

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ**  
**СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра «Механика и компьютерная графика»**

# **Расчетно-графическая работа**

**Кинематический расчет приводной станции**

**Методические указания**

для студентов факультета механизации с.х.

направлений подготовки бакалавров – 35.03.06 «Агроинженерия» и

23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

**Ставрополь 2019**

Методические указания разработали: В.А. Лиханос, А.В. Орлянский,  
Л.И. Яковлева, И.А. Орлянская, А.Н. Петенев

Рецензент - к.т.н., д.э.н., профессор Б.А. Доронин

Одобрены и рекомендованы к изданию методической комиссией факультета  
механизации сельского хозяйства Ставропольского государственного аграрного  
университета. Протокол № 10 от 13 мая 2019 г.

# 1. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРИВОДНОЙ СТАНЦИИ И ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Кинематический расчет и выбор электродвигателя производим на примере приводной станции винтового транспортера, работающего в зерноскладе. Привод рабочей машины осуществляется от электродвигателя через ременную передачу, коническо - цилиндрический редуктор и цепную передачу.

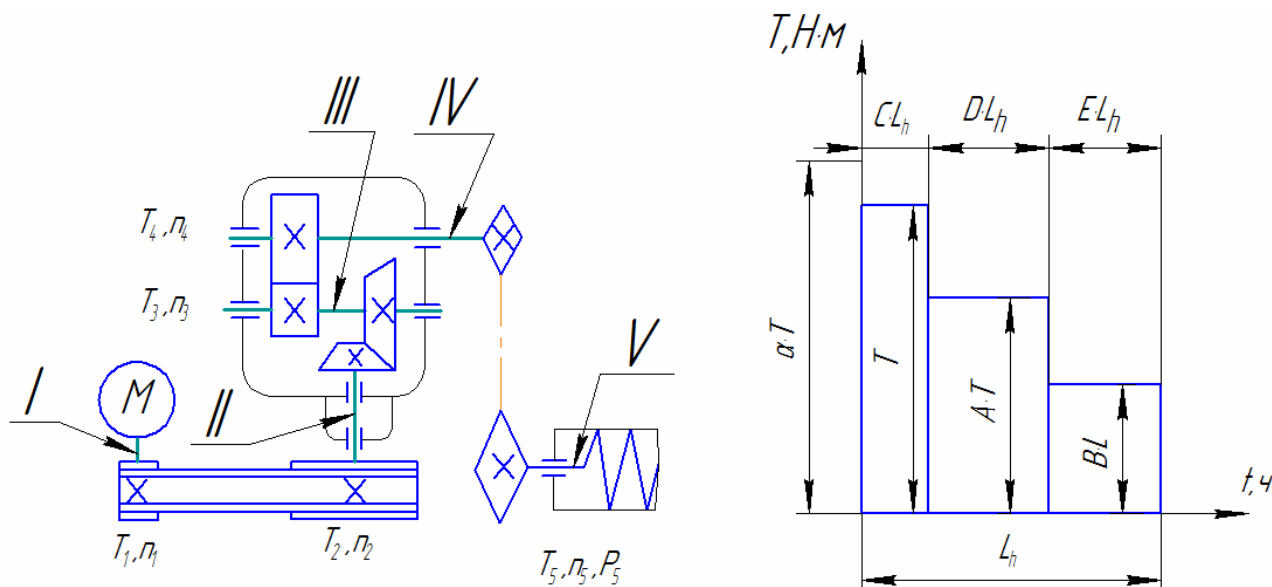


Рис.1.1 Кинематическая схема приводной станции 1.2. График нагрузки

## Исходные данные:

1. Мощность на валу шнека  $P_5 = 5$  кВт
2. Частота вращения вала шнека  $n_5 = 69$  мин<sup>-1</sup>
3. Коэффициент суточного использования  $K_{сут} = 0,35$
4. Коэффициент годового использования  $K_{год} = 0,85$
5. Коэффициенты графика нагрузки  
 $A = 0,7$ ;  $B = 0,38$ ;  $C = 0,15$ ;  $D = 0,35$ ;  $E = 0,5$
6. Коэффициент повышения крутящего момента в момент пуска  $\alpha = 1,5$
7. Срок службы  $t_n = 10$  лет

1.1. Определение действительного срока службы приводной станции в часах.

$$L_h = 365 \cdot 24 \cdot t_H \cdot K_{\text{год}} \cdot K_{\text{сут}},$$

где 365 - число дней в году;

24 - число часов в сутках;

$t_H$  - срок службы в годах;

$K_{\text{год}}$  – коэффициент годового использования;

$K_{\text{сут}}$  - коэффициент суточного использования;

$$L_h = 365 \cdot 24 \cdot 10 \cdot 0,85 \cdot 0,35 = 26061 \text{ ч}$$

1.2. Определение продолжительности действия моментов в течение срока службы приводной станции.

$$t_1 = C \cdot L_h = 0,15 \cdot 26061 = 3909 \text{ ч}$$

$$t_2 = D \cdot L_h = 0,35 \cdot 26061 = 9121 \text{ ч}$$

$$t_3 = E \cdot L_h = 0,5 \cdot 26061 = 13031 \text{ ч}$$

1.3. Определение расчетного крутящего момента на валу рабочей машины.

$$T_5 = \frac{P_5}{\omega_5},$$

где  $P_5$  – мощность на валу рабочей машины;

$\omega_5$  – угловая скорость вала рабочей машины;

$$\omega_5 = \frac{\pi \cdot n_5}{30},$$

где  $n_5$  – частота вращения вала рабочей машины;

$$\omega_5 = \frac{\pi \cdot 69}{30} = 7,2 \text{ рад/с}$$

$$T_5 = \frac{5 \cdot 10^3}{7,2} = 694 \text{ Нм}$$

1.4. Выбор режима работы приводной станции

При проектирование приводных станций с электроприводом рассматривают три основных режима работы:

Длительный режим работы. Характеризуется продолжительностью работы, достаточной для достижения установившегося значения температуры

нагрева двигателя. Заданный внешний момент заменяют эквивалентным моментом:

$$T_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k T_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}}$$

Расчетное значение мощности двигателя определяют по формуле:

$$P_{\text{дв.расч.}} = \frac{T_{\text{э}} \cdot \omega_{\text{п.о.}}}{\eta_{\text{об}}}$$

Кратковременный режим работы. Характеризуется общей продолжительностью работы двигателя под нагрузкой - 10мин. < t > 60мин. Нагрев двигателя не происходит до установившейся температуры. Продолжительность остановок достаточна для выравнивания температуры нагрева двигателя до температуры окружающей среды. Эквивалентный момент и необходимую мощность двигателя определяют как для длительного режима работы.

Повторно-кратковременный режим работы. Этот режим работы характеризуется частыми пусками и остановками. При этом температура нагрева двигателя за время пуска не достигает установившегося значения, а за время остановки не опускается до температуры окружающего воздуха. Продолжительность одного периода (время работы и остановки)  $t_r + t_{\text{то}} < 10$ мин. Продолжительность включения двигателя в (%) характеризуется фактической величиной отношения:

$$ПВ_{\text{ф}} = \frac{t_r}{t_r + t_{\text{то}}} \cdot 100\%$$

Эквивалентный момент нагружения вычисляют как и для длительного периода работы, а необходимая мощность определяется по формуле:

$$P_{\text{дв.расч.}} = \frac{T_{\text{э}} \cdot \omega_{\text{п.о.}}}{\eta_{\text{об}}}$$

По каталогу подбирается двигатель с номинальной мощностью  $P_{\text{н.дв.}} \geq P_{\text{расч.дв.}}$

Так как приводная станция винтового транспортера работает на зерноскладе с длительностью работы более 60 мин, то принимаем длительный

режим работы с продолжительностью достаточной для достижения установившегося значения температуры нагрева двигателя. Расчетный крутящий момент для определения мощности электродвигателя заменяют эквивалентным моментом.

1.5. Определяем эквивалентный крутящий момент на валу рабочей машины.

$$T_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{(T_1)^2 \cdot t_1 + (T_2)^2 \cdot t_2 + (T_3)^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}},$$

$$\text{где } T_1 = T_5 = 694 \text{ Нм}$$

$$T_2 = A \cdot T_5 = 0,7 \cdot 694 = 486 \text{ Нм}$$

$$T_3 = B \cdot T_5 = 0,38 \cdot 694 = 264 \text{ Нм}$$

$$t_1 + t_2 + t_3 = 26061 \text{ час}$$

$$T_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{694^2 \cdot 3909 + 486^2 \cdot 9121 + 264^2 \cdot 13031}{26061}} = 435 \text{ Нм}$$

Проверочная формула:  $T_{\text{эк}} = T_5 \sqrt{C + A^2 \cdot D + B^2 \cdot E}$

$$T_{\text{эк}} = 694 \sqrt{0,15 + 0,7^2 \cdot 0,35 + 0,38^2 \cdot 0,5} = 435 \text{ Нм}$$

1.6. Определяем необходимую мощность электродвигателя.

$$P_{\text{дв}} = \frac{T_{\text{эк}} \cdot \omega_5}{\eta_{\text{об}}}$$

где:  $\eta_{\text{об}}$  – общий КПД приводной станции;

$$\eta_{\text{об}} = \eta_p \cdot \eta_k \cdot \eta_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{цеп}} \cdot \eta_{\text{подш}}^4$$

### 1.1. Рекомендуемые значения КПД

Передача	Обозначение	КПД, ( $\eta$ )
Ременная передача	$\eta_{\text{рем}}$	0,95...0,97
Цепная передача	$\eta_{\text{цеп}}$	0,92...0,95
Пара подшипников	$\eta_{\text{подш}}$	0,99...0,995
Цилиндрическая передача	$\eta_{\text{зуб}}$	0,97...0,98
Коническая передача	$\eta_{\text{кон}}$	0,95...0,97
Червячная передача	$\eta_{\text{чер}}$	0,70...0,90

Принимаем: КПД ременной передачи,  $\eta_p=0,96$

КПД конической передачи,  $\eta_k=0,96$

КПД цилиндрической передачи,  $\eta_{ц}=0,97$

КПД цепной передачи,  $\eta_{цеп}=0,93$

КПД пары опор,  $\eta_{подш}=0,99$

$$\eta_{об} = 0,96 \cdot 0,96 \cdot 0,97 \cdot 0,93 \cdot 0,99^4 = 0,80$$

$$P_{об} = \frac{435 \cdot 7,2}{0,8} = 3915 \text{ Вт} = 3,915 \text{ кВт}$$

1.7. Определение ориентировочной частоты вращения вала электродвигателя по средним передаточным отношением передач.

$$n_{об} = n_5 \cdot U_{об},$$

где  $U_{об}$  – передаточное отношение приводной станции

$$U_{об} = U_p \cdot U_k \cdot U_{ц} \cdot U_{цеп},$$

где из рекомендаций принимаем для ременной передачи  $U_p=2$

для ременной передачи  $U_p=2$

для конической передачи  $U_k=2$

для цилиндрической передачи  $U_{ц}=3$

для цепной передачи  $U_{цеп}=3$

$$U_{об} = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 = 36$$

$$n_{об} = 69 \cdot 36 = 2484 \text{ мин}^{-1}$$

1.8. Краткая характеристика электродвигателей общего назначения.

Выбор электродвигателя.

**Электродвигатели** – это электрические машины, в которых осуществляется преобразование электрической энергии в механическую энергию.

В зависимости от рода потребления тока электродвигатели подразделяются на двигатели постоянного и переменного тока.

**Двигатели постоянного тока** допускают плавное регулирование скорости вращения в широких пределах, создавая при этом большой пусковой момент (особенно система генератор-двигатель), а также обеспечивают плавный пуск,

торможение и реверс. Эти свойства двигателей постоянного тока делают их незаменимыми в качестве тяговых двигателей городского и железнодорожного транспорта (трамвай, троллейбус, метро, электровоз, тепловоз). Двигатели постоянного тока используются также в электроприводе некоторых металлорежущих станков, прокатных станков, подъемно-транспортных машин, экскаваторов.

Основные недостатки двигателей постоянного тока – необходимость установки устройства для преобразования трехфазного переменного тока в постоянный, сложная конструкция, высокая стоимость эксплуатации по сравнению с двигателями переменного тока.

**Двигатели переменного тока** делятся на синхронные и асинхронные.

Синхронные двигатели работают с постоянной угловой скоростью независимо от нагрузки и практически не регулируются. Основное преимущество их по сравнению с асинхронными – более высокий КПД, постоянство угловой скорости, большой коэффициент перегрузки; недостатки – более сложный уход, большая стоимость.

Синхронные двигатели получили очень широкое применение как двигатели большой мощности (свыше 100 кВт) при небольшой скорости вращения для нерегулируемого привода (непрерывные прокатные станы, компрессоры, поршневые насосные станции, холодильные машины, камнедробилки, и т.д), их применение желательно еще и потому, что, работая на опережающем токе с коэффициентом мощности меньше единицы, они одновременно улучшают коэффициент мощности системы.

Трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором состоят из неподвижного статора, вращающегося ротора и двух подшипниковых щитов с подшипниками качения или скольжения в центре щитов. Статор двигателя состоит из корпуса, сердечника и трехфазной обмотки. Корпус изготовлен из чугуна или сплавов алюминия.

Сердечник статора набирается из штампованных листов электротехнической стали толщиной 0,3 или 0,5 мм, покрытых изоляционным

лаком. На внутренней поверхности сердечника имеются пазы для укладки в них трехфазной обмотки, выполненной из изолированного провода. Обмотки-фазы расположены под углом  $120^\circ$  друг к другу.

Ротор асинхронного электродвигателя состоит из вала, опирающегося на подшипники, сердечника и обмотки. Сердечник ротора также собирается из штампованных листов электротехнической стали. На внешней поверхности сердечника имеются пазы, в которых размещаются медные или алюминиевые стержни обмотки ротора без изоляции. Концы стержней надежно путем сварки или литья под давлением присоединены к кольцам. В результате получается короткозамкнутая обмотка ротора, напоминающая беличье колесо.

Асинхронные двигатели не требуют почти никакого ухода, просто пускаются в ход, выносят большие перегрузки, непосредственно включаются в трехфазную сеть переменного тока (без преобразователей). Вместе с достоинством трехфазные асинхронные двигатели имеют ряд недостатков. Основным их недостатком является то, что для них не существует простых способов регулировки скорости вращения. Вторым недостатком этих двигателей является зависимость скорости вращения от механической нагрузки, иначе говоря, при увеличении нагрузки на валу двигателей снижается скорость вращения ротора, т.е. асинхронные двигатели чувствительны к перегрузкам. Третий недостаток двигателя – сравнительно низкий по сравнению с двигателями постоянного тока, коэффициент полезного действия.

Для многих промышленных приводов эти недостатки не имеют существенного значения, и трехфазные асинхронные двигатели, благодаря указанным преимуществам, являются самыми распространенными в промышленности и сельском хозяйстве. Асинхронные двигатели являются незаменимыми в приводах токарных и сверлильных станков, циркулярных пил, подъемных кранов и лебедок, лифтов в жилых домах и шахтных клетей. В сельском хозяйстве для привода сеялок, барабанов молотилок, зернопультов, зернопогрузчиков и т.д.

Асинхронные однофазные двигатели практически не получили распространение в практике сельского хозяйства из-за низкого КПД, ограниченного диапазона мощностей, малого пускового момента и небольшого значения ( $\cos \varphi$ ).

Как правило, для приводных станций сельскохозяйственного назначения применяются электродвигатели асинхронного переменного трехфазного тока единой серии АИР – закрытые обдуваемые с коротко замкнутым ротором и числом полюсов 2; 4; 6; 8.

Для технических расчетов применяют значение асинхронной частоты вращения, которая ориентировочно на 2,5...3% меньше синхронной.

При выборе электродвигателя следует учитывать, что чем быстрее двигатель, тем меньше масса и стоимость. При этом асинхронные электродвигатели могут работать с перегрузками: 10% - длительно, 20% - 30 мин, 50% - 3 мин. (приложение 1)

Учитывая выше изложенное, выбираем электродвигатель 4А100S2 – закрытый обдуваемый асинхронный электродвигатель трехфазного тока (ГОСТ 19523-74) или АИР 100S2 (ТУ 16-525.364 - 84). [4,5,11]

$$P_{\text{дв}} = 4 \text{ кВт}; \quad n_c = 3000 \text{ мин}^{-1}; \quad n_a = 2880 \text{ мин}^{-1}$$

$$\lambda_{\text{пуск}} = \frac{T_{\text{пуск}}}{T_{\text{ном}}} = 2$$

1.9 Определение действительного общего передаточного числа и корректировка передаточных чисел отдельных передач.

$$U_{\text{об}} = \frac{n_a}{n_5} = \frac{2880}{69} = 41.7$$

Передаточные числа зубчатых передач корректируем по стандартному ряду чисел:

принимаем:  $U_{\text{ц}} = 3,15; \quad U_{\text{к}} = 2.$

для ременной передачи оставляем  $U_{\text{р}} = 2$ , тогда для цепной передачи

$$U_{\text{цеп}} = \frac{41,7}{2 \cdot 2 \cdot 3,15} \approx 3,3$$

$$U_{об} = 2 \cdot 2 \cdot 3,15 \cdot 3,3 = 41,58$$

1.10. Проверка двигателя на перегрузку.

$$\frac{\alpha \cdot T}{0,81 \cdot \lambda_{пуск} \cdot U_{об} \cdot \eta_{об}} \leq T_{н.об.}$$

где: 0,81 – коэффициент падения напряжения в сети,

$\lambda_{пуск}$  – кратность пускового момента,

$\alpha$  – коэффициент повышения крутящего момента при пуске,  $\alpha=1,3$ .

$$T_{н.об.} = \frac{P_{об.}}{\omega_{об.}}; \quad \omega_{об.} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2880}{30} = 301 \text{ рад/с}$$

$$T_{н.об.} = \frac{4 \cdot 10^3}{301} = 13,28 \text{ Нм}$$

$$\frac{1,3 \cdot 694}{0,81 \cdot 2 \cdot 41,58 \cdot 0,8} = 16,74 \text{ Нм} > 13,28 \text{ Нм}$$

Это означает, что двигатель «опрокидывается» (остановка под нагрузкой) при резком увеличении внешнего момента, поэтому выбираем двигатель ближайший большей мощности по стандартному ряду: **4A100L2** или **AIP100L2**

$$P_{дв} = 5,5 \text{ кВт}; \quad n_c = 3000 \text{ мин}^{-1}; \quad n_a = 2880 \text{ мин}^{-1}; \quad \lambda_{пуск} = 2.$$

Проверяем вновь выбранный электродвигатель:

$$T_{н.об.} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{301} = 18,27 \text{ Нм} > 16,74 \text{ Нм}$$

Следовательно, из этого равенства, данный двигатель подходит.

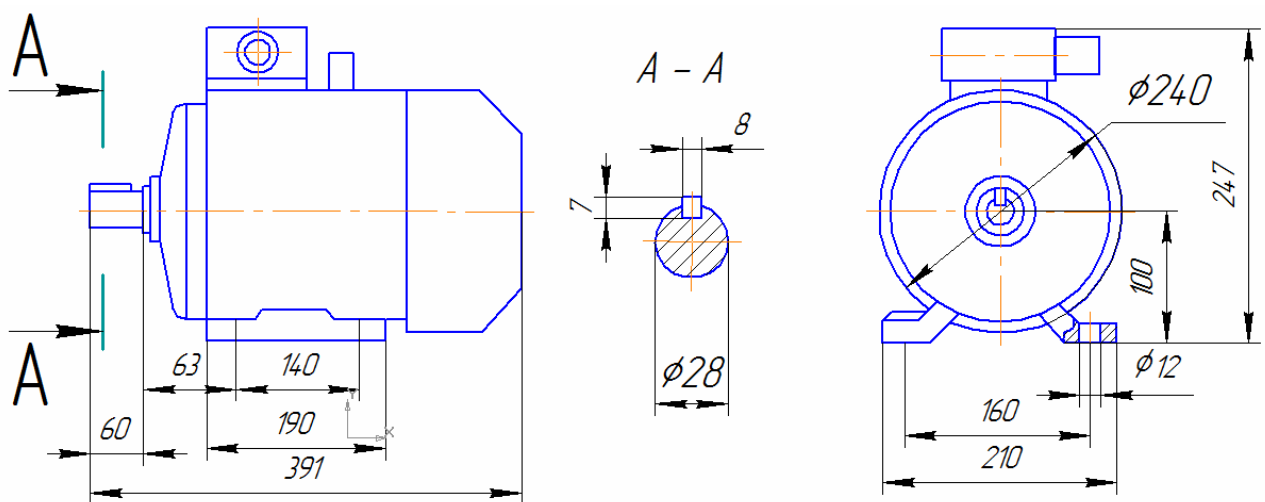


Рис 1.3. Эскизная схема электродвигателя AIP 100L2

1.11. Определяем частоты вращения и угловых скоростей на всех валах приводной станции.

$$\begin{aligned}
 n_1 = n_{дв} &= 2880 \text{ мин}^{-1} & \omega_1 = \omega_{дв} &= 301 \text{ рад/с} \\
 n_2 = \frac{n_1}{U_p} &= \frac{2880}{2} = 1440 \text{ мин}^{-1} & \omega_2 = \frac{\omega_1}{U_p} &= \frac{301}{2} = 150,5 \text{ рад/с} \\
 n_3 = \frac{n_2}{U_k} &= \frac{1440}{2} = 720 \text{ мин}^{-1} & \omega_3 = \frac{\omega_2}{U_k} &= \frac{150,5}{2} \approx 75 \text{ рад/с} \\
 n_4 = \frac{n_3}{U_ц} &= \frac{720}{3,15} = 228,6 \text{ мин}^{-1} & \omega_4 = \frac{\omega_3}{U_ц} &= \frac{75}{3,15} = 24 \text{ рад/с} \\
 n_5 = \frac{n_4}{U_{цеп}} &= \frac{228,6}{3,3} = 69,26 \text{ мин}^{-1} & \omega_5 = \frac{\omega_4}{U_{цеп}} &= \frac{24}{3,3} = 7,2 \text{ рад/с}
 \end{aligned}$$

Допустимый процент ошибки расчетов  $[\Delta] \leq 3\%$

$$\frac{62,26 - 69}{69} \cdot 100\% = 0,37\% < [\Delta]$$

Расчет сделан верно.

1.12 Определение крутящих моментов на всех валах приводной станции:

$$\begin{aligned}
 T_5 &= 694 \text{ Нм} \\
 T_4 &= \frac{T_5}{U_{цеп} \cdot \eta_{цеп} \cdot \eta_{поди}} = \frac{694}{3,3 \cdot 0,93 \cdot 0,99} = 228 \text{ Нм} \\
 T_3 &= \frac{n_2}{U_ц \cdot \eta_ц \cdot \eta_{поди}} = \frac{228}{3,15 \cdot 0,97 \cdot 0,99} = 75,5 \text{ Нм} \\
 T_2 &= \frac{T_3}{U_k \cdot \eta_к \cdot \eta_{поди}} = \frac{75,5}{2 \cdot 0,96 \cdot 0,99} = 40 \text{ Нм} \\
 T_1 &= \frac{T_2}{U_p \cdot \eta_p \cdot \eta_{поди}} = \frac{40}{2 \cdot 0,96 \cdot 0,99} = 21 \text{ Нм}
 \end{aligned}$$

Полученные кинематические и силовые параметры служат исходными данными для расчета передач, а затем валов, подшипников и т.д.