

# Лекция № 4.1

## **Кинематические характеристики машинно- тракторных агрегатов. Виды холостых поворотов**

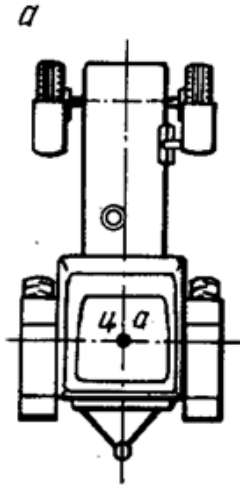
**1. Кинематические характеристики машинно-тракторных агрегатов.**

**2. Виды холостых поворотов агрегатов и их длина.**

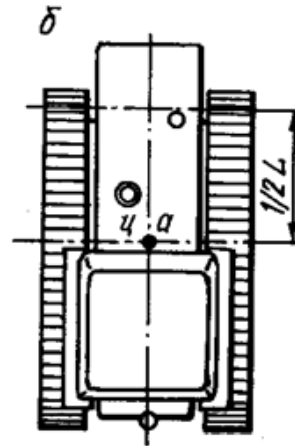
# ВОПРОС 1

**Траектория движения МТА** – условная линия, по которой при движении перемещается кинематический центр агрегата.

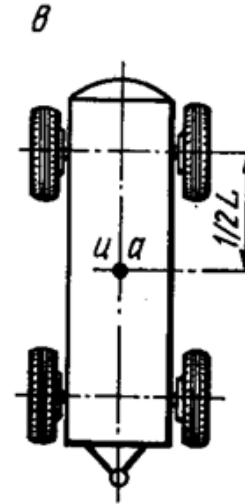
**Кинематический центр МТА (центр агрегата)** – условная точка, по кинематика которой определяет траекторию и скорость движения всего агрегата в целом.



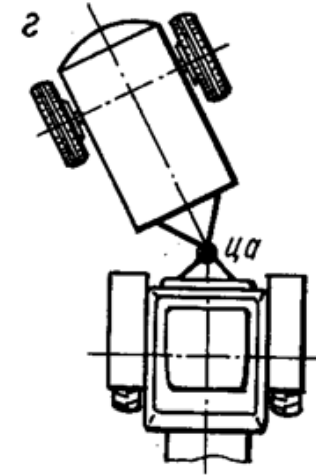
Ц.А. – проекция точки пересечения оси задних колес с продольной осью трактора



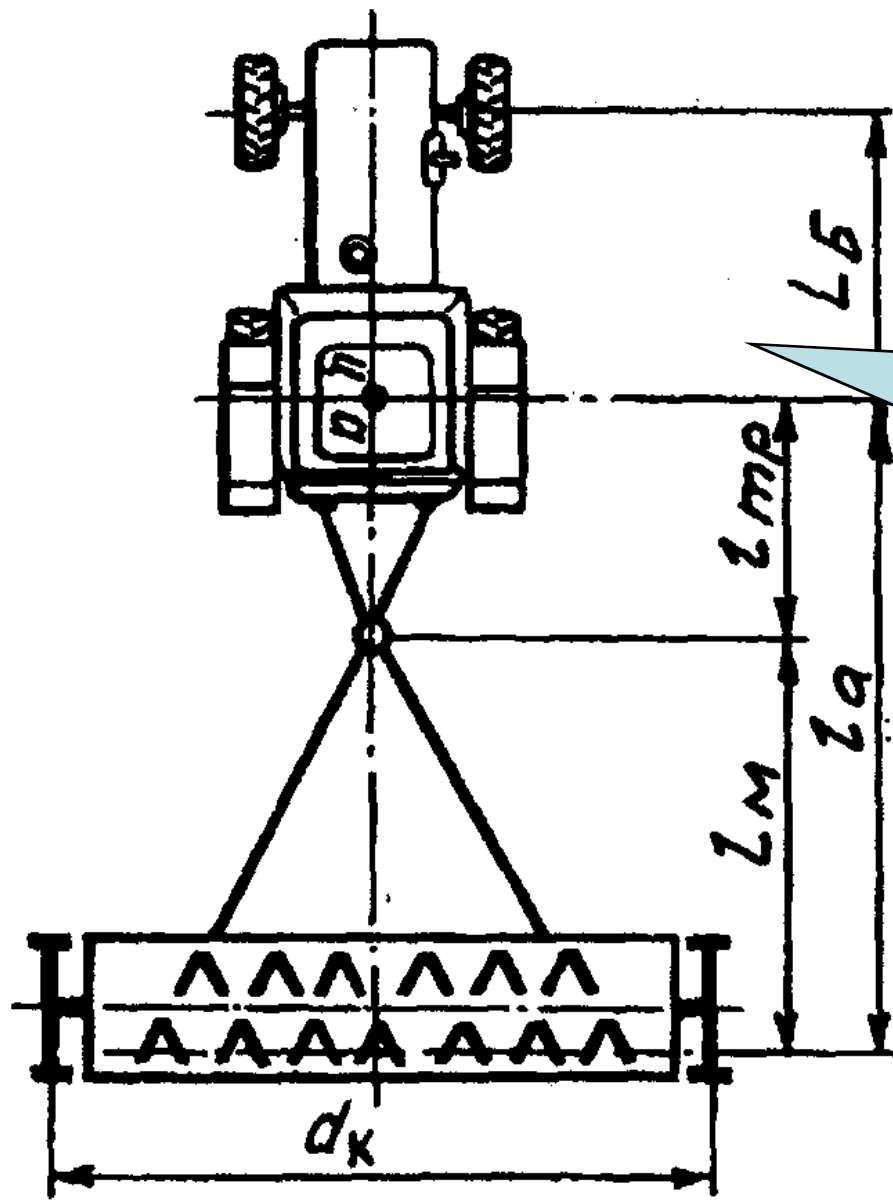
Ц.А. – проекция точки пересечения поперечной оси симметрии опорной поверхности гусениц с продольной осью трактора



Ц.А. – проекция точки пересечения оси симметрии базы с продольной осью трактора



Ц.А. – проекция центра поворотного шарнира рамы



Это  
кинематическая  
схема МТА при  
прямолинейном  
движении

**Кинематическая длина трактора в агрегате** ( $l_{тр}$ ) — расстояние от центра агрегата до условной точки присоединения рабочей машины

**Продольная база ( $L_6$ )** — расстояние между передней и задней осью у колесных тракторов и самоходных машин, а у гусеничных тракторов — длина контакта гусеницы с поверхностью движения.

**Кинематическая длина рабочей машины ( $l_m$ )** – расстояние от условной точки присоединения машины к трактору до линии размещения ее последних рабочих органов.

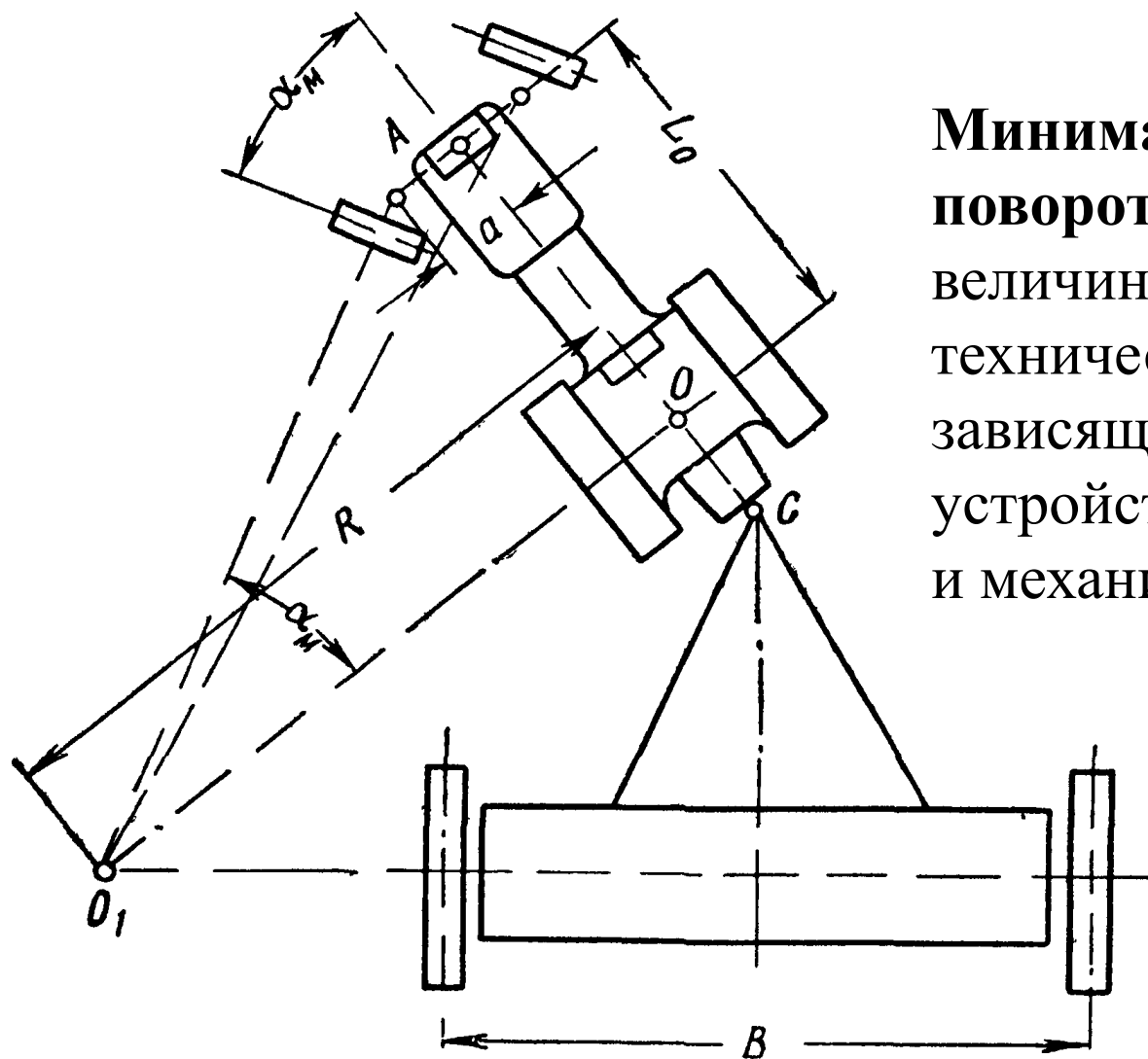
**Кинематическая длина агрегата ( $l_a$ )** – расстояние от центра агрегата до линии размещения последних рабочих органов машины.

**Кинематическая ширина агрегата ( $d_k$ )** – расстояние между крайними точками агрегата в направлении перпендикулярном его движению.

**Центр поворота** – условная точка,  
относительно которой  
осуществляется поворот.

**Радиус поворота ( $R_0$ )** –  
расстояние между центрами  
агрегата и поворота.





**Минимальный радиус поворота трактора** — величина, задаваемая в его технической характеристике и зависящая от особенностей устройства его ходовой части и механизмов управления.

$$R_{\min} = L_6 \operatorname{ctg} \alpha_M + a$$

**Минимальный радиус поворота агрегата** - наименьший радиус окружности, движение по которой при данных условиях работы допускается конструктивными свойствами агрегата, происходит без повреждений машин или сцепки, в него входящих, а длина описываемой им дуги примерно соответствует длине действительной траектории поворота.

$$R_0 = k \cdot B_k$$

Таблица 1. Значение коэффициента поворота  $k^*$

Навесной агрегат		Прицепной агрегат	
Пахотный (3...8 корпусов)	3	Культиваторный для сплошной обработки: при 1-ой машине	1,5
		при 2-х машинах	1,2
		при 3-х машинах	1,0
Культиваторный для сплошной обработки	0,9	Бороновальный	1,0
Посевной	1,1	Посевной при 1-2-х машинах при 3-х машинах	1,6 1,3
Культиваторный для междурядной обработки	0,9		
Жатвенный	0,9	Жатвенный	1,4
Косилочный	2	Косилочный	1,2

\* – скорость 5 км/ч

**Действительный радиус поворота агрегата** зависит от его минимального радиуса поворота и скорости агрегата на повороте

$$R = k_R R_0$$

Таблица 2. Значение коэффициента поворота  $k_R$

Навесной агрегат	При скорости поворота, км/ч		Прицепной агрегат	При скорости поворота, км/ч	
	7	9		7	9
Пахотный	1,05	1,2	Пахотный	1,15	1,45
Культиваторный	1,06	1,32	Культиваторный	1,2	1,5
Посевной	1,08	1,41	Посевной	1,32	1,57
Культиваторный для м/р обработки	1,06	1,34	Бороновальный	1,35	1,68
Жатвенный	1,09	1,46	Жатвенный	1,3	1,62

**При работе прицепных тягово-приводных агрегатов с карданным приводом механизмов машины от ВОМ трактора радиус поворота минимальный ограничивается допустимым углом излома карданного вала.**

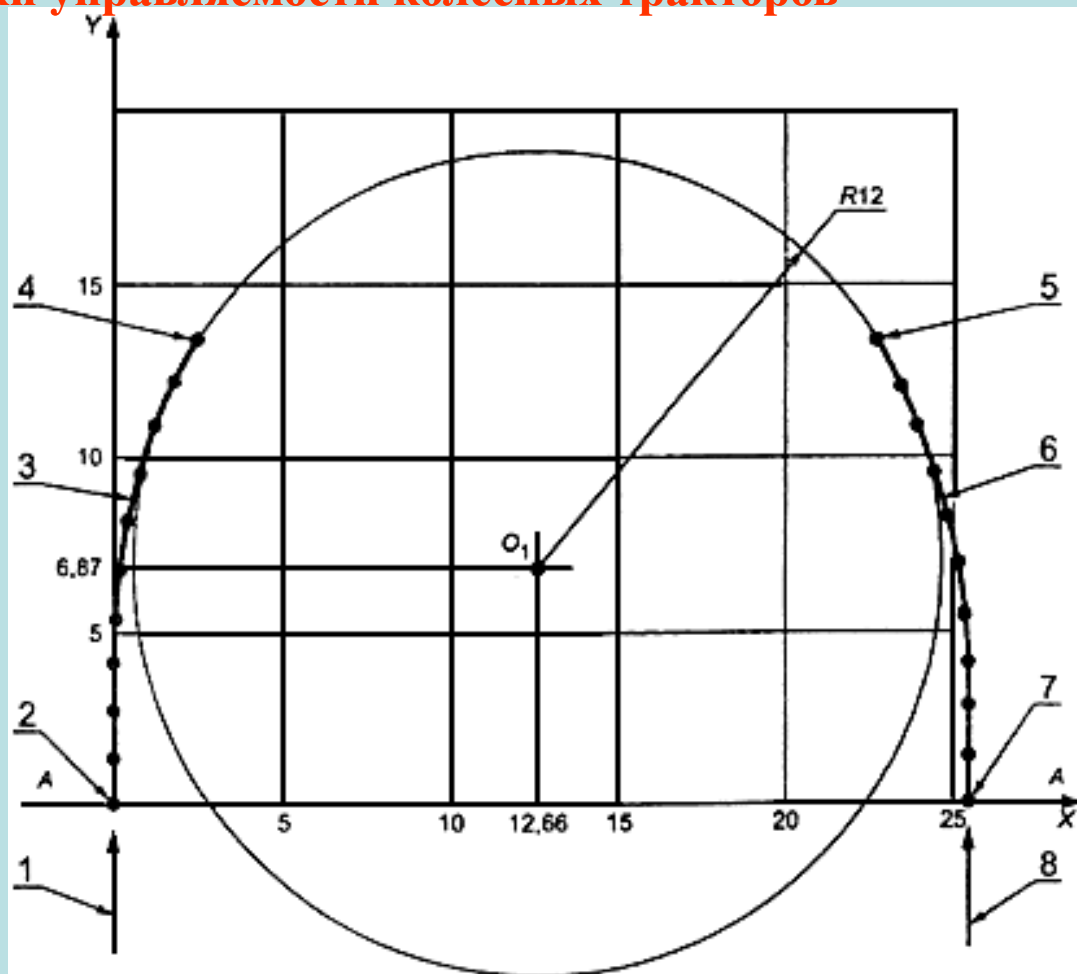
**тяговый класс 1,4 –  $R_0=7...8$  м, расчетное среднее 7,5 м;**

**тяговый класс 2 и 3 -  $R_0=9...11$  м, расчетное среднее 10 м;**

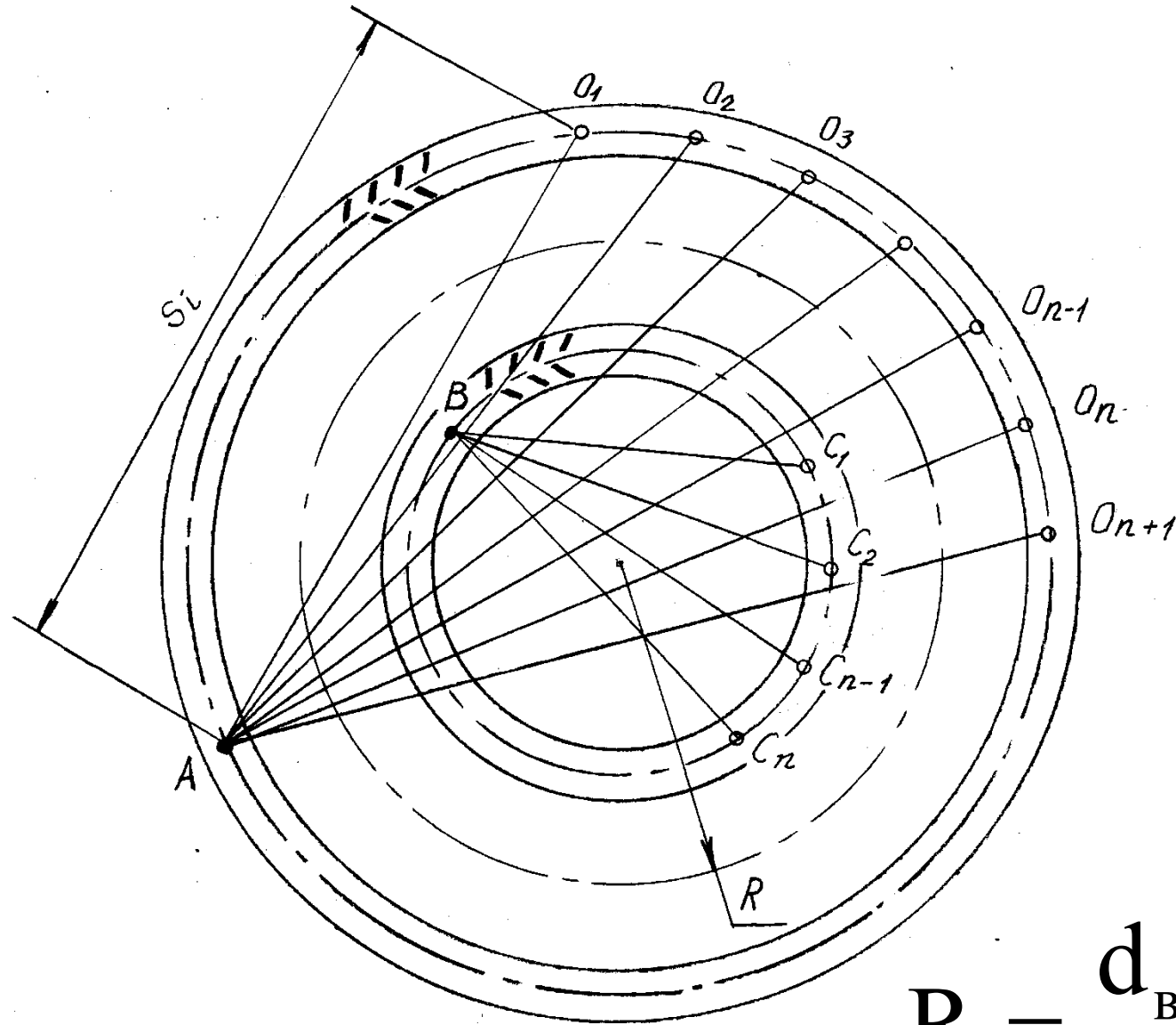
**тяговый класс 5 -  $R_0=10...13$  м, расчетное среднее 11,5 м**

**Для агрегатов с машинами, монтируемыми на навеске или остова трактора минимальный радиус поворота определяется минимальным радиусом поворота трактора**

## ИСО 789-11:1996 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. Часть 11. Характеристики управляемости колесных тракторов



- 1, 8 - направление движения трактора перед выездом на траекторию;  
2, 7 - стартовые точки движения по траекториям; 3 - траектория поворота трактора направо;  
4, 5 - финишные точки движения по траекториям; 6 - траектория поворота трактора налево;  
AA - стартовая линия



$$R = \frac{d_{BH} + d_H}{4}$$

**Длина выезда агрегата** – длина прямолинейного участка поворота, на которую необходимо переместить центр агрегата от границы поворотной полосы до начала поворота, чтобы избежать повреждения узлов (деталей) агрегата и обеспечить качество выполнения операции в соответствии с агротребованиями.

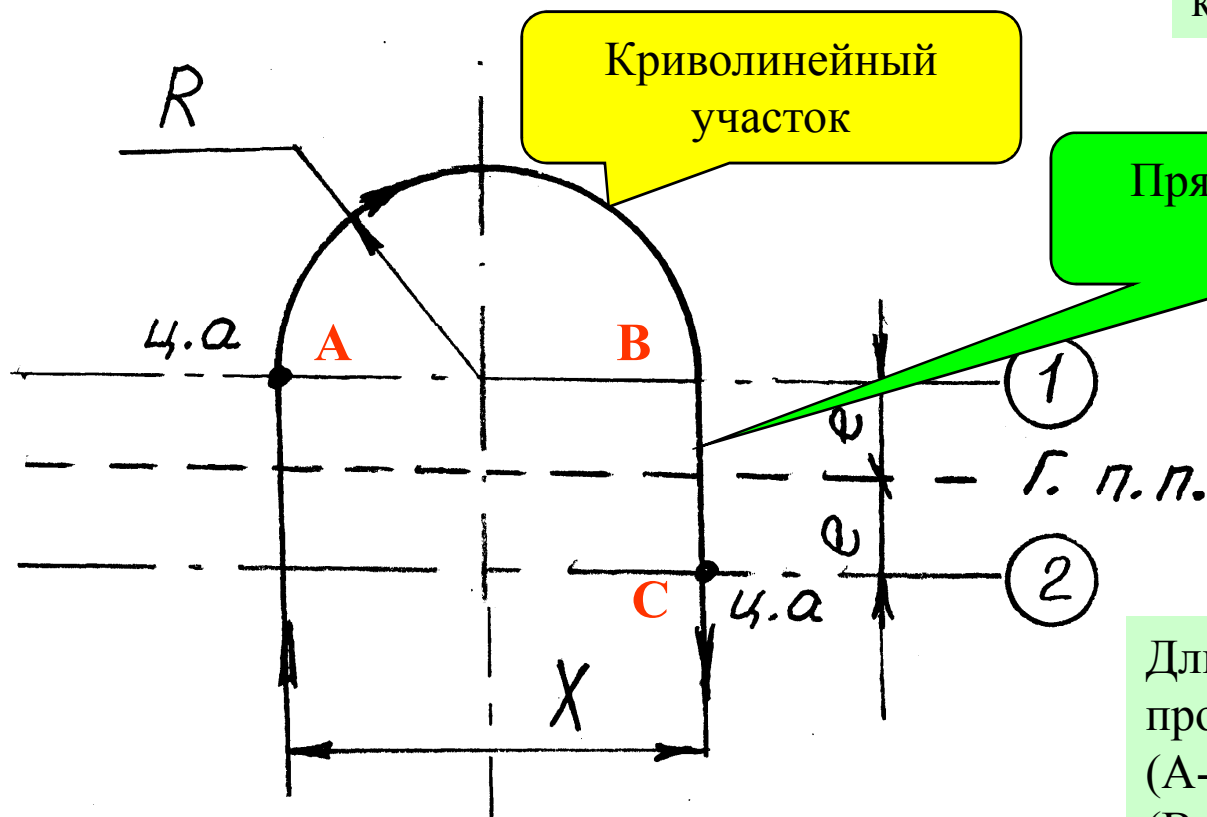
Фактически это путь, проходимого агрегатом с момента выключения (включения) рабочих органов машины до начала (конца) криволинейного участка поворота.

$$e = k_a l_a$$

$k_a = 0,25 \dots 0,75$  – для прицепных агрегатов;  $k_a = 0 \dots 0,1$  – для навесных агрегатов.

# ВОПРОС 2

Поворот (при выполнении полевых работ) – участок траектории движения МТА по полю, представляющий собой результат управляемого изменения направления его движения.



Длина поворота – путь, проходимый по криволинейному участку (А-В).

Прямолинейный участок

Длина холостого заезда – путь, проходимый по криволинейному (А-В) и прямолинейному участку (В-С).

## Классификация поворотов по основным признакам

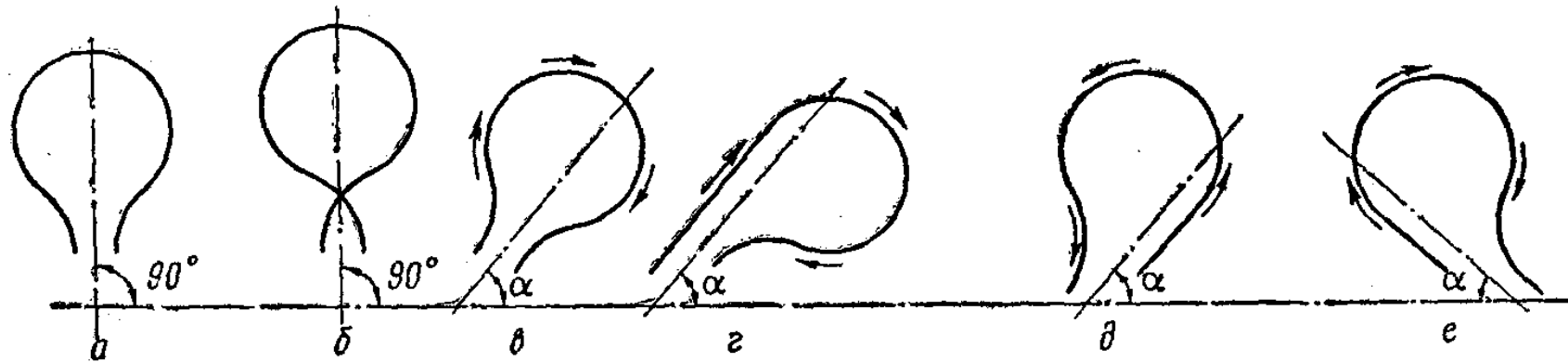
**По траектории (направлению)** – на  $90^0$   
на  $180^0$   
на произвольный угол  $\alpha$

**По форме** – петлевые  
беспетлевые

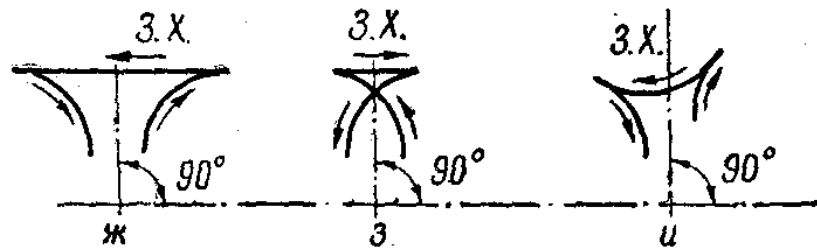
**По технологии выполнения**

- с реверсом (задним ходом);
- без реверса;
- с боковым заездом;
- в рабочем положении;
- в холостом положении

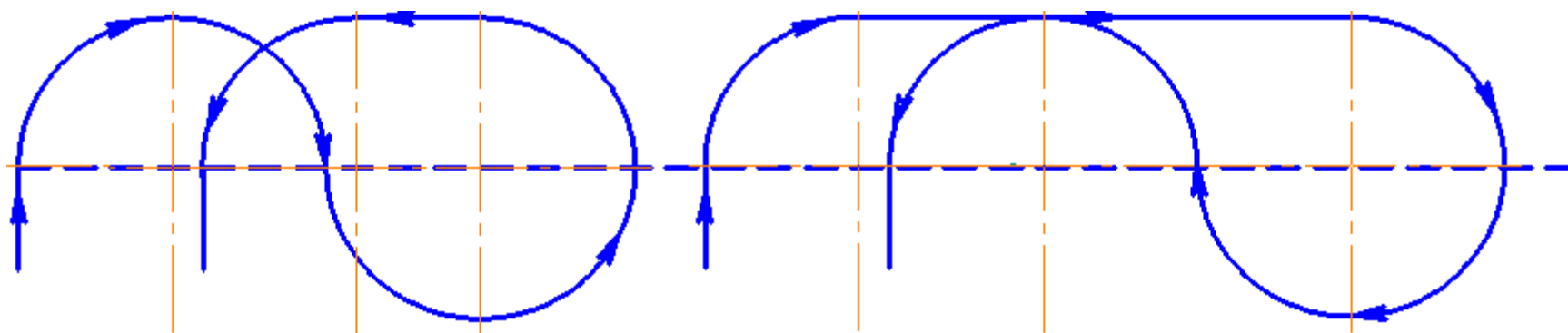
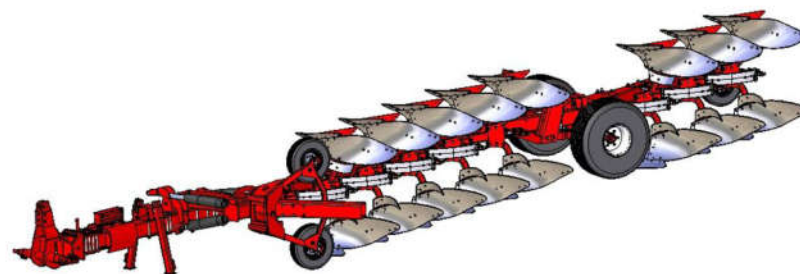
## ПЕТЛЕВЫЕ ПОВОРОТЫ на $180^{\circ}$



## ПЕТЛЕВЫЕ ПОВОРОТЫ на $180^{\circ}$ с задним ходом



# ПЕТЛЕВЫЕ ПОВОРОТЫ на $180^{\circ}$ с боковым заездом

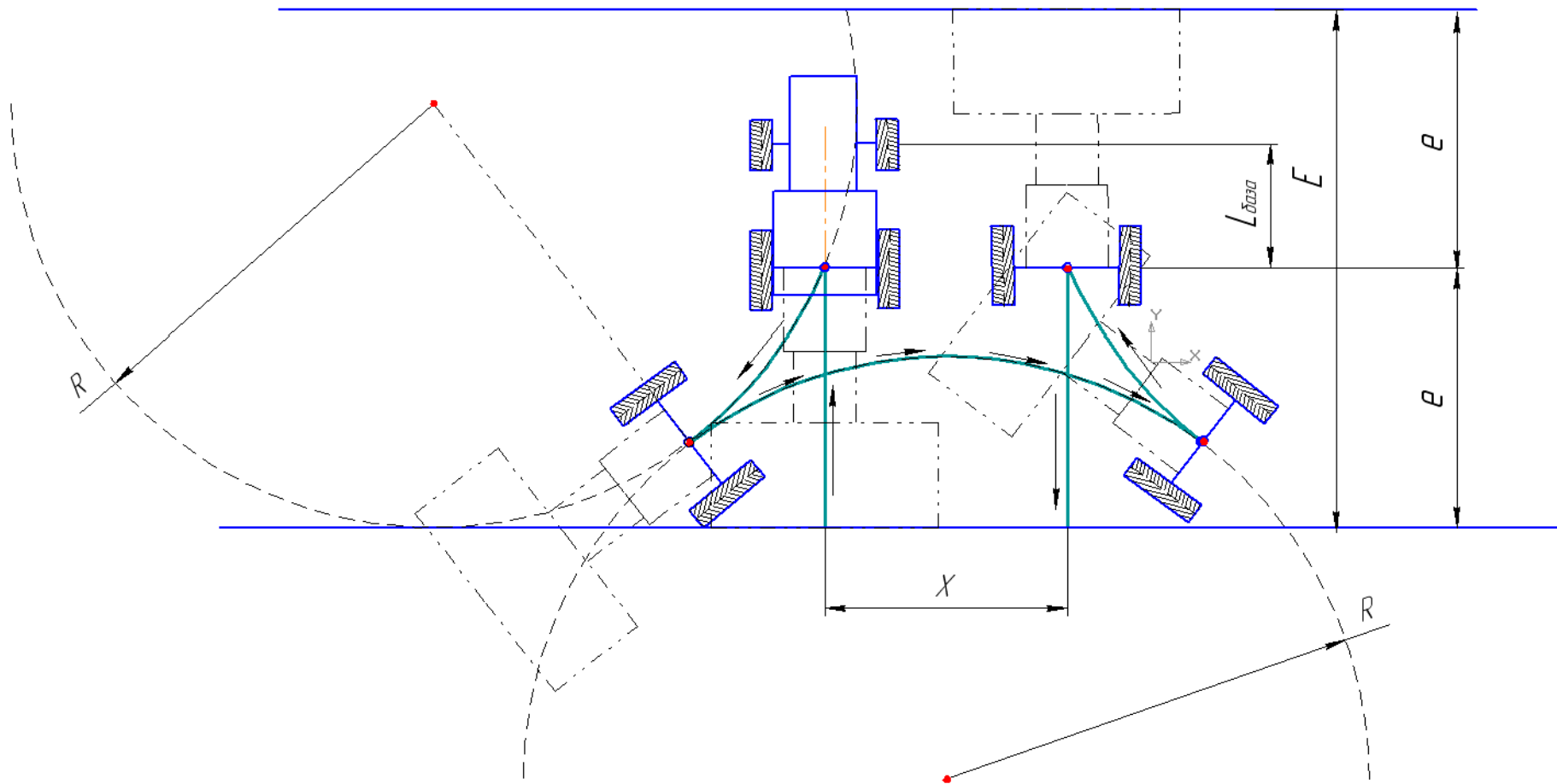


а

б



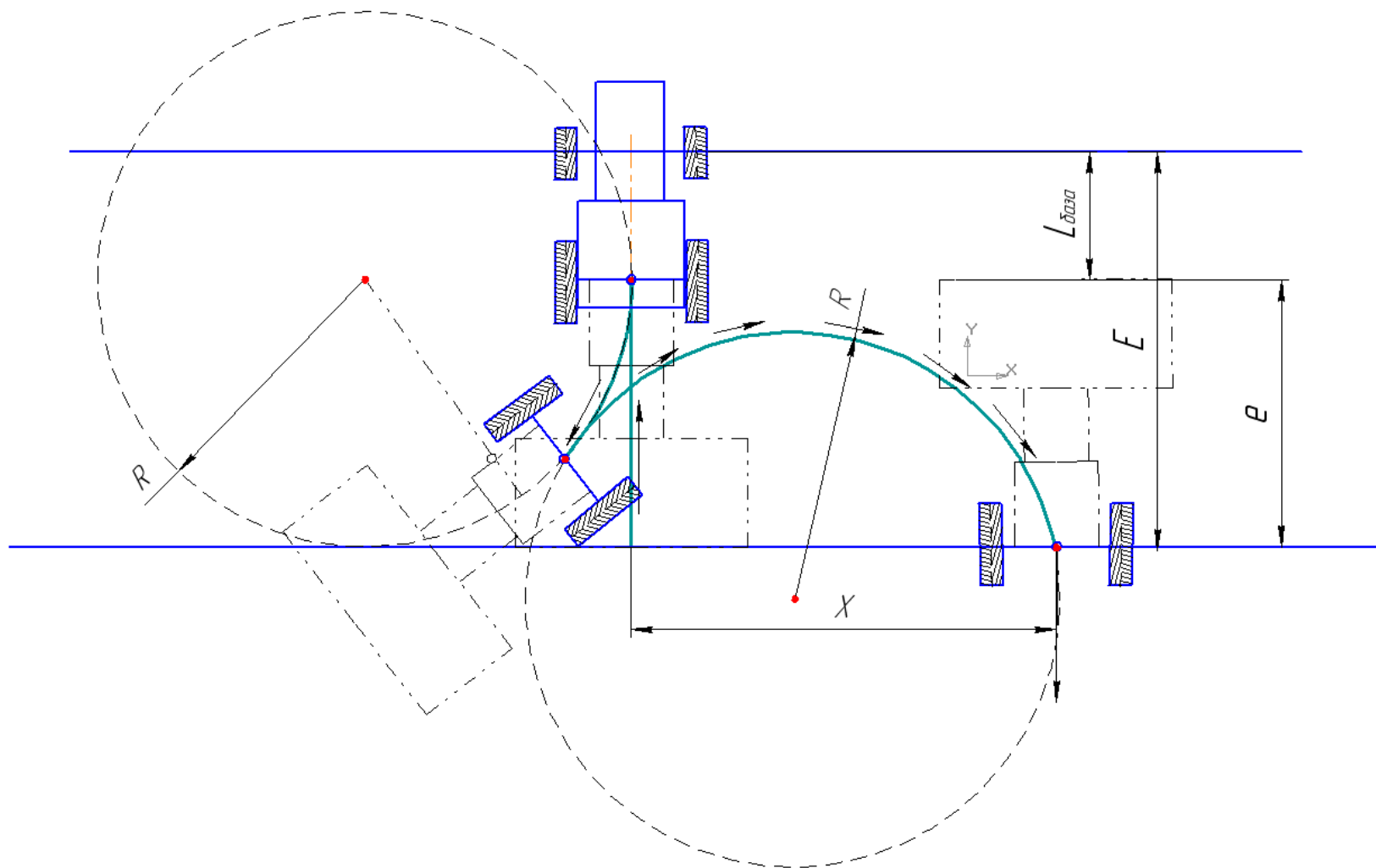
# ПЕТЛЕВЫЕ ПОВОРОТЫ на $180^\circ$ с боковым задним ходом (симметричный)

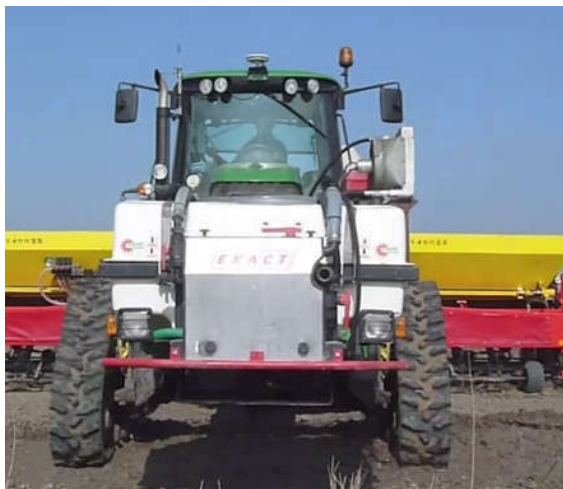




**Время на поворот - 14 с**

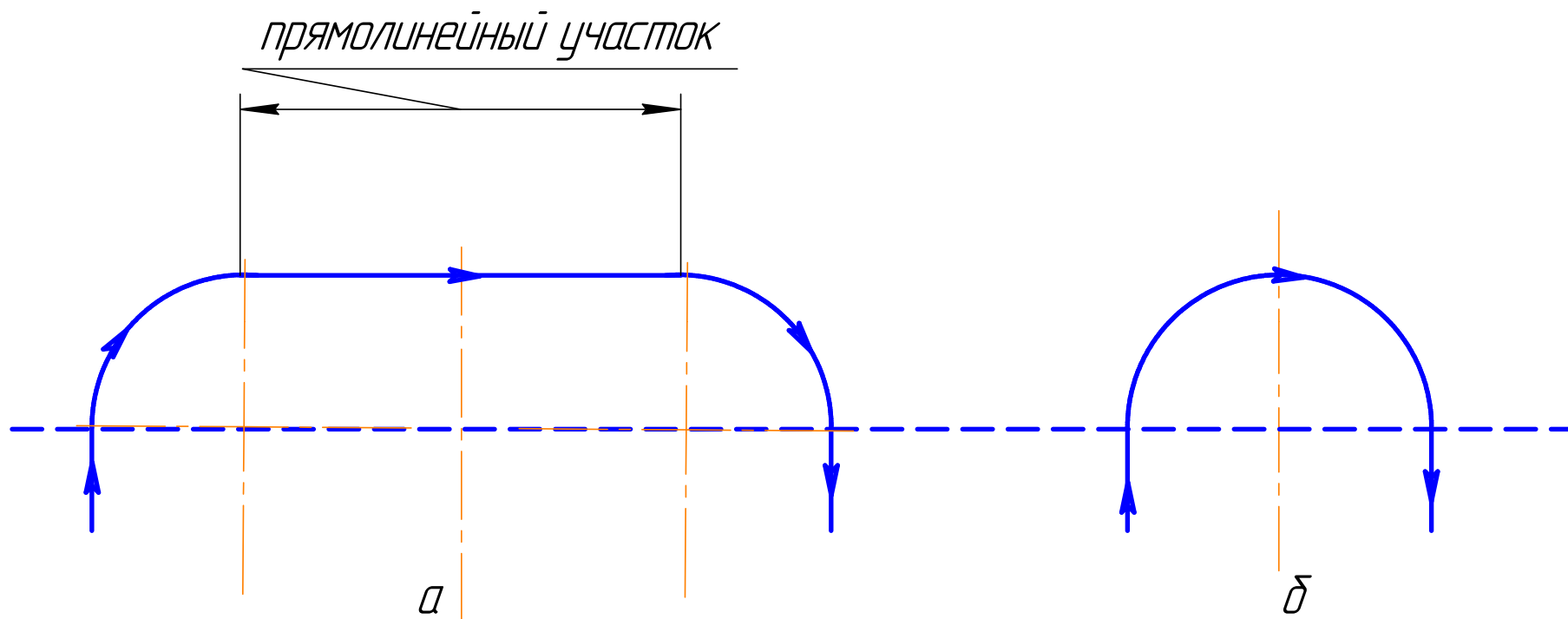
# ПЕТЛЕВЫЕ ПОВОРОТЫ на $180^\circ$ с боковым задним ходом (асимметричный)



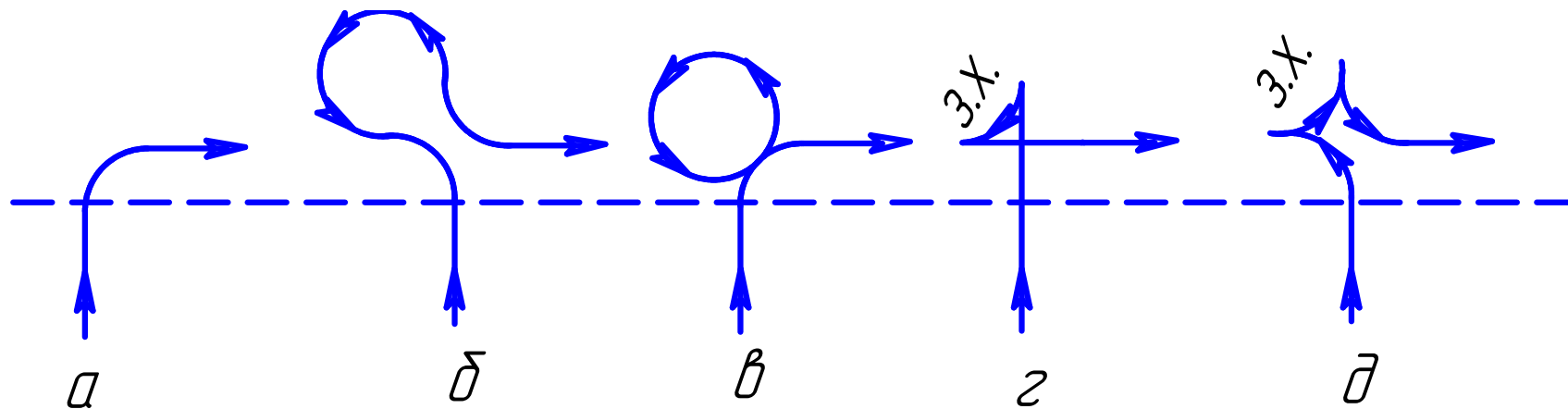


**Время на поворот - 10 с**

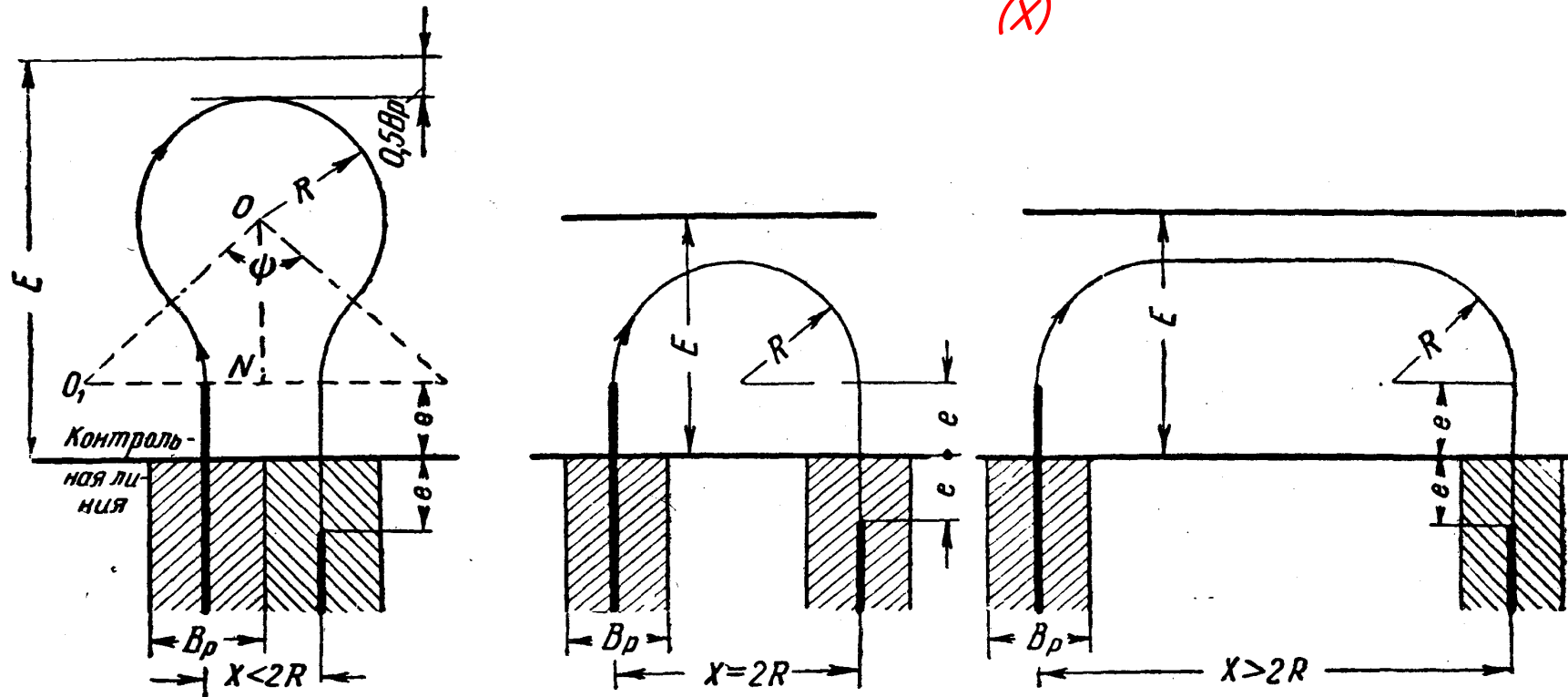
## БЕСПЕТЛЕВЫЕ ПОВОРОТЫ на $180^\circ$



# ПОВОРОТЫ на $90^0$



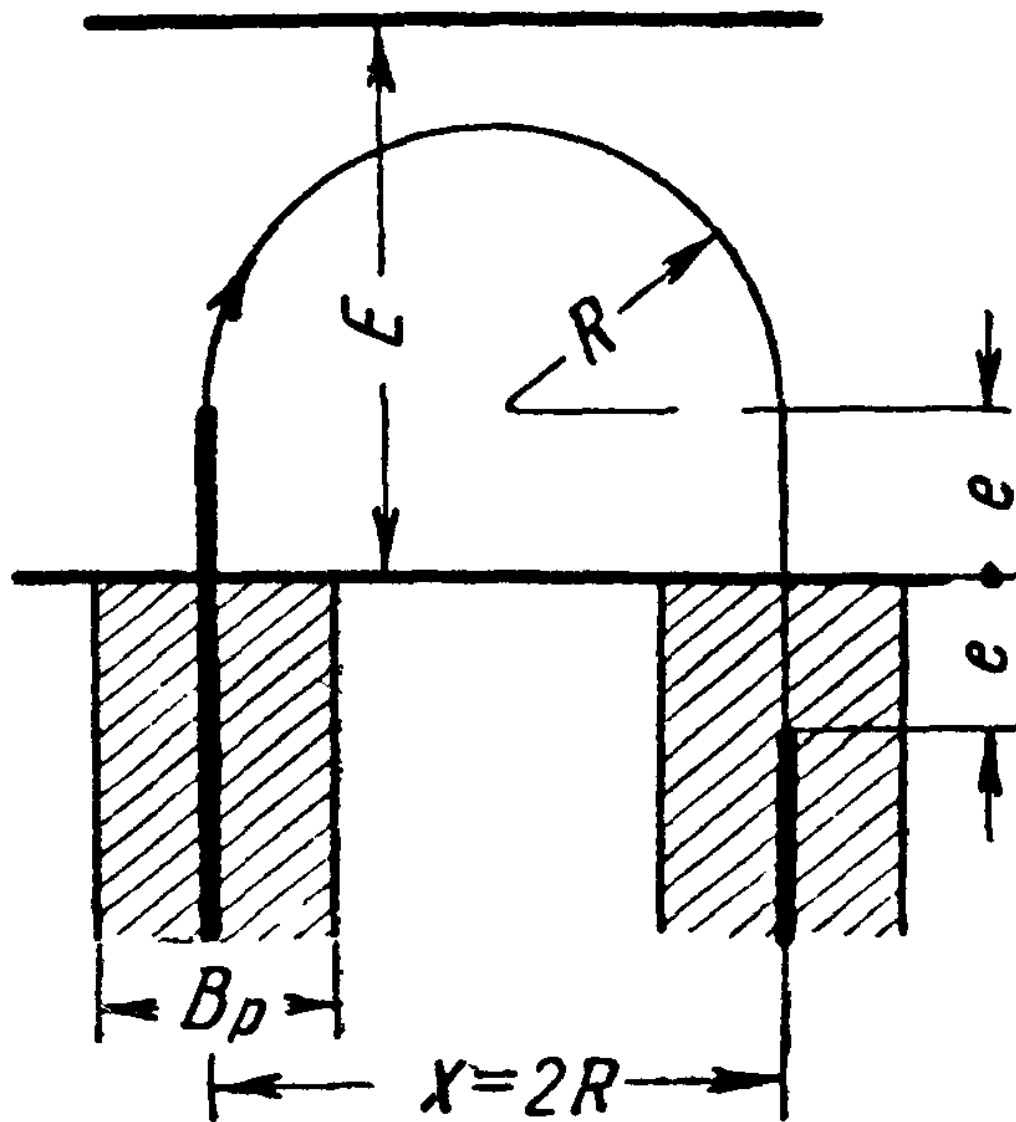
*Виды поворотов в зависимости от соотношения радиуса поворота ( $R$ ) и расстояния между смежными проходами ( $X$ )*



Виды характерных поворотов на  $180^\circ$ :

- а) петлевой грушевидный;
- б) беспетлевой с прямолинейным участком;
- в) беспетлевой по окружности.

## Длины поворотов (расчет )



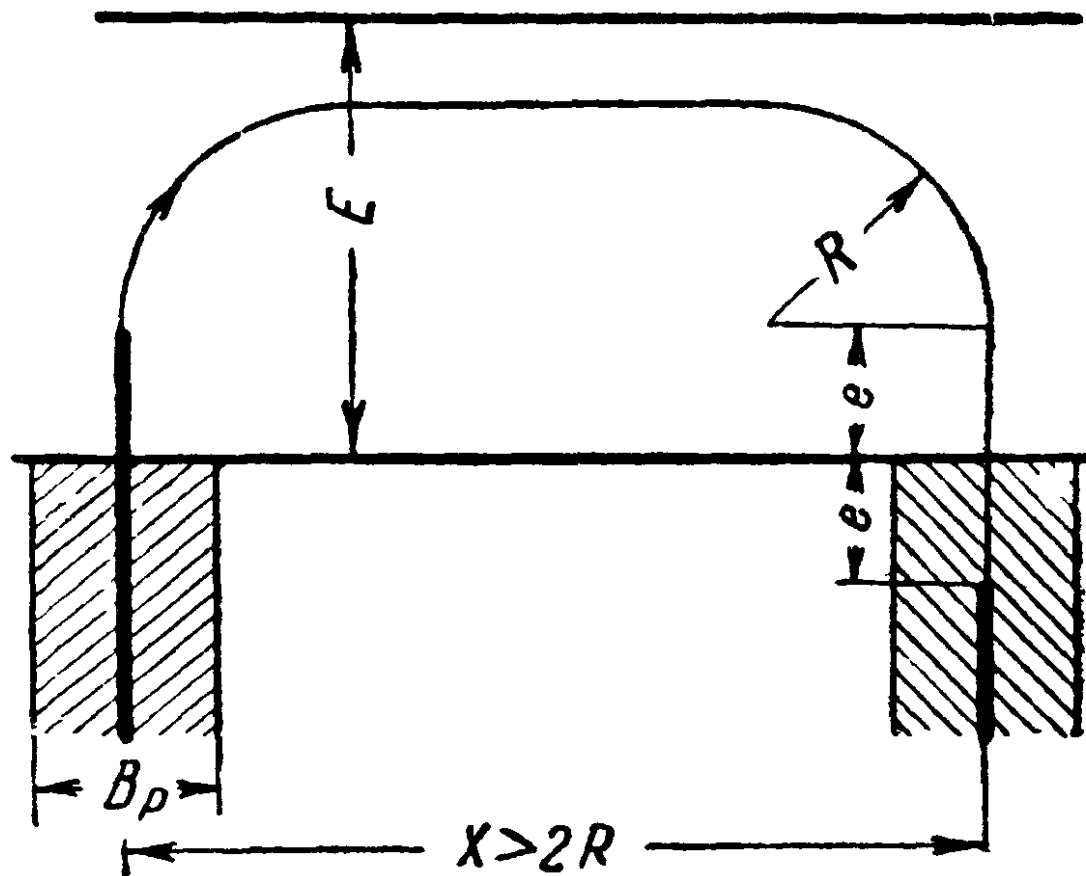
Ширина поворотной  
полосы

$$E = R + 0,5d_k + e$$

$$l = \pi R$$

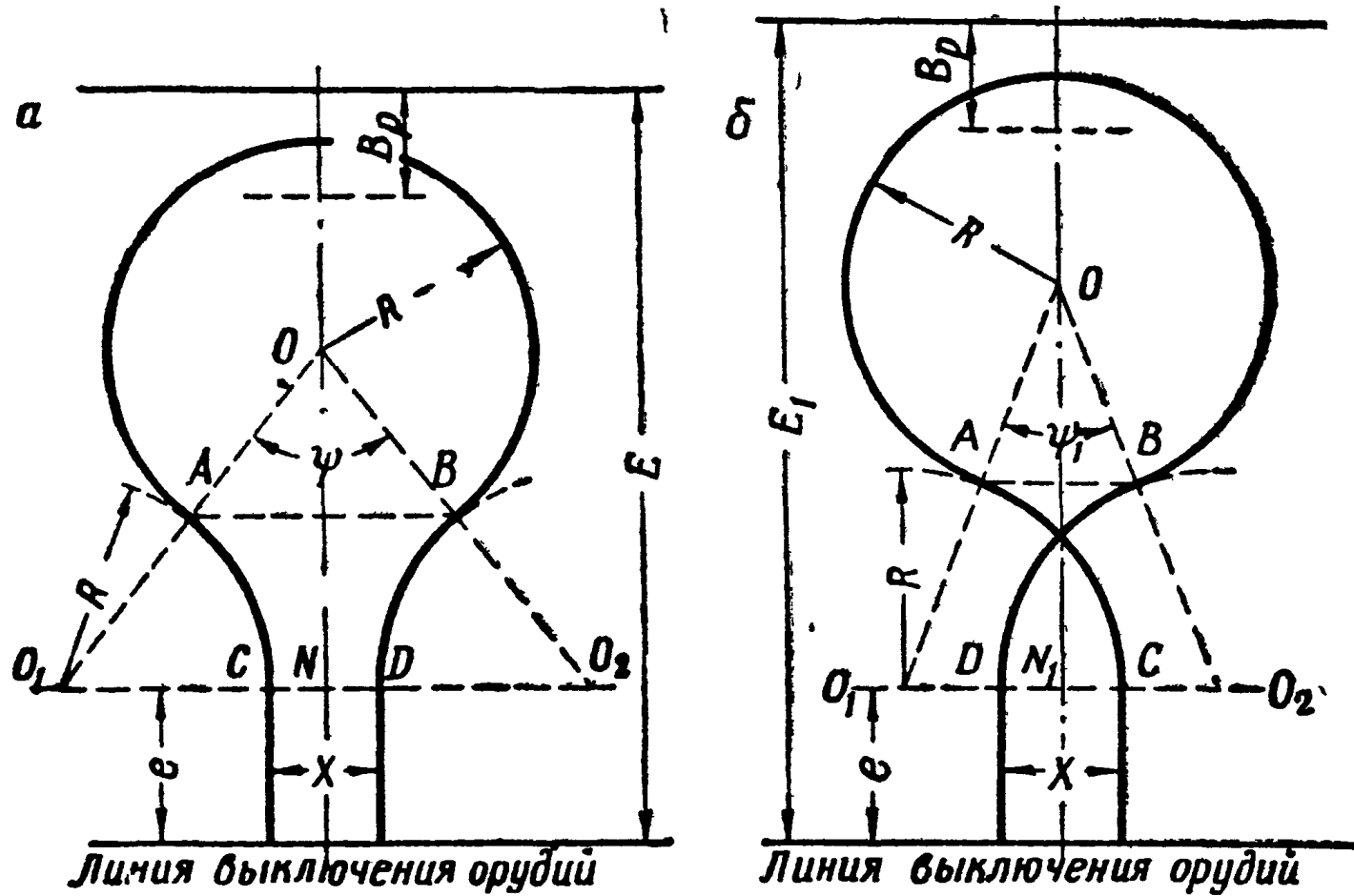
Ширина поворотной  
полосы

$$E = R + 0,5d_k + e$$



$$l = \frac{2\pi R}{4} 2 + X - 2R = 1,14R + X$$

Длины поворотов (вывод формул)



Петлевые повороты:  
а—грушевидный; б—восьмеркообразный

$$l = 2\pi R - \overline{AB} + \overline{AC} + \overline{BD}$$

$$\overline{AB} = \frac{2\pi R}{360} \psi;$$

$$l = 2\pi R - \frac{2\pi R}{360} \psi + \frac{4\pi R}{360} \left( 90 - \frac{\psi}{2} \right),$$

$$\overline{BD} = \overline{AC} = \frac{2\pi R}{360} \left( 90 - \frac{\psi}{2} \right)$$

$$l = \pi R \left( 3 - \frac{\psi}{90} \right).$$

### Грушевидный поворот

Из треугольника  $O_1ON$

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{2R + X}{4R}$$

$$\psi = 2 \arcsin \frac{2R + X}{4R}$$

$$l = \pi R \left( 3 - \frac{1}{45} \arcsin \frac{2R + X}{4R} \right)$$

### Восьмеркообразный поворот

$$\sin \frac{\psi}{2} = \frac{R - \frac{X}{2}}{2R}$$

$$\psi = 2 \arcsin \frac{2R - X}{4R}$$

$$l = \pi R \left( 3 - \frac{1}{45} \arcsin \frac{2R - X}{4R} \right)$$

Ширина поворотной полосы

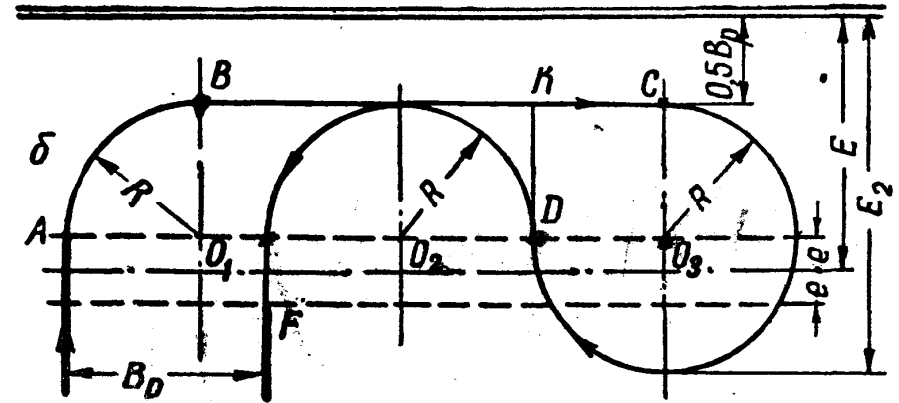
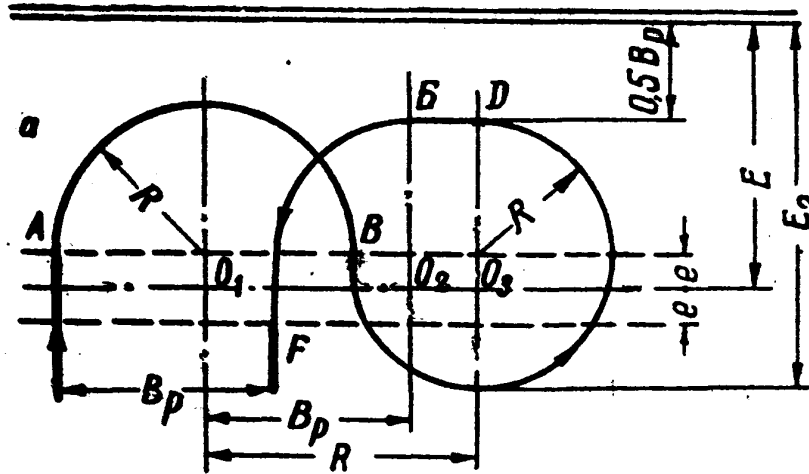
$$E = 0,5d_{\kappa} + R + 2R \cos \frac{\psi}{2}$$

# Ширина поворотной полосы

Восьмеркообразный

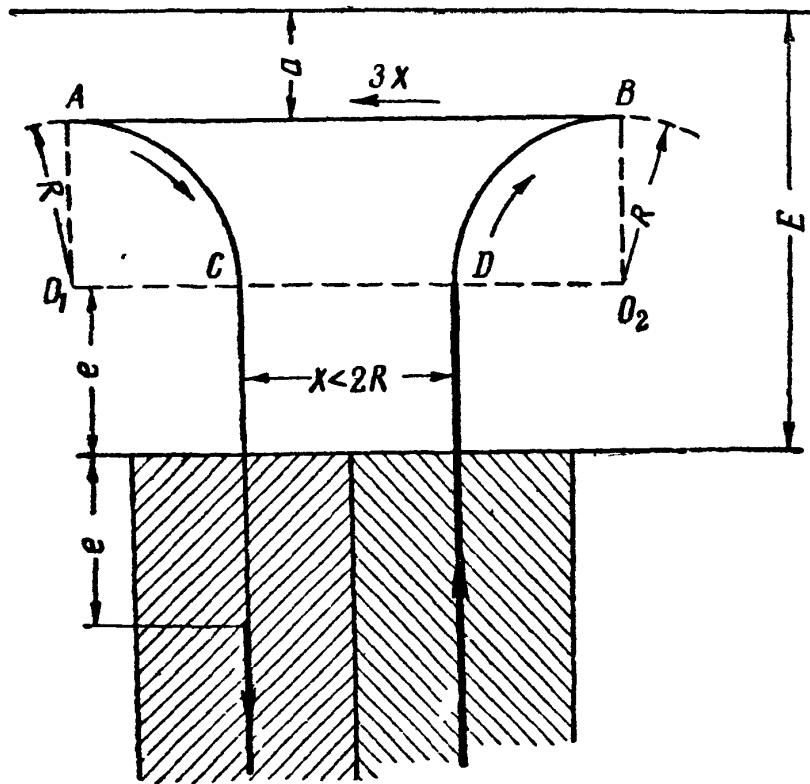
$$E = R + 0,5d_k + e$$

Грушевидный



$$E_2 = 2R + 0,5d_k$$

Параметры	Виды поворота	
	восьмеркообразный	грушевидный
Длина холостого заезда . . .	$l_x = 3\pi R + 2R - B_p + 2e$	$l_x = 3\pi R + B_p + 2R + 2e$
То же, при $R = B_p$ . . . . .	$l_x = 10,42R + 2e$	$l_x = 12,42R + 2e$



Ширина поворотной полосы

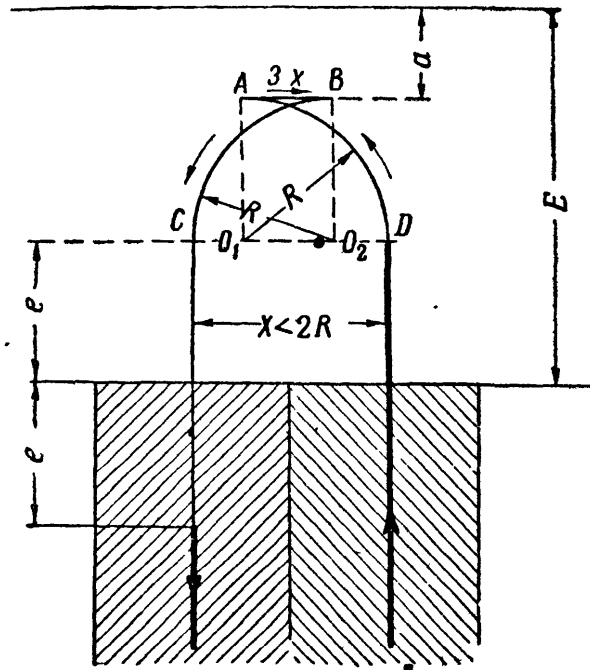
$$E = R + 0,5d_k + e$$

Грибовидный прямой поворот навесного агрегата с удлиненным движением задним ходом.

При  $X = B_p$

$$l = \pi R + 2R + X = 5,14 R + X.$$

$$l = 5,14 R + B_p.$$



## Ширина поворотной полосы

$$E = R + 0,5d_k + e$$

$$l = \pi R + AB.$$

$$AB = X - (CO_1 + O_2D).$$

Грибовидный прямой поворот навесного агрегата с укороченным движением задним ходом.

Но так как  $CO_1 = O_2D$  и  $CO_1 = X - R$ , то после подстановки и преобразования получим  $AB = 2R - X$ .

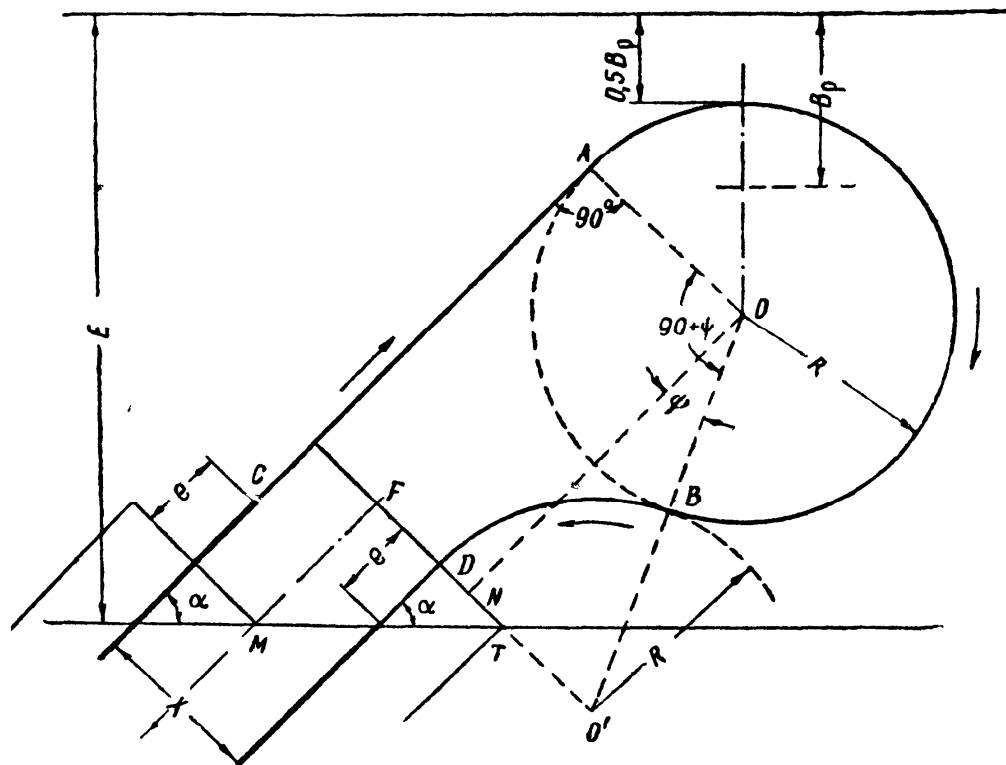
Следовательно, длина заезда будет:

$$l = 5,14R - X,$$

или, при  $X = B_p$ :

$$l = 5,14R - B_p.$$





Грушевидный косо́й правый удлиненный поворот

$$l = 2\pi R - \overline{AB} + \overline{BD} + \overline{CA},$$

$$\overline{AB} = \frac{2\pi R}{360} (90 + \psi);$$

$$\overline{BD} = \frac{2\pi R}{360} (90 - \psi);$$

$$CA = MF + 2R \cos \psi - e$$

$$MF = FT \operatorname{ctg} \alpha = B_p \operatorname{ctg} \alpha,$$

$$\overline{CA} = B_p \operatorname{ctg} \alpha + 2R \cos \psi - e$$

$$l = 2\pi R - \frac{2\pi R}{360} (90 + \psi) + \frac{2\pi R}{360} (90 - \psi) + 2R \cos \psi + B_p \operatorname{ctg} \alpha - e$$

$$l = \pi R \left( 2 - \frac{\psi}{90} \right) + 2R \cos \psi + B_p \operatorname{ctg} \alpha - e$$

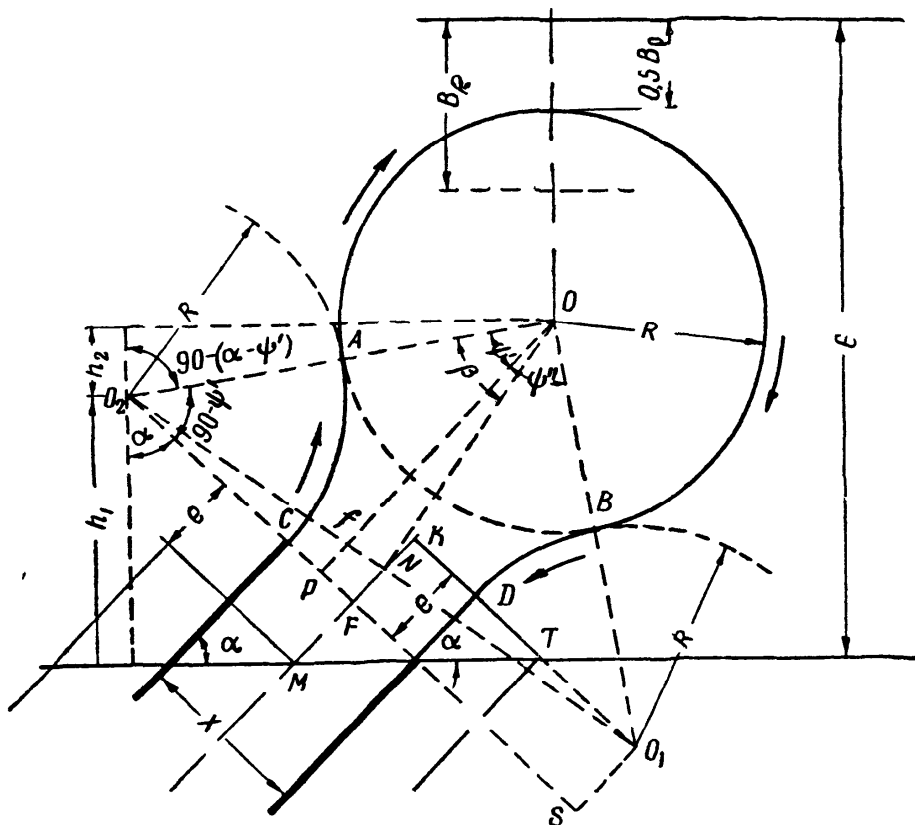
$$\sin \phi = \frac{NO'}{2R}, \text{ а } NO' = X + R - R = X,$$

$$\phi = \arcsin \frac{X}{2R}.$$

$$\cos \phi = \sqrt{1 - \sin^2 \phi} = \frac{\sqrt{4R^2 - X^2}}{2R}$$

$$l = \pi R \left( 2 - \frac{1}{90} \arcsin \frac{X}{2R} \right) + \sqrt{4R^2 - X^2} + B_p \operatorname{ctg} \alpha$$

Если  $X = B_p \cong \bar{R}$  и  $\alpha = 45^\circ$   $l = 7,5 R - e$ .



Грушевидный косой правый поворот

Если  $X = B_p \cong \bar{R}$  и  $\alpha = 45^\circ$   
а  $(B_p \operatorname{ctg} \alpha - e)^2$  мало в сравнении с  
 $(2R + X)^2$ , то  $l \cong 6R$

$$l = 2\pi R - \overset{\frown}{AB} + \overset{\frown}{CA} + \overset{\frown}{BD}$$

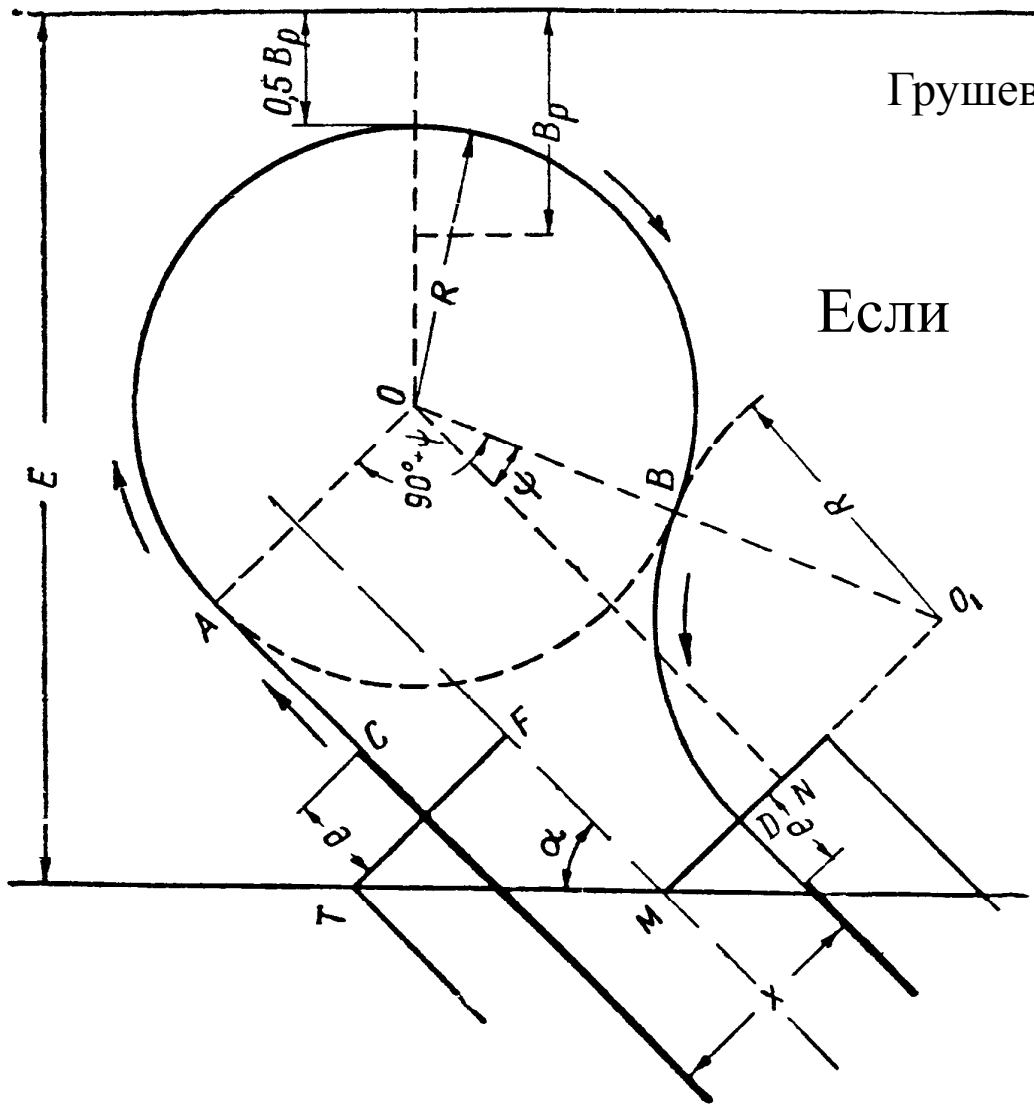
$$l = \pi R \left[ 3 - \frac{1}{45} \operatorname{arc} \sin \frac{\sqrt{(B_p \operatorname{ctg} \alpha - e)^2 + (2R + X)^2}}{4R} \right]$$

Ширина поворотной полосы для этого и предыдущего поворота

$$E = (R + 0,5d_k + e \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha + \sin \alpha \sqrt{4R^2 - F^2} - F \cos \alpha + R + 0,5d_k;$$

$$F = (1,5 - 0,46 \operatorname{ctg} \alpha) R + 0,46e$$





Грушевидный косой поворот левый  
правого поворота

Если










$$X = B_p \cong \bar{R} \text{ и } \alpha = 45^\circ$$

$$l \cong 6R - e$$

Ширина поворотной полосы для этого и предыдущего поворота

$$E = (R + 0,5d_k)(1 + \cos \alpha) + \sin \alpha \sqrt{4R^2 - X^2} - X \cos \alpha$$

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВОРОТОВ

Вид поворота		Схема поворота	Расчетные формулы	
			Длина холостого заезда, $l_x$	Ширина поворотной полосы, $E$
На $90^\circ$	беспетлевой		$(1,6...1,8)R + 2e$	$1,1R + 0,5d_k + e^*$
	петлевой с открытой петлей		$(6...8,5)R + 2e$	$2,8R + 0,5d_k + e$
	петлевой с закрытой петлей		$(5...6,5)R + 2e$	$2R + 0,5d_k + e$
на $180^\circ$	беспетлевой дугообразный		$(3,2...4)R + 2e$	$1,1R + 0,5d_k + e$
	беспетлевой с прямолинейным участком		$(1,1...2)R + x + 2e$	$1,1R + 0,5d_k + e$
	петлевой грушевидный		$(6,6...8)R + 2e$	$2,8R + 0,5d_k + e$
	петлевой восьмеркообразный		$(8...9)R + 2e$	$3R + 0,5d_k + e$
	грибовидный с открытой петлей		$(4,1...5)R + 2e$	$1,1R + 0,5d_k + e$
	грибовидный с закрытой петлей		$(5...5,5)R + 2e$	$1,1R + 0,5d_k + e$

\*  $e$  – длина выезда агрегата,  $d_k$  – кинематическая ширина агрегата.

Приближенные формулы для расчета длины холостого заезда и ширины поворотной полосы