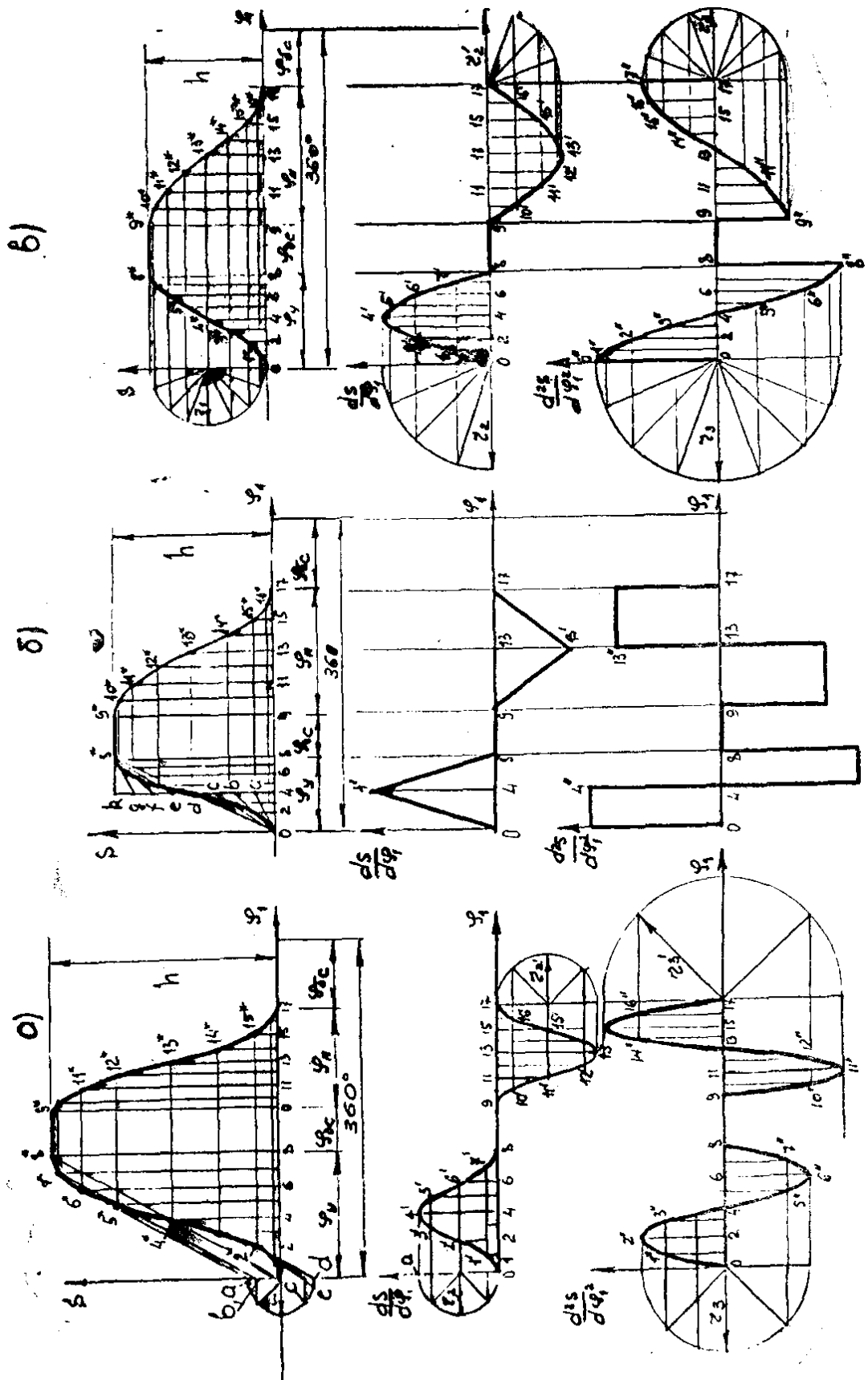


Рис. 5.2. Законы движения толкателя в кулачковых механизмах

Жесткие удары возникают при линейном законе движения толкателя, когда ускорение мгновенно возрастает до бесконечно большой величины. Мягкие удары возникают при параболическом и косинусоидальном законах движения толкателя в точках разрыва кривых ускорений. В этих точках ускорения, а, следовательно, и силы инерции изменяются мгновенно на конечную величину. При синусоидальном законе движения толкателя удары практически отсутствуют, если погрешности изготовления профиля кулачка достаточно малы, поэтому этот закон используется при проектировании быстроходных кулачковых механизмов.

5.2. Построение диаграмм движения толкателя

5.2.1. Синусоидальный закон. Диаграмма перемещения

Строим оси координат $s=f(\varphi_1)$, либо $\beta=f(\varphi_1)$ в зависимости от характера движения толкателя. По оси координат откладываем отрезок $h=30 \dots 50$ мм, соответствующий максимальному ходу толкателя, тогда масштаб $\mu_s = S_{max}/h$, где $[S_{max}] = \text{м}$, $[h] = \text{мм}$, $[\mu_s] = \text{м/мм}$.

По оси φ_1 откладываем отрезки, пропорциональные фазовым углам φ_y , $\varphi_{дс}$, φ_n . Делим эти отрезки на равное число частей (в нашем случае на 8). Из точек деления проводим ординаты 1, 2... 8, 9, 10... 16.

Из начала координат проводим полуокружность радиусом $r_1 = h/2\pi$. Эту полуокружность делим на 4 равные дуги. Точки деления сносим на ось ординат. Соединяем прямой начало координат с точкой 8*. Из точек a , b , c , и d проводим лучи, параллельные отрезку 0-8*. Пересечение луча a с ординатой 6 даст точку 6*, пересечение луча b с ординатами 5 и 7 даст 5* и 7*. Пересечение луча c с ординатами 1 и 3 - точки 1* и 3* и пересечение луча d с ординатой 2 - точку 2*. Соединяем точки 1*, 2* ... 8* плавной кривой. Построение кривой на фазе приближения видно из рисунка.

Диаграмма $\frac{ds}{d\varphi_1} = f(\varphi_1)$. Строим оси координат. Проводим полуокружности радиусами $r_2 = h/\varphi_y$ и $r_2 = h/\varphi_n$. В эти формулы величины фазовых углов φ_y и φ_n нужно подставлять в радианах. Делим полуокружности на 4 равные дуги. Через точки деления проводим прямые, параллельные оси φ_1 до пересечения с соответствующими ординатами. Соединив точки пересечения плавной кривой, получаем искомую диаграмму.

Диаграмма $\frac{d^2s}{d\varphi_1^2} = f(\varphi_1)$. Строим оси координат. Проводим полуокружности радиусами $r_3 = 2\pi h/\varphi_y^2$ и $r_3 = 2\pi h/\varphi_n^2$. Делим эти

полуокружности на 4 равные части. Строим синусоиды, найдя точки пересечения прямых, параллельных оси φ_1 с соответствующими ординатами. После таких построений масштаб всех диаграмм будет одинаковым: $\mu_s = \mu_{\frac{ds}{d\varphi}} = \mu_{\frac{d^2s}{d\varphi^2}} \text{ м/мм}$.

5.2.2. Параболический закон. Диаграмма перемещения

Строим оси координат $s=f(\varphi_1)$, либо $\beta=f(\varphi_1)$. По оси ординат откладываем отрезок $h=30...50$ мм, соответствующий максимальному ходу толкателя, а по оси φ_1 - отрезки, пропорциональные фазовым углам $\varphi_y, \varphi_{дс}, \varphi_{п}$. Делим эти отрезки на равное число частей (в нашем случае на 8). Из середины отрезка φ_y проводим ординату $(4-r')=h$, которую делим также на 8 равных частей. Точки деления a, b, c соединяем прямыми с началом координат, а точки e, f, g с точкой 8^* . Точки пересечения прямых $a - 0, b - 0...g - 8^*$ с ординатами 1, 2... 7 являются искомыми точками диаграммы. Аналогично проводим построение для фазы приближения.

Для построения диаграммы $\frac{ds}{d\varphi_1} = f(\varphi_1)$ нужно вычислить ординаты (4-4') для фазы удаления и (13-13') для фазы приближения соответственно по формулам:

$$(4-4') = 2h/\varphi_y, (13-13') = 2h/\varphi_n \quad (5.3)$$

В выражения (9.3) углы φ_y и φ_n нужно подставлять в радианах. Для построения диаграммы $\frac{d^2s}{d\varphi_1^2} = f(\varphi_1)$ вычисляем ординаты (4 - 4'') и (13 - 13'') по формулам:

$$(4 - 4'') = 4h/\varphi_y^2, (13 - 13'') = 4h/\varphi_n^2.$$

5.2.3. Косинусоидальный закон. Диаграмма перемещения

Строим оси координат $s=f(\varphi_1)$ или $\beta=f(\varphi_1)$. По оси ординат откладываем отрезок $h = 30... 50$ мм, соответствующий максимальному ходу толкателя, а по оси φ_1 отрезки, пропорциональные фазовым углам $\varphi_y, \varphi_{дс}, \varphi_{п}$. Делим эти отрезки на равное число частей (в нашем случае на 8). Проводим полуокружность радиусом $r_1 = h/2$ и делим ее на 8 равных частей. Из точек деления проводим прямые, параллельные оси φ_1 до пересечения их с соответствующими ординатами.

Диаграмма $\frac{ds}{d\varphi_1} = f(\varphi_1)$ Из начала координат радиусом $r_2 = \pi h/2\varphi_y$ проводим четверть окружности, которую делим на 4 равные части. Из точек деления проводим прямые, параллельные оси φ_1 , до пересечения с соответствующими ординатами. Для фазы приближения построения

аналогичные, только радиус r'_2 другой, $r'_2 = \pi h / 2\varphi_{\text{п}}$. Углы φ_y и $\varphi_{\text{п}}$ в формулы для определения r_2 и r'_2 подставляются в радианах.

Диаграмма $\frac{a^2 s}{d\varphi_1^2} = f(\varphi_1)$. Из начала координат для фазы удаления и из точки 17 для фазы приближения проводим полуокружности радиусами $r_3 = \pi^2 h / 2\varphi_y^2$ и $r'_3 = \pi^2 h / 2\varphi_n^2$. Делим эти полуокружности на 8 равных частей. Точки деления сносим параллельно оси φ_1 до пересечения соответствующим ординатами. Масштабы всех диаграмм при таких построениях будут одинаковыми и равными μ_s , т. е. $\mu_{\frac{ds}{d\varphi_1}} = \mu_{\frac{d^2s}{d\varphi_1^2}} = \mu_s$.

5.3. Определение минимального радиуса кулачка с вращающимся толкателем (коромыслом)

Известно: длина коромысла l_{O_3A} , максимальный угол качания коромысла β , диаграммы перемещения и первой производной от перемещения по углу поворота кулачка, минимальный угол передачи движения γ_{min} ; $\gamma_{\text{min}} = 45^\circ$. Определить минимальный радиус кулачка β .

Из произвольной точки O_3 (рис. 5.3) проводим 2 луча с таким расчетом, чтобы угол между ними был равен β .

Далее из точки O_3 проводим дугу А-8 таким радиусом, чтобы эта дуга была бы равна величине h диаграммы перемещения. На проведенной дуге от точки О откладываем с диаграммы перемещения ординаты 1, 2, ... 16. Получаем точки 1, 2, 3... 16. Через эти точки проводим лучи из центра O_3 , на которых откладываем с диаграммы $\frac{ds}{d\varphi_1} = f(\varphi_1)$ ординаты (1-1'), (2-1') ... (7-7') для фазы удаления и ординаты (10-10'), (11-11') ... (16-16') для фазы приближения. Если кулачок и коромысло на фазе удаления имеют одинаковое направление вращения, то ординаты с диаграммы $\frac{ds}{d\varphi_1} = f(\varphi_1)$

нужно откладывать от дуги 0-8 к центру O_3 . Далее через точки 2', 3', 4', 13', 14' проводим прямые 2'-2°, 3'-3°, 4'-40, 13'-13°, 14'-14° под углами $\nu_{\text{min}}=45^\circ$ к лучам $O_3=13'$, $O_3=14'$, $O_3=15'$. Заштрихованная область, ограниченная этими прямыми, является областью возможных центров вращения кулачка.

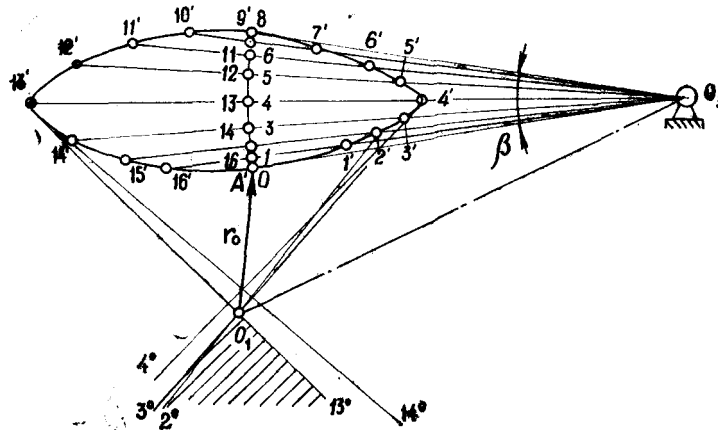


Рис. 5.3. Определение минимального радиуса кулачка с коромыслом

5.4. Построение профиля кулачка с коромыслом

Из произвольной точки O_1 (рис. 5.4) проводим окружность радиусом $O_1 O_3$. Намечаем в произвольном месте правой верхней части окружности точку $(O_3)_0$. Соединяем ее прямой с точкой O_1 . От этой прямой в сторону, противоположную вращению кулачка, откладываем фазовые углы φ_y , $\varphi_{дс}$, $\varphi_п$. Дуги, стягивающие эти углы, делим на то же число частей, на сколько разделены отрезки, соответствующие фазовым углам по оси φ_1 диаграммы $S = f(\varphi_1)$ (в нашем случае на 8). Из точек 1, 2, 3... 17 большой окружности раствором циркуля, равным длине $O_3 A$ (рис. 5.3), проводим дуги от окружности радиуса r_0 . На этих дугах откладываем ординаты с графика $S = f(\varphi_1)$.

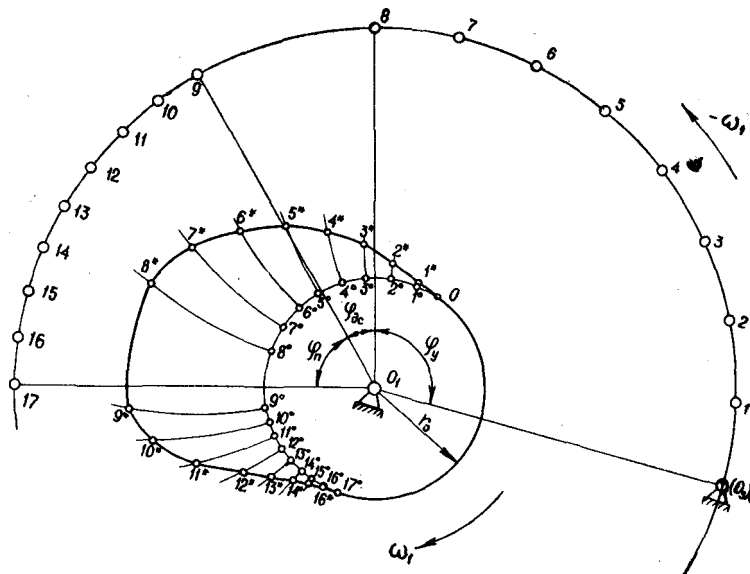


Рис. 5.4. Построение теоретического профиля кулачка с коромыслом

Дуга (1°-1*), равна ординате (1-1*), дуга (2°-2*) равна ординате (2-2*) и т. д. Соединяем точки 0, 1*, 2*... 16*, 17 плавной кривой, получаем теоретический профиль кулачка.

5.5. Определение минимального радиуса кулачка с плоским толкателем

Задано: диаграмма перемещения толкателя $S = f(\varphi_1)$, диаграмма второй производной от перемещения толкателя по углу поворота кулачка $\frac{d^2s}{d\varphi^2} = f(\varphi_1)$, угол давления $\Theta = 0$. Определить минимальный радиус кулачка r_0 . Строим диаграмму перемещения в функции второй производной от перемещения по углу поворота кулачка, т. е. $S = f\left(\frac{d^2s}{d\varphi_1^2}\right)$.

Для построения используем, например, диаграммы, показанные на рис. 5.2 в. Проводим взаимно перпендикулярные оси (рис. 9.5). Ось ординат обозначим через s , а ось абсцисс - через $\frac{d^2s}{d\varphi_1^2}$.

На оси s от начала координат откладываем отрезки (0-1), (0-2) ... (0-17), равные ординатам (1-1*), (2-2*) ... (16-16*) диаграммы $S = f(\varphi_1)$. Через точки 1, 2, 3 и т. д. проводим перпендикуляры к оси s . На этих перпендикулярах отложим отрезки (1-1°), (2-2°)...(16-17°), равные ординатам 1-1", 2-2"... 16-16" диаграммы $\frac{d^2s}{d\varphi_1^2} = f(\varphi_1)$

Соединяем полученные точки 1°, 2°... 17° плавной кривой. К отрицательной части диаграммы $S = f\left(\frac{d^2s}{d\varphi_1^2}\right)$ (левый квадрант) проводим касательную под углом 45° до пересечения ее с осью ординат.

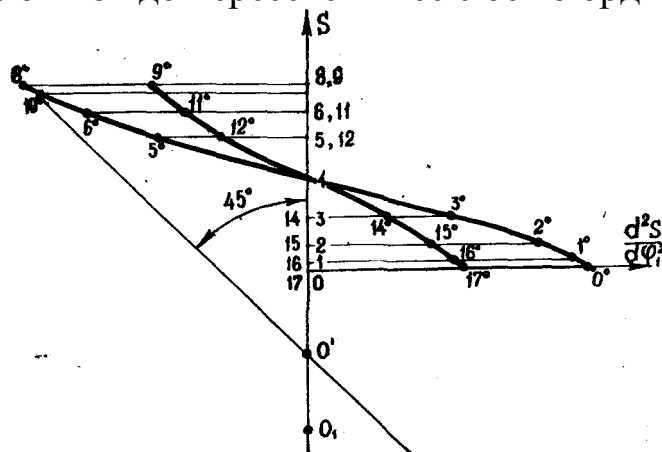


Рис. 5.5. Определение минимального радиуса кулачка с плоским толкателем

Получаем точку O' . Задаемся минимальным радиусом кривизны кулачка. Пусть $r_{\min} = 10 \dots 15$ мм. Отложим r_{\min} в масштабе μ_s вниз от точки O' . Получим точку O_I . Тогда расстояние $O_I O$ - есть минимальный радиус кулачка r_0 .

5.6. Построение профиля кулачка с плоским толкателем

Из произвольно выбранной точки O_I (рис. 5.6) проводим окружность радиусом r_0 . От вертикальной прямой $O_I A$ в сторону, противоположную вращению кулачка, откладываем фазовые углы φ_y , $\varphi_{дс}$, φ_p . Дуги, стягивающие фазовые углы φ_y , φ_p , делим на столько же частей, да сколько разделена ось абсцисс диаграммы $S = f(\varphi_1)$ (в нашем случае на 8).

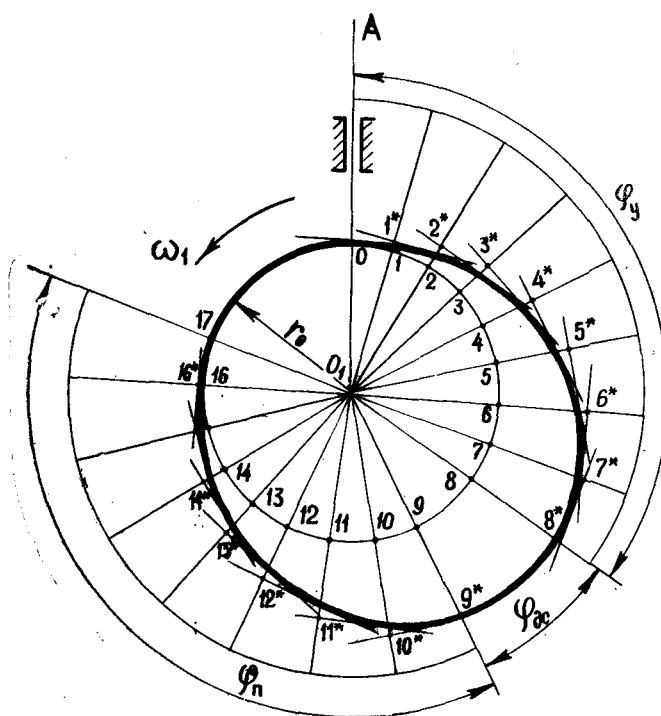


Рис. 5.6. Построение профиля кулачка с плоским толкателем

Соединяем прямыми точки деления 1, 2 ... 16 с центром O_I . На продолжении этих прямых откладываем отрезки (1-1*), (2-2*) ... (16-16*), равные ординатам диаграммы $S = f(\varphi_1)$. Через точки 1*, 2* ... 16* проводим перпендикуляры к прямым (O_I-1^*), (O_I-2^*), ..., (O_I-16^*), означающим положение плоскости толкателя при движении кулачка относительно него. Проводим огибающую перпендикуляров, которая является профилем кулачка.