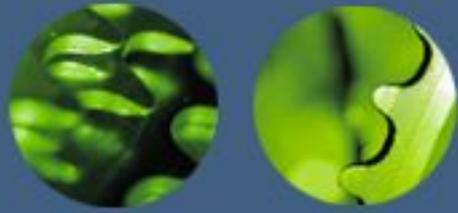


# *Детали машин и основы*



## *конструирования*

*Кинематический расчет*

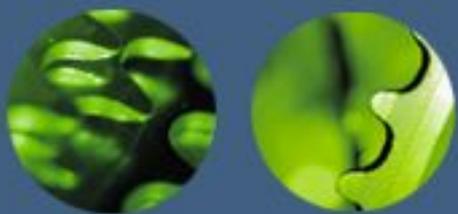


# **ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИВОДА**

## **Тема «ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИВОДА»**

**Ц е л ь :**

- 1. Определить номинальную мощность и номинальную частоту вращения двигателя.**
- 2. Определить передаточное число привода и его ступеней.**
- 3. Рассчитать силовые и кинематические параметры привода.**



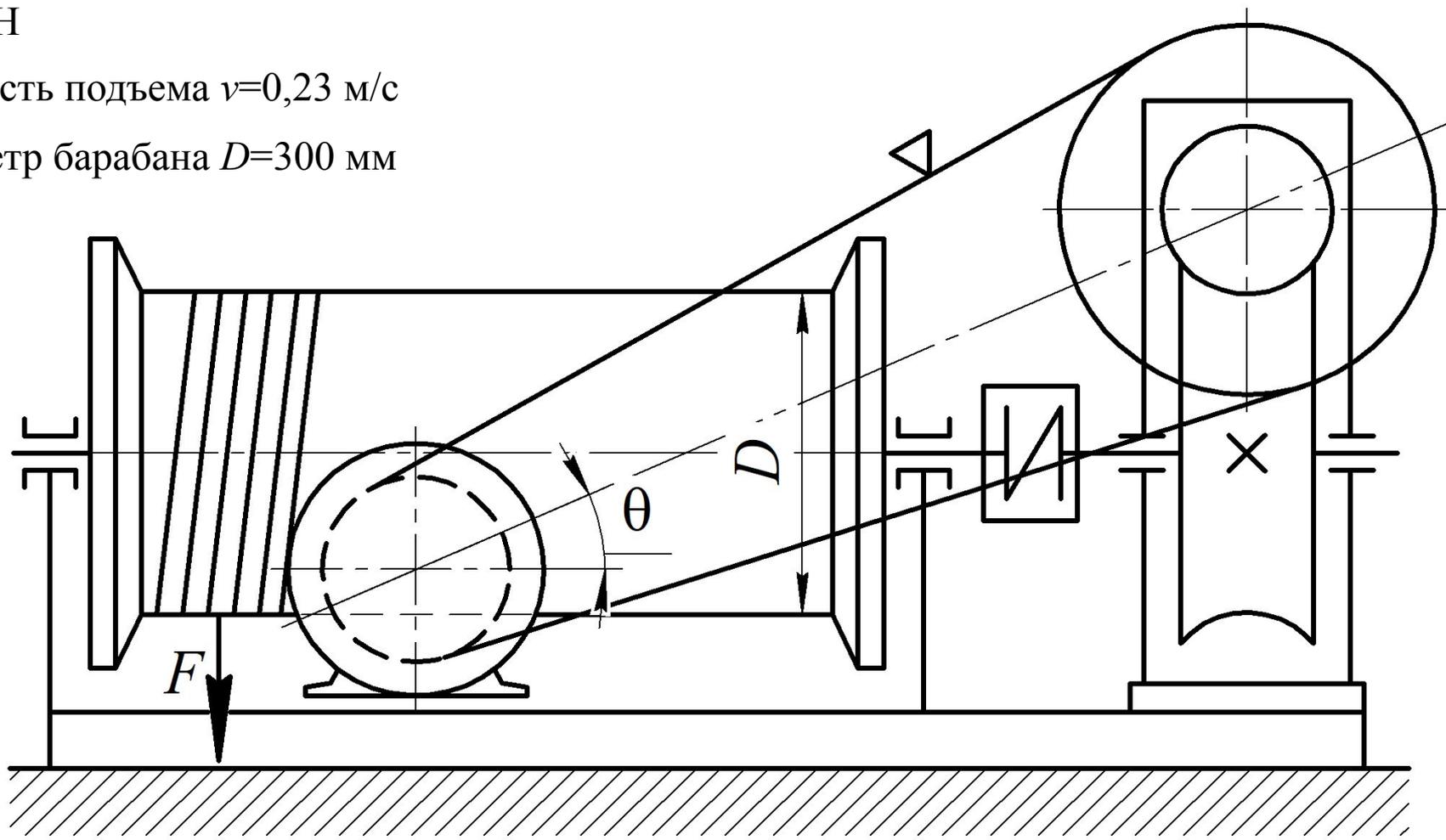
# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

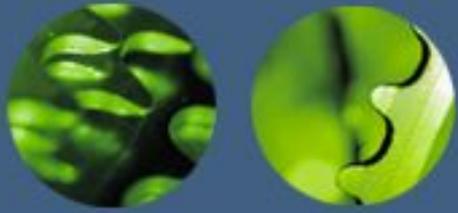
Грузоподъемность лебедки  
 $F=5$  кН

Угол наклона ременной передачи  $\theta=30^\circ$  град

Скорость подъема  $v=0,23$  м/с

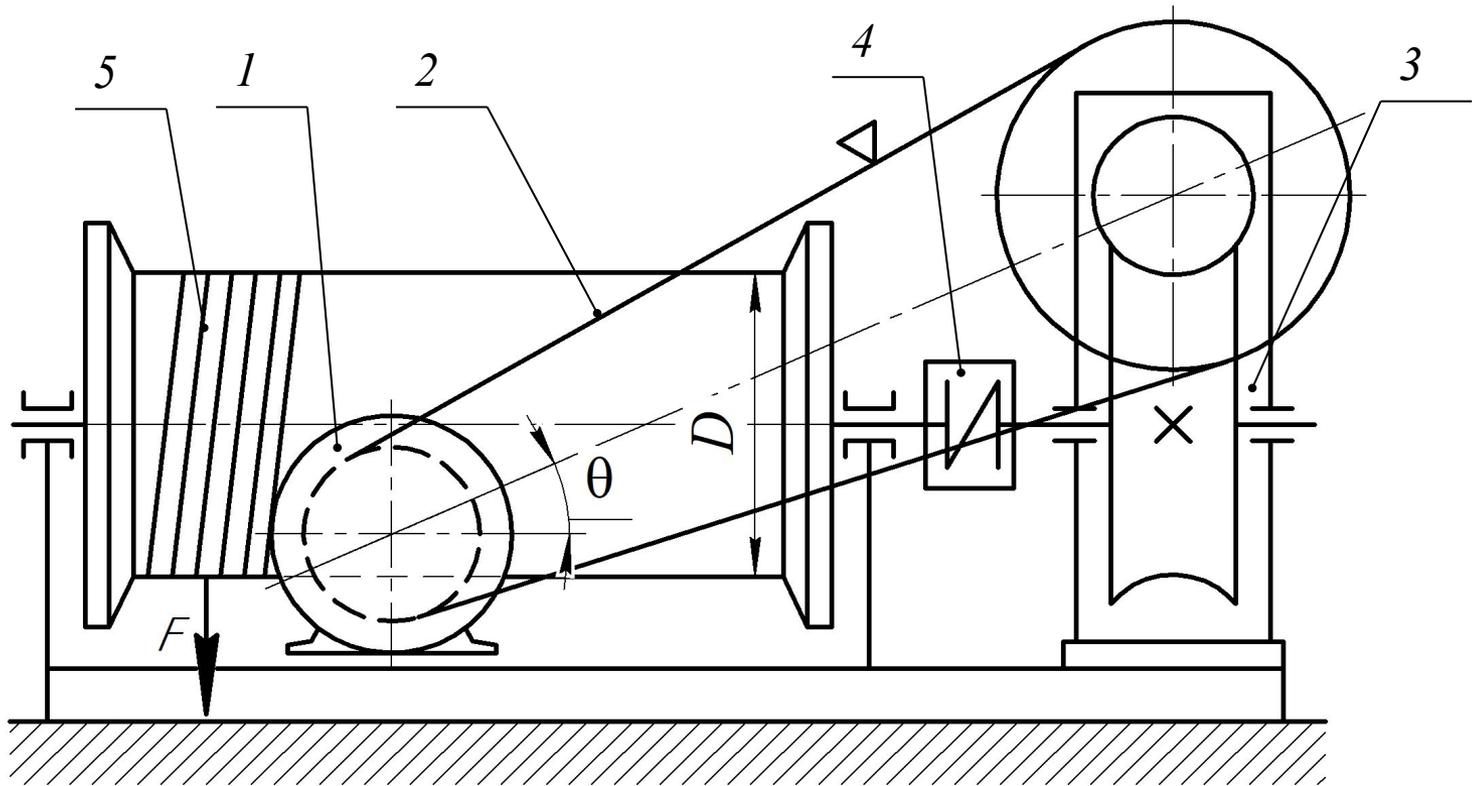
Диаметр барабана  $D=300$  мм



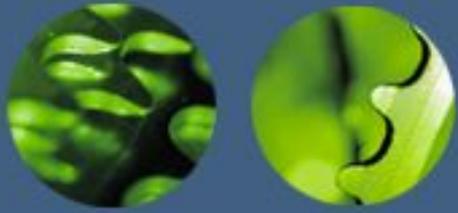


# Анализ кинематической схемы привода

Рассмотрим кинематическую схему привода электрической лебедки.



В данном случае привод состоит из: 1 – эл. двигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – червячный редуктор; 4 – упругая муфта с торообразной оболочкой; 5 – барабан лебедки.

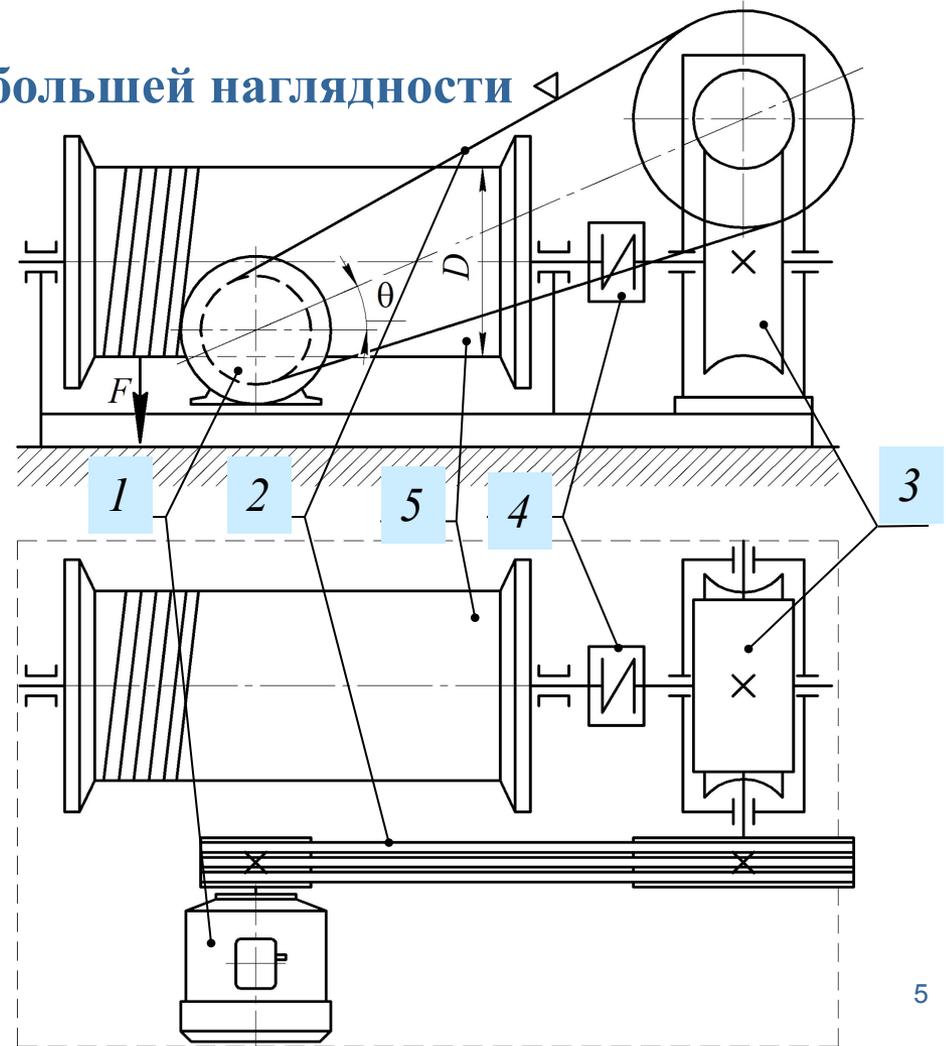


# Анализ кинематической схемы привода

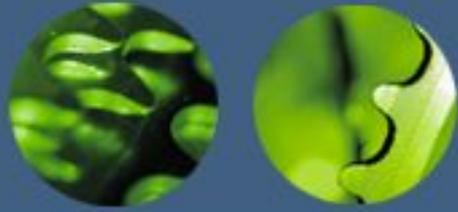
Построим второй вид привода для большей наглядности

## ОТМЕТИМ СОСТАВ ПРИВОДА:

- 1 – эл. двигатель;
- 2 – клиноременная передача;
- 3 – червячный редуктор;
- 4 – упругая муфта с торообразной оболочкой;
- 5 – барабан лебедки.



Условные графические обозначения  
в схемах определяются по ГОСТ 2.721-74  
и ГОСТ 2.770-68 [1, стр.35-37]

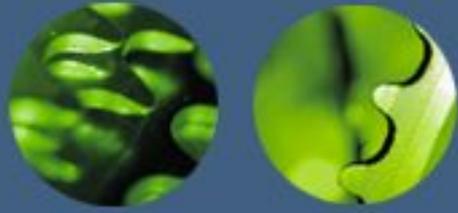


## Определение номинальной мощности и номинальной частоты вращения двигателя

1. Определим мощность на выходном валу привода или на валу рабочей машины  $P_{вых}$  кВт:

Так как в исходных данных на проектирование указано значение тяговой силы  $F$ , кН, и линейной скорости  $v$ , м/с, тягового органа рабочей машины то требуемая мощность на выходном валу привода определится как

$$P_{вых} = F \cdot v = 5 \cdot 0,23 = 1,15$$



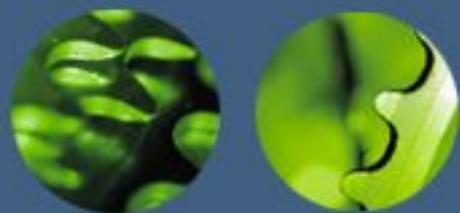
## Определение номинальной мощности и номинальной частоты вращения двигателя

2. Определим общий коэффициент полезного действия (КПД) привода:

$$\eta = \eta_{зп} \cdot \eta_{оп} \cdot \eta_{м} \cdot \eta_{пк} \cdot \eta_{пс},$$

где  $\eta_{зп}, \eta_{оп}, \eta_{м}, \eta_{пк}, \eta_{пс}$  – коэффициенты полезного действия закрытой передачи, открытой передачи, муфты, подшипников качения (по кинематическим схемам в редукторах две пары подшипников) и подшипников скольжения (по схеме на приводном валу рабочей машины одна пара подшипников).

Значения КПД передач и подшипников выбрать из [1, стр. 42,43; табл. 2.2 и примечания в ней].



## Определение номинальной мощности и номинальной частоты вращения двигателя

Для последовательно соединенных передач данной кинематической схемы коэффициент полезного действия определим, перемещаясь от эл. двигателя 1 к барабану лебедки 5.

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{р.п.}} \cdot \eta_{\text{ч.п.}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п.п.}}^m, \quad (1)$$

где  $\eta_{\text{р.п.}}$  – КПД открытой клиноременной передачи, принимаем  $\eta_{\text{р.п.}} = 0,96$ ;

$\eta_{\text{ч.п.}}$  – КПД червячной передачи, принимаем  $\eta_{\text{ч.п.}} = 0,85$ ;

$\eta_{\text{м}}$  – КПД муфты  $\eta_{\text{м}} = 0,98$ ;

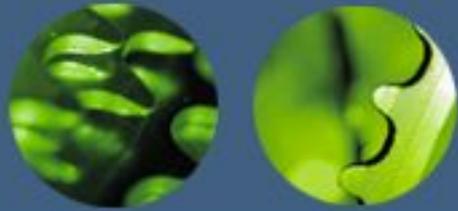
$\eta_{\text{п.п.}}$  – КПД пары подшипников, принимаем  $\eta_{\text{п.п.}} = 0,99$ ;

$m$  – количество пар подшипников качения, согласно кинематической схеме  $m = 2$ , подшипников скольжения –  $m = 1$ .

Величины КПД передач и элементов привода взяты как усреднённые значения из регламентированных, согласно таблице 2.2 [1, стр.42].

Таким образом, общий КПД привода определится как

$$\eta_{\text{общ}} = 0,96 \cdot 0,85 \cdot 0,98 \cdot 0,99^3 \approx 0,776.$$



## Определение номинальной мощности и номинальной частоты вращения двигателя

3. Определить требуемую мощность двигателя  $P_{т.дв}$ , кВт.

Требуемая мощность двигателя определяется по формуле

$$P_{т.дв} = \frac{P_{вых}}{\eta_{общ}}, \quad (2)$$

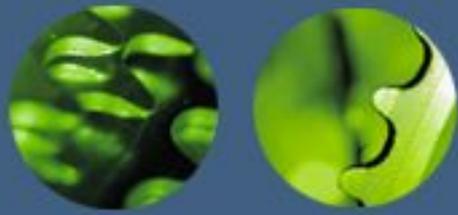
где  $P_{вых}$  – мощность на выходном валу привода, кВт;

$\eta_{общ}$  – общий КПД привода.

$$P_{т.дв} = \frac{P_{вых}}{\eta_{общ}} = \frac{1,15}{0,776} = 1,482$$

Номинальная мощность двигателя выбирается по таблице К9 [1, стр. 406] с условием  $P_{дв.ном} \geq P_{т.дв}$

$$P_{дв.ном} = 1,5 \text{ кВт} .$$

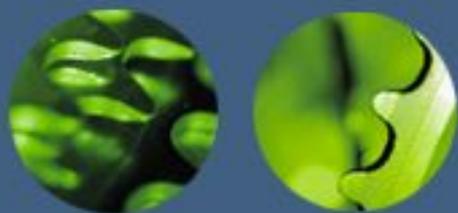


## Определение номинальной мощности и номинальной частоты вращения двигателя

Каждому значению номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$  соответствует в большинстве не одно, а несколько типов двигателей с различными частотами вращения, синхронными 3000, 1500, 1000, 750 об/мин.

*Выбор оптимального типа двигателя зависит от типов передач, входящих в привод, кинематических характеристик рабочей машины, и производится после определения передаточного числа привода и его ступеней.*

При этом надо учесть, что двигатели с большой частотой вращения (синхронной 3000 об/мин) имеют низкий рабочий ресурс, а двигатели с низкими частотами (синхронными 750 об/мин) весьма металлоемки, поэтому их нежелательно применять без особой необходимости в приводах общего назначения малой мощности. В приведенном ниже примере рассматривается и анализируется возможность применения для определенно выбранной номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$  всех типов двигателей.



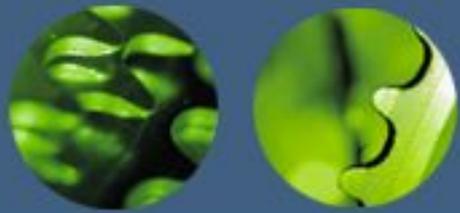
## Определение номинальной мощности и номинальной частоты вращения двигателя

Варианты типа двигателя для полученной номинальной мощности  $P_{\text{дв.ном}} = 1,5 \text{ кВт}$  представлены в таблице 1 на основании данных таблицы К9 [1, стр. 406].

Таблица 1 – Варианты двигателя

Вариант	Тип двигателя	Синхронная частота вращения	Номинальная частота вращения $n_{\text{дв}}$ об/мин
1	4AM80A2Y3	3000	2850
2	4AM80B4Y3	1500	1415
3	4AM90L6Y3	1000	935
4	4AM100L8Y3	750	700

# Определение



## передаточного числа привода и его ступеней

Передаточное число привода  $u_{об}$  определяется отношением номинальной частоты вращения двигателя  $n_{дв}$  к частоте вращения приводного вала рабочей машины  $n_{вых}$  при номинальной нагрузке и равно произведению передаточных чисел закрытой  $u_{зп}$  (червячной передачи или червячного редуктора) и открытой  $u_{оп}$  передач (клиноременная передача)

$$u_{об} = \frac{n_{дв}}{n_{вых}} = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{вых}} = u_{зп} \cdot u_{оп} \quad (3)$$

Определить частоту вращения приводного вала рабочей машины  $n_{вых}$ , об/мин:

– для ленточных конвейеров, грузоподъемных и прочих машин:

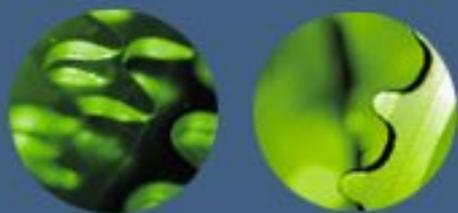
$$n_{вых} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot D},$$

где  $v$  — скорость тягового органа, м/с;  $D$  — диаметр барабана, мм.

$$n_{вых} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 0,23}{\pi \cdot 300} = 14,64 \text{ об/мин}$$

\* – для цепных конвейеров [1, стр. 43].

# Определение передаточного числа привода и его ступеней



2. Определим передаточное число привода для всех приемлемых вариантов типа двигателя при заданной номинальной мощности  $P_{\text{дв.ном}} = \text{кВт}$  :

Подставляем значения частоты вращения приводного вала рабочей машины и номинальной частоты вращения для каждого варианта в формулу (1.4) получим:

$$u_{\text{об1}} = \frac{2850}{14,64} = 194,672;$$

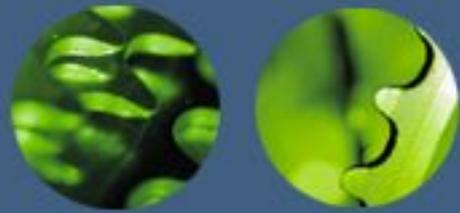
$$u_{\text{об2}} = \frac{1415}{14,64} = 96,65;$$

$$u_{\text{об3}} = \frac{935}{14,64} = 63,866;$$

$$u_{\text{об4}} = \frac{700}{14,64} = 47,814.$$

Полученные результаты сведем в таблицу 2.

# Определение



## передаточного числа привода и его ступеней

Определим передаточные числа ступеней привода.

Определение и выбор передаточных чисел ступеней производим разбивкой передаточного числа привода для всех вариантов типа двигателя так, чтобы

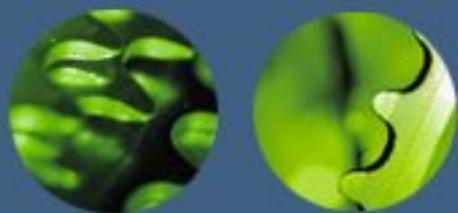
$$u_1 = u_{zn1} \cdot u_{on1}; u_2 = u_{zn2} \cdot u_{on2}; u_3 = u_{zn3} \cdot u_{on3}; u_4 = u_{zn4} \cdot u_{on4}$$

где  $u_{zn}$  и  $u_{on}$  – соответственно передаточные числа привода, редуктора и открытой передачи.

При этом возможны три способа разбивки передаточного числа  $u_i$  (выбирая способ, необходимо учесть стандартность передаточного числа закрытой передачи-редуктора  $u_{zni}$  и нестандартность передаточного числа  $u_{oni}$  – открытой). Данные способы великолепно описаны [1, стр.44].

В нашем случае будем использовать первый случай, а именно оставим передаточное число редуктора  $u_{zni}$  постоянным, изменяя передаточное число открытой передачи  $u_{oni}$ .

# Определение передаточного числа привода и его ступеней



В соответствии с ГОСТ 2144-75 [1, стр. 45, табл. 2.3] принимаем передаточное число червячного редуктора  $u_{ред} = u_{з.п.і} = 25$  постоянным. (Значения 1-го ряда следует предпочитать значениям 2-го ряда.)

Из условия (1.5) определим передаточное число клиноременной передачи (открытой передачи)

$$u_{р.п.і} = u_{о.п.і} = \frac{u_{общі}}{u_{реді}} \quad (1.5)$$

Подставляем значения передаточных чисел для каждого варианта последовательно в формулу (1.5), а полученные значения заносим в таблицу 2.

$$u_{р.п.1} = \frac{u_{общ1}}{u_{ред1}} = \frac{194,672}{25} = 7,786; \quad u_{р.п.2} = \frac{u_{общ2}}{u_{ред2}} = \frac{96,65}{25} = 3,866;$$

$$u_{р.п.3} = \frac{u_{общ3}}{u_{ред3}} = \frac{63,866}{25} = 2,554; \quad u_{р.п.4} = \frac{u_{общ4}}{u_{ред4}} = \frac{47,814}{25} = 1,912$$

# Определение передаточного числа привода и его ступеней

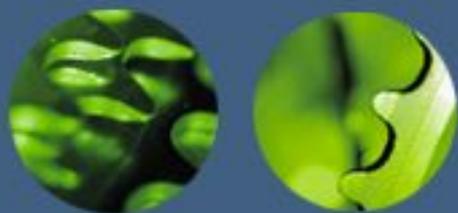


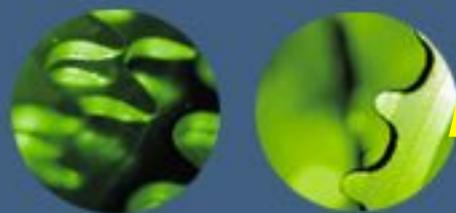
Таблица 2 – Передаточные числа привода

Передаточное число	Вариант			
	1	2	3	4
Привод $u_{\text{общ}}$	194,672	96,65	63,866	47,814
Редуктор $u_{\text{ред}}$	25	25	25	25
Ременная передача $u_{\text{р.п}}$	7,786	3,866	2,554	1,912

Анализ таблицы 2 показывает, что варианты 1, 2 и 4 не подходят, т.к. значение передаточного числа клиноременной передачи не попадает в диапазон рекомендуемых значений от 2 до 3 [1, стр.45, табл.2.3].

Выбираем вариант 3, двигатель 4AM90L6У3 с номинальной мощностью  $P_{\text{дв}} = 1,5 \text{ кВт}$  и номинальной частотой вращения  $n_{\text{дв}} = 935 \text{ об/мин}$

( $\omega_{\text{дв}} = \frac{n_{\text{дв}} \cdot \pi}{30} = \frac{935 \cdot \pi}{30} = 97,912 \text{ рад/с}$ ). Передаточные числа: редуктора  $u_{\text{ред}} = 25$ , открытой клиноременной передачи  $u_{\text{р.п}} = 2,554$ .



# Определение силовых и кинематических параметров привода

## 3. Определение силовых и кинематических параметров привода

Силовые (мощность и вращающий момент) и кинематические (частота вращения и угловая скорость) параметры привода рассчитывают на валах привода из требуемой (расчетной) мощности двигателя  $P_{т.дв} = 1,482$  и его номинальной частоты вращения  $n_{дв} = 955$  мин при установившемся режиме [1, стр. 46, табл. 2.4].

**!!!ВНИМАНИЕ!!!** В заданиях существуют только два вида последовательности соединения элементов привода по кинематической схеме:

$$1) \text{ дв} \rightarrow \text{оп} \rightarrow \text{зп} \rightarrow \text{м} \rightarrow \text{рм}$$

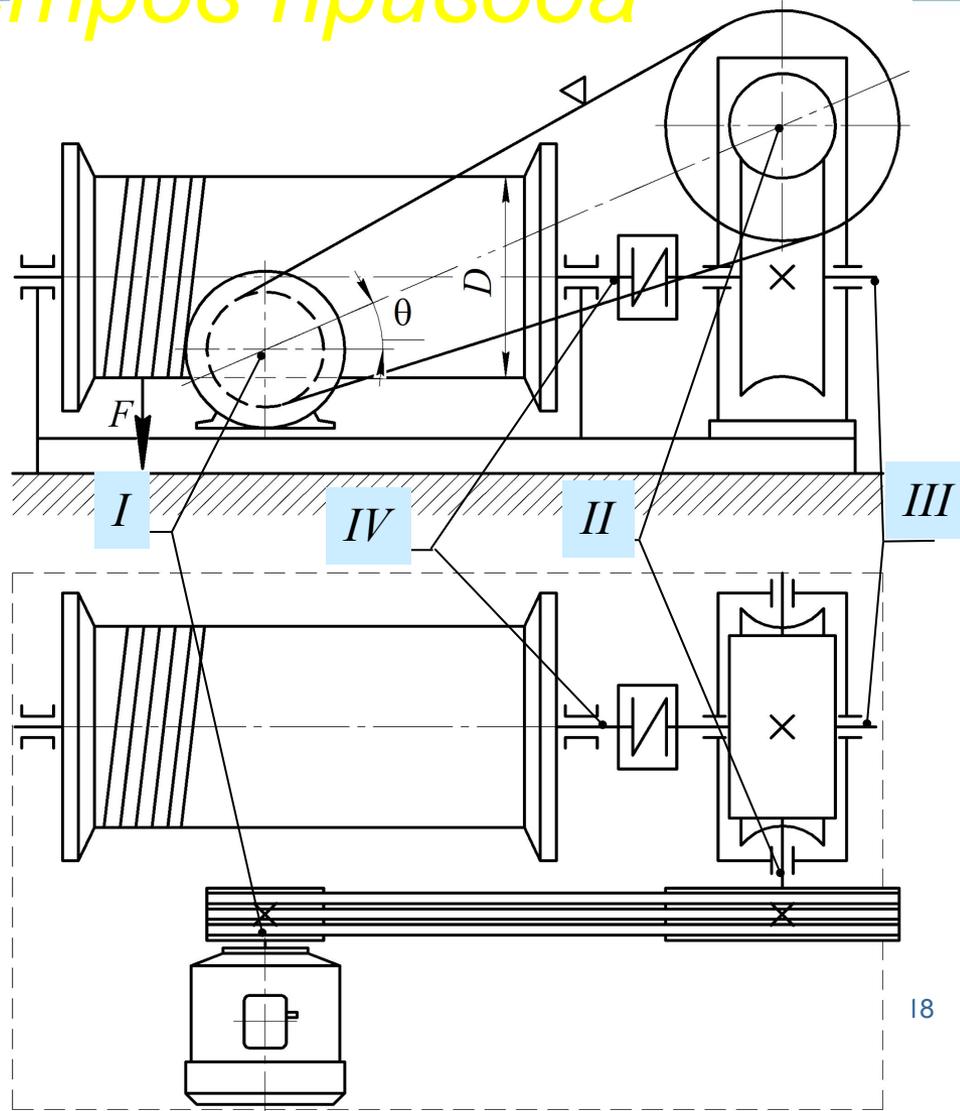
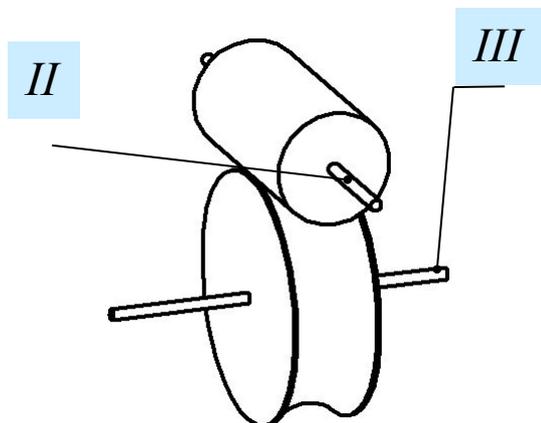
$$2) \text{ дв} \rightarrow \text{м} \rightarrow \text{зп} \rightarrow \text{оп} \rightarrow \text{рм}$$

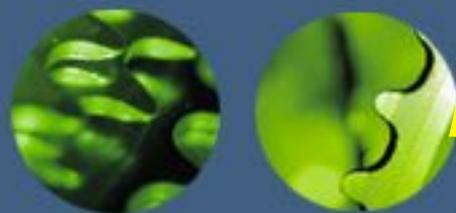
В данном примере последовательности соединения элементов привода соответствует кинематической схеме  $\text{дв} \rightarrow \text{оп} \rightarrow \text{зп} \rightarrow \text{м} \rightarrow \text{рм}$ .

# Определение силовых и кинематических параметров привода

## ОТМЕТИМ ВАЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА НА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЕ:

- I* – вал эл. двигателя;
- II* – быстроходный вал редуктора;
- III* – тихоходный вал редуктора;
- IV* – вал рабочей машины;





# Определение силовых и кинематических параметров привода

Мощность

$$P_I = P_{\text{т.дв}} = 1,4182 \quad ;$$

$$P_{II} = P_I \cdot \eta_{\text{р.п}} \cdot \eta_{\text{п.к}} = 1,4182 \cdot 0,96 \cdot 0,99 = 1,408 \quad ;$$

$$P_{III} = P_{II} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{п.к}} = 1,408 \cdot 0,85 \cdot 0,99 = 1,185 \quad ;$$

$$P_{IV} = P_{III} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п.с}} = 1,185 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 1,150 \quad .$$

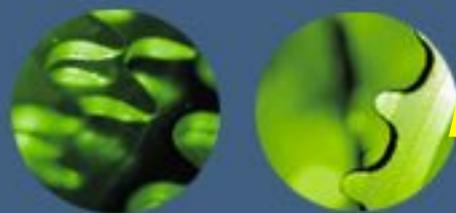
Частота вращения

$$n_I = n_{\text{дв}} = 935 \quad ^{-1};$$

$$n_{II} = \frac{n_I}{u_{\text{р.п}}} = \frac{935}{2,554} = 366,1 \quad ^{-1};$$

$$n_{III} = \frac{n_{II}}{u_{\text{ред}}} = \frac{366,1}{25} = 14,64 \quad ^{-1};$$

$$n_{IV} = n_{III} = 14,64 \quad ^{-1}.$$



# Определение силовых и кинематических параметров привода

Угловая скорость

$$\omega_I = \omega_{дв} = 97,912 \text{ }^{-1}; \quad \omega_{II} = \frac{\omega_I}{u_{p.п}} = \frac{97,912}{2,554} = 38,337 \text{ }^{-1};$$

$$\omega_{III} = \frac{\omega_{II}}{u_{ред}} = \frac{38,337}{25} = 1,533 \text{ }^{-1}; \quad \omega_{IV} = \omega_{III} = 1,533 \text{ }^{-1}.$$

Крутящий момент

$$T_I = \frac{P_I}{\omega_I} = \frac{1,482 \cdot 10^3}{97,912} = 15,136 \text{ } \cdot ; \quad T_{II} = \frac{P_{II}}{\omega_{II}} = \frac{1,408 \cdot 10^3}{38,337} = 36,72 \text{ } \cdot$$

$$T_{III} = \frac{P_{III}}{\omega_{III}} = \frac{1,185 \cdot 10^3}{1,533} = 772,994 \text{ } \cdot ; \quad T_{IV} = \frac{P_{IV}}{\omega_{IV}} = \frac{1,15 \cdot 10^3}{1,533} = 750 \text{ } \cdot$$