

Конструктивные особенности конвейеров

Наиболее распространёнными механизмами непрерывного транспорта являются конвейеры различных типов, конструкция которых определяет характер транспортирования грузов:

- ленточные;
- пластинчатые;
- цепные;
- скребковые.

Основной конструктивной частью конвейера является замкнутый и непрерывно движущийся в процессе работы тяговый орган. Наиболее характерным представителем конвейеров является ленточный конвейер, тяговый и транспортирующий орган которого – тканевая, прорезиненная, тросовая или пластмассовая лента с кордом. Лента приводится в движение фрикционно при помощи приводного барабана с ЭП (так называемая приводная станция), поддерживается на трассе ролика опорами, расположенными на линейных секциях, натягивается при помощи натяжного барабана с грузовым или моторным устройством (так называемая натяжная станция). Ленточные конвейеры могут быть одноприводными и многоприводными. Вращающие моменты электродвигателей в многоприводных конвейерах складываются по ленте. Таким образом, конвейер может иметь несколько приводных станций, расположенных вдоль трассы конвейера. Существуют многодвигательные приводные станции, в которых моменты двигателей складываются в редукторе.

Конструктивные особенности конвейеров

Конвейер ленточный

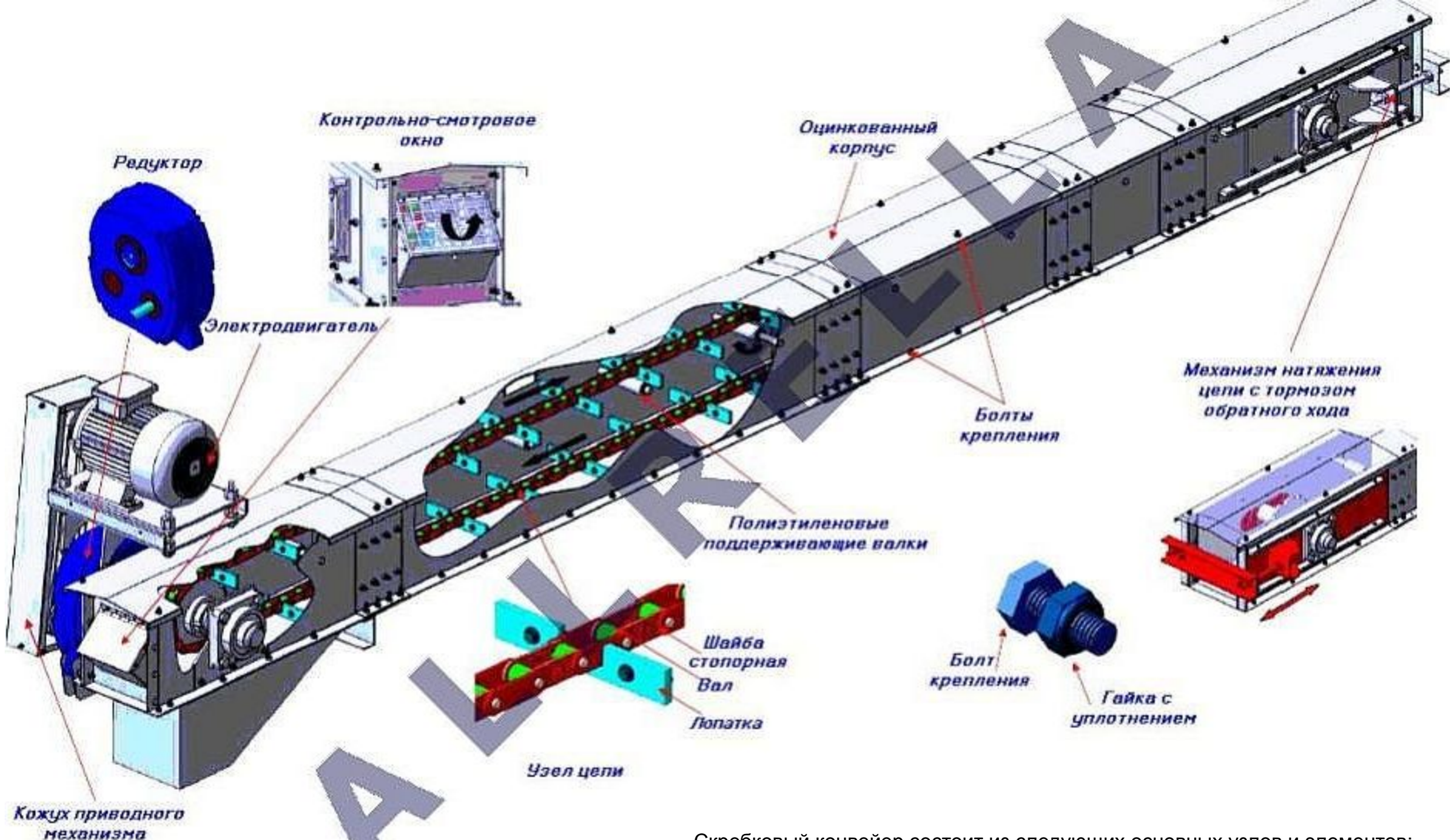


Конвейер ленточный или ленточный транспортер обычно применяют для транспортировки кусковых, штучных и сыпучих грузов на дистанцию, достигающую 10-12 километров, а порой и большую.

Общие требования к электроприводу конвейеров

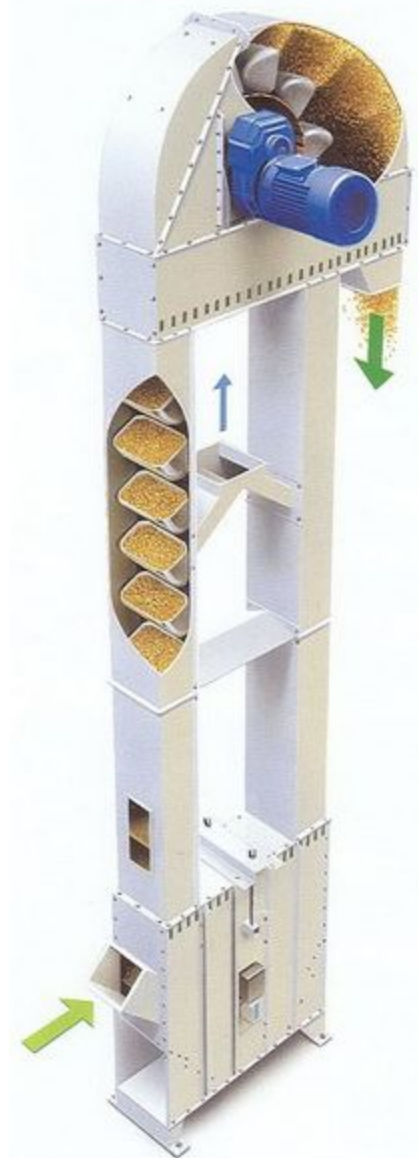
По технологическим условиям работы конвейеры большей частью, не требуют регулирования скорости. Этот тип конвейеров работает в длительном режиме с постоянной скоростью. В остальных случаях требуется неглубокое регулирование скорости ($D=2:1$) при неизменном темпе работы. На конвейерных линиях, предназначенных для использования в открытых разработках в районах крайнего севера необходимо иметь низкую скорость при незагруженной ленте. Во избежание застывания смазки конвейер не должен останавливаться даже при отсутствии груза, потребляя при этом минимальное количество электроэнергии.

Характерной особенностью конвейеров является значительный момент сопротивления покоя и значительная приведённая масса при запуске гружённой ленты конвейера. Запуск, как правило, производится при пустой ленте. Но привод должен быть в состоянии запустить и гружённый конвейер. Запуск конвейеров независимо от загруженности ленты должен быть плавным, чтобы предотвратить пробуксовку приводного барабана и часто возникающей при этом пожар ленты.

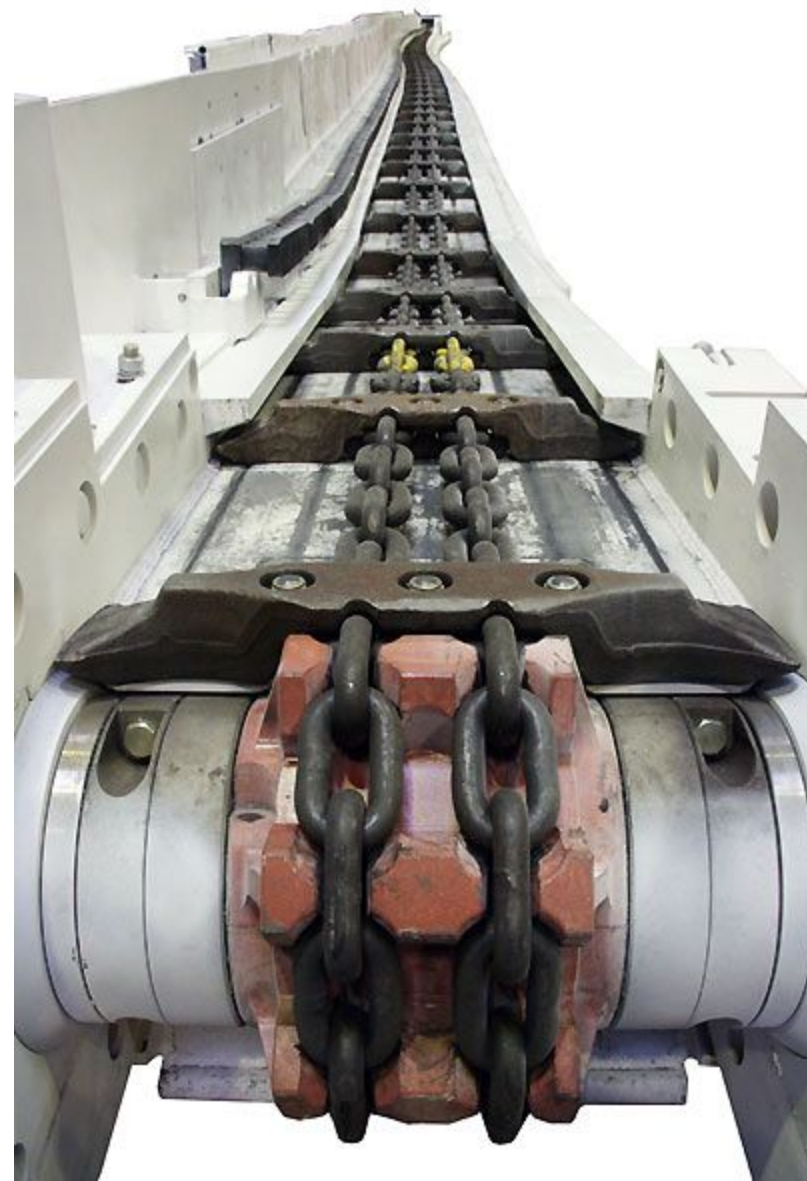
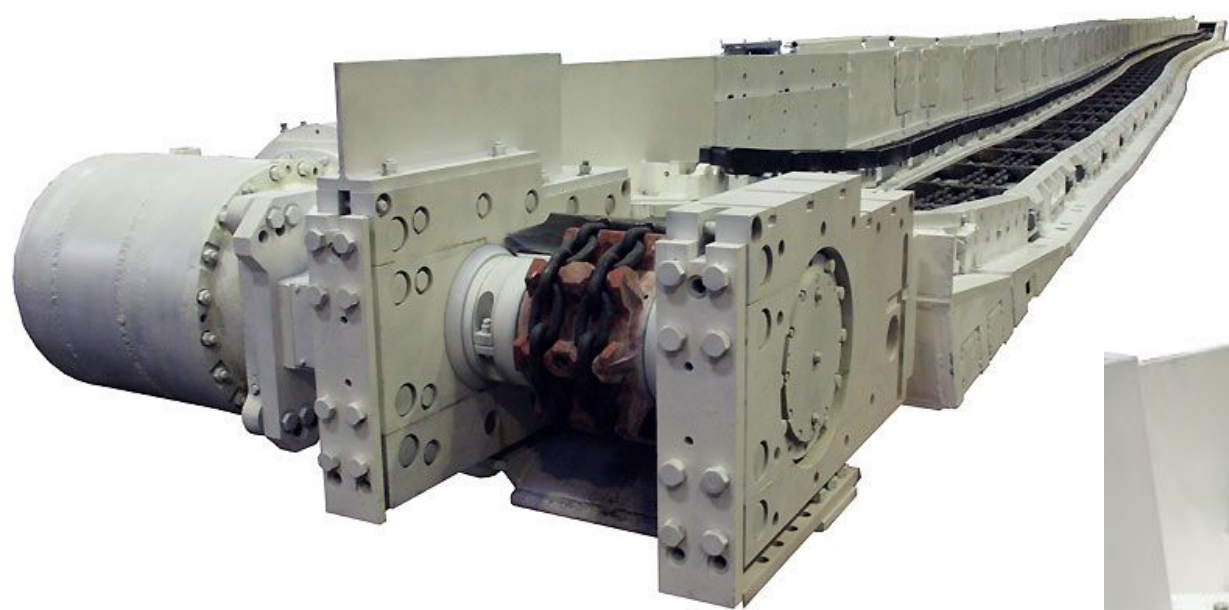


Скребок-конвейер состоит из следующих основных узлов и элементов:

- оцинкованный корпус конвейера (днище, боковые стенки, крышка);
- приводной вал цепи (электродвигатель, редуктор, защитный кожух);
- цепь (лопатка, вал, шайба стопорная);
- поддерживающие (направляющие) валки;
- система натяжения цепи с тормозом обратного хода;
- разгрузочный патрубок (люк выгрузки зерна, смотровое окно);
- датчики контроля (подпора продукта и обрыва цепи).

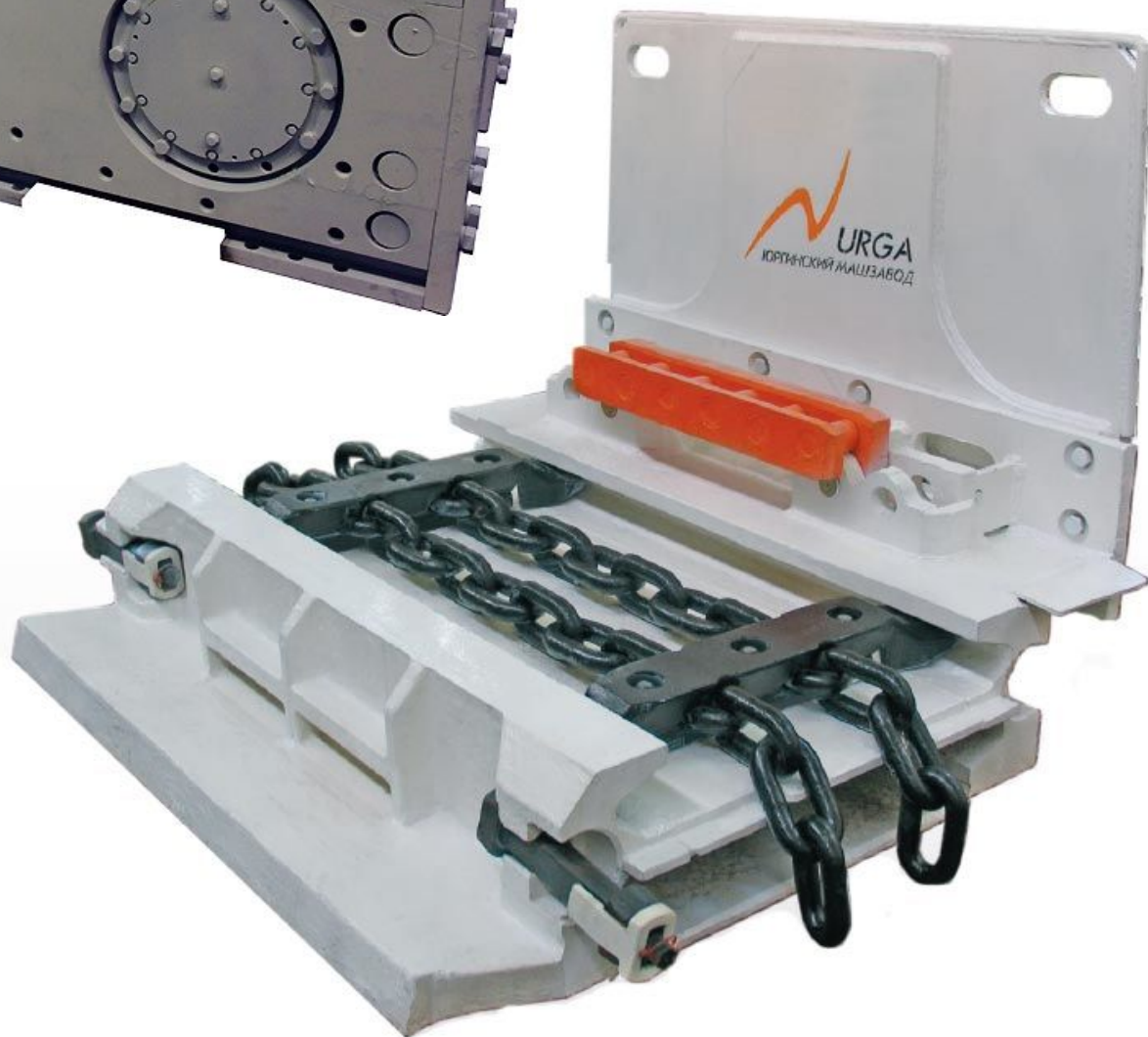
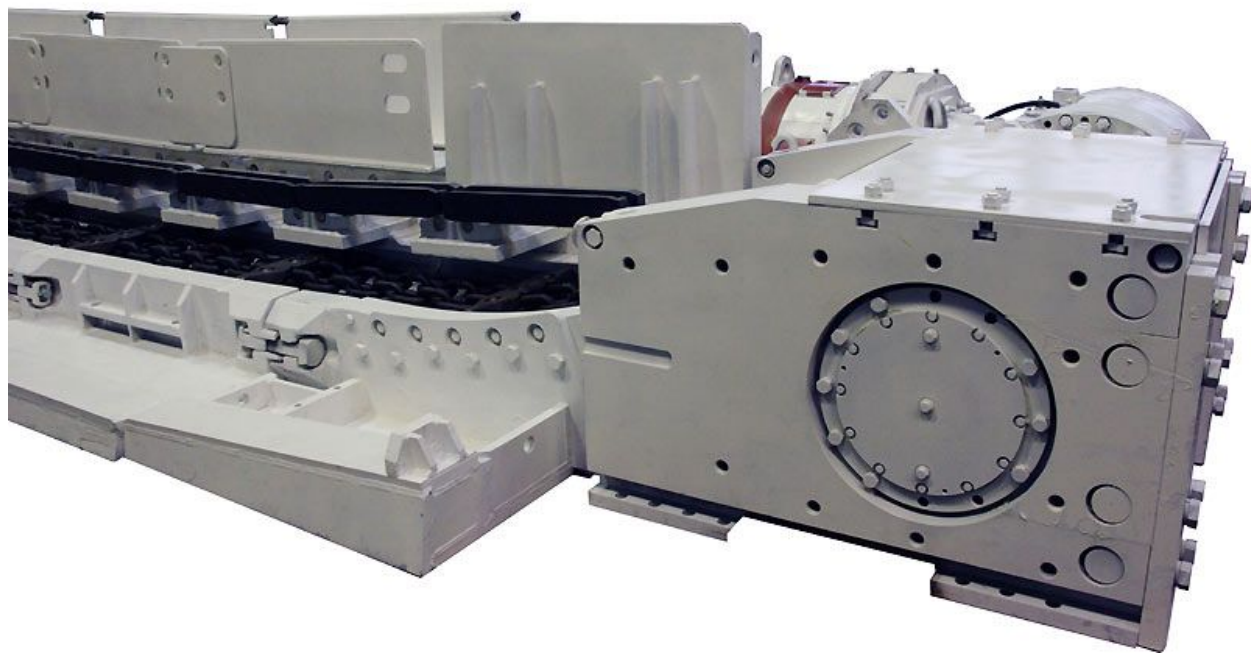


Элеватор ковшовый



Конвейер шахтный скребковый

Предназначены для транспортировки угля вдоль лавы и погрузки угля на перегружатель в очистных забоях шахт, включая опасные по пыли и газу.





Расчёт мощности электродвигателя конвейера

Выбор мощности двигателей многоприводного конвейера производится методом последовательных приближений совместно с расчётом всего механического оборудования.

1. Ориентировочное определение мощности двигателя.
2. Построение уточнённого графика изменения натяжения ленты по замкнутому контуру вдоль трассы.
3. После построения диаграммы выбираются места установки приводных и натяжных станций.
4. Двигатель и механическое оборудование проверяются по полученным натяжениям с учётом данной нагрузки при запуске.

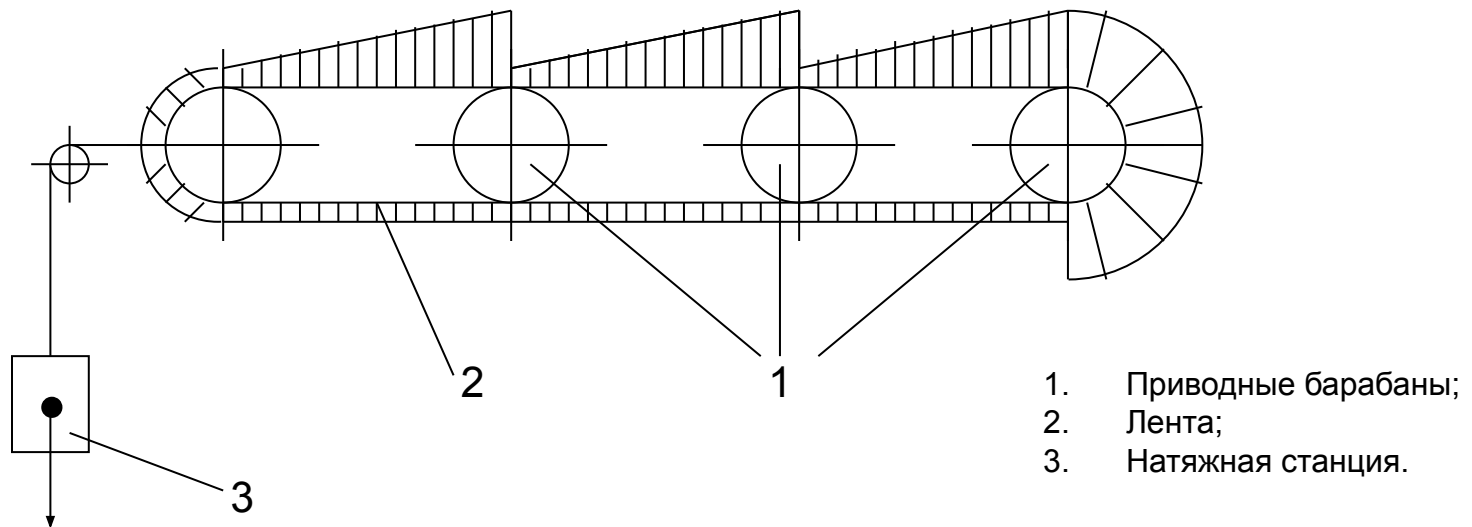


Диаграмма натяжения вдоль ленты трёхприводного конвейера

Расчёт мощности электродвигателя конвейера

Более прост выбор мощности двигателя одноприводного конвейера. Статическое усилие, которое необходимо преодолевать электроприводу:

$$F_{CT} = F_{IA} - F_{NA} = \Delta F_{AD} + \Delta F_{ID} , \quad \begin{array}{l} F_{NB} \text{ и } F_{CB} - \text{усилия в набегающей и сбегающей ветвях ленты (Н);} \\ \Delta F_{ГР} \text{ и } \Delta F_{ПОР} - \text{составляющие разности усилий в грузённой} \\ \text{и порожней ветвях ленты.} \end{array}$$

Учитывая известные соотношения между силой веса F элемента нагрузки ленты и составляющих – силы трения $F_{тр}$ и веса ленты F_b , которые равны:

$$\begin{cases} F_{тр} = W F_N = W F \cos(\beta) \\ F_b = F \sin(\beta) \end{cases}$$

Получим:

$$\Delta F_{ГР} = (q_{ГР} + q_L) W g L \cos(\beta) \pm (q_{ГР} + q_L) L g \sin(\beta)$$

$$\Delta F_{ПОР} = q_L W g L \cos(\beta) \pm q_L L g \sin(\beta)$$

$q_{ГР}$ и q_L – погонные массы груза и ленты (кг/м);
 $W = (2 \dots 2.5) \cdot 10^{-2}$ – коэффициент трения ленты о ролики;
 L – длина конвейера (м);
 β – угол наклона трассы к горизонту;
 $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

(+) при $\beta > 0$,

Мощность приводного двигателя:

$$D = k_3 \frac{F_{нб} v}{\eta} 10^{-3} \quad \begin{array}{l} v - \text{скорость ленты (м/с),} \\ k_3 = 1.1 \dots 1.3 - \text{коэффициент запаса,} \\ \eta - \text{КПД привода.} \end{array}$$

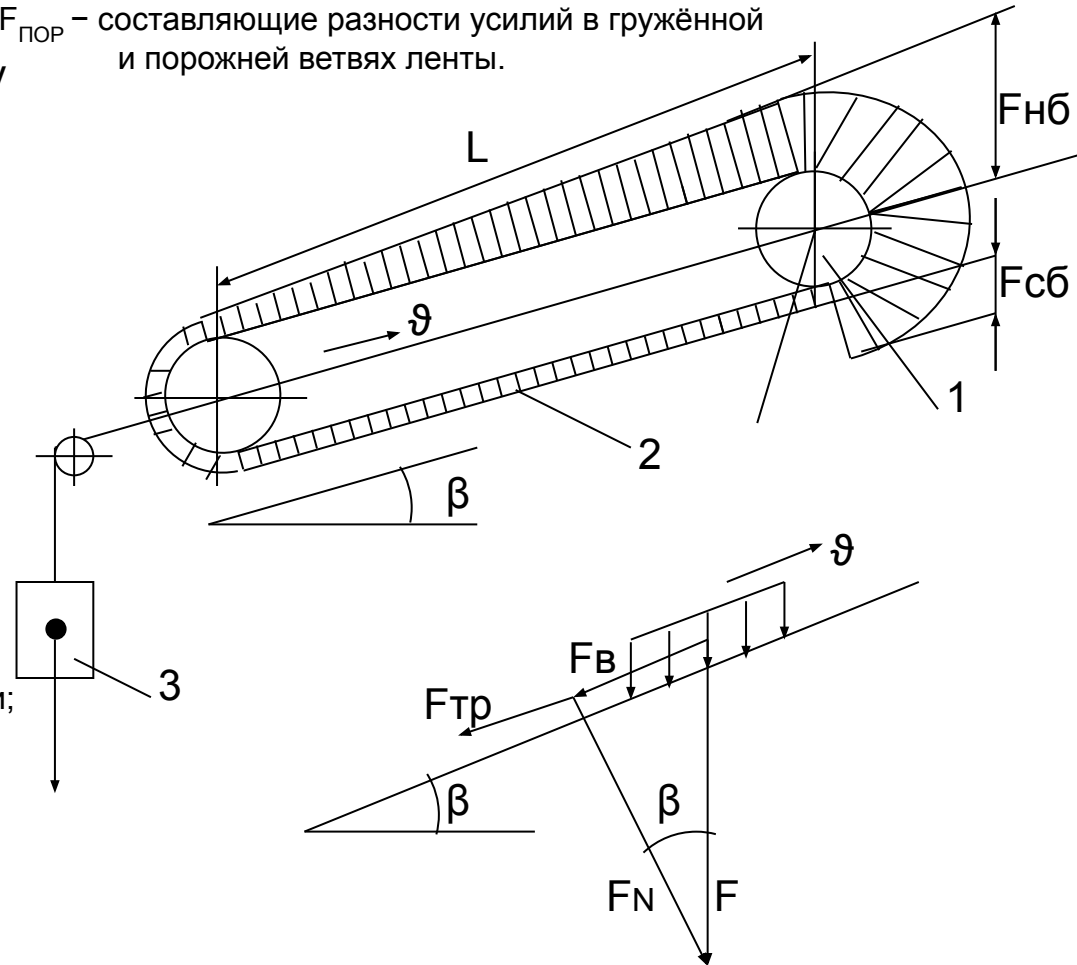


Диаграмма изменения натяжения ленты вдоль одноприводного конвейера

Расчёт мощности электродвигателя конвейера

Принятый электродвигатель необходимо проверить по перегрузочной способности в режиме разгона грузённой ленты:

$$\frac{F_{\text{НО}} + F_{\text{ЭИ}}}{F_{\text{I}}} < \lambda,$$

$$F_{\text{ДИН}} = (2q_{\text{Л}} + q_{\text{ГР}} + 2q_{\text{РОЛ}})La + (J_{\text{дв}} i_{\text{ред}}^2 + J_{\text{прив}})a/R_{\text{пр}}^2,$$

$$F_{\text{ЭИ}} = M_{\text{I}} i_{\text{дв}} \eta_{\text{дв}} / R_{\text{дв}},$$

$$M_{\text{I}} = 9550 P_{\text{I}} / n_{\text{I}}.$$

$q_{\text{рол}}$ – погонная приведённая масса роликов (кг/м);

a – ускорение при пуске (м/с²);

$J_{\text{дв}}$ – момент инерции ротора двигателя (кг/м²);

$J_{\text{прив}}$ – момент инерции редуктора, включая приводной барабан относительно оси приводного барабана (кг/м²);

$R_{\text{пр}}$ – радиус приводного барабана (м);

λ – перегрузочная способность принятого двигателя;

$P_{\text{н}}$, $M_{\text{н}}$, $n_{\text{н}}$ – номинальные параметры двигателя.

Необходимо проверить также возможность разгона грузённого конвейера по тяговой способности приводной станции. Максимальное значения усилия в набегающей ветви ленты при пуске равно:

$$F_{\text{ИА}}^{\text{max}} = F_{\text{НА}} + \Delta F_{\text{АД}} + \Delta F_{\text{ИД}} + F_{\text{ЭИ}}.$$

Усилия в сбегающей ветви не должно быть меньше некоторого минимального значения, определяемое допустимым провисом ленты ($F_{\text{НА}} \geq F_0$).

Усилия в ветвях при пуске должны удовлетворять условию:

$$\frac{F_{\text{ИА}}^{\text{max}}}{F_{\text{НА}}} \leq e^{\mu \cdot \alpha},$$

$\mu=0.1 \dots 0.3$ – коэффициент трения между лентой и приводным барабаном (в расчётах принимается $\mu=0.25$);

α – угол охвата лентой приводного барабана;

F_0 – максимальное усилие в сбегающей ветви ленты, которое задаётся при проектировании конвейера, обычно $F_0 \approx 0.5 F_{\text{наб max}}$.

Как правило, конвейерные линии большой протяжённости и большой мощности выполняют секционными. Каждая секция представляет собой одноприводной конвейер. При значительной протяжённости конвейер оснащается несколькими приводными машинами, которые располагают так, чтобы нагрузки на привода распределялись равномерно.

Требования к системе ЭП мощных конвейерных установок

Вопросом развития систем ЭП мощных конвейерных установок в отечественной и зарубежной литературе уделяется мало внимания. Это в значительной степени объясняет то, что во многих случаях независимо от мощности и условий работы конвейеров при выборе электрооборудования для этих установок принимаются положения, получившие распространение при проектировании конвейеров с средней и малой производительностью. Находящиеся в эксплуатации конвейеры большой производительности зачастую оборудуются нерегулируемым ЭП с двигателями переменного тока, в задачу которых входит создание необходимых тяговых характеристик, а также выполнение специальных требований при пуске установки. АД с к.з.р. широко распространены на конвейерном транспорте сравнительно небольшой мощности. Преимущественное распространение получили системы с двумя и более двигателями. Отсутствие возможности видоизменять характеристики при прямом включении в сеть делает непригодной эту машину при наличии жёсткой вязи между двигателем и тяговым барабаном. В одних случаях для улучшения характеристик в цепь статора устанавливают управляемые дроссели насыщения, в других – между двигателем и барабаном помещают муфту скольжения. Следует учесть, что большая стоимость и отсутствие серийного выпуска дросселей насыщения на большую мощность наряду с известными недостатками муфт скольжения делают малоперспективными такие системы для мощных конвейеров.

Рекомендуемые рядом авторов для конвейеров приводы постоянного тока не нашли широкого распространения в силу специфических условий эксплуатации.

При комплексном подходе к выбору системы ЭП следует отдавать приоритет тем решениям, которые позволяют совмещать в одном устройстве функции: пусковых устройств, устройств распределения нагрузки и технологического регулирования скорости. В отличие от функций перераспределения нагрузки, требующей регулирования скорости в пределах нескольких процентов от рабочих, условия пуска и технологическое регулирование требуют более значительное изменение скорости. При запуске двигателей чаще всего требуется иметь источник регулируемого напряжения или частоты такой же мощности, как и мощность двигателя.

Требования к системе ЭП мощных конвейерных установок

В то же время, запуск тяжёлых конвейеров осуществляется сравнительно редко. В этой связи становится целесообразным применять системы ЭП с ограниченным диапазоном регулирования скорости, которые позволяют в несколько раз снизить расход электроэнергии, снизить первоначальные затраты на ЭП, а также обеспечить режимы работы, близкие к оптимальным. Схемам с ограниченным диапазоном регулирования скорости отвечает и технологическое регулирование скорости, которому предъявляются такие требования:

1. Поддержание постоянной весовой или объёмной нагрузки на 1 м ленты для обеспечения наибольшей загрузки на всего конвейера. Регулируемый привод позволяет поддерживать постоянную нагрузку на 1 м ленты путём снижения скорости при уменьшении производительности установки. При этом снижается оборачиваемость ленты и её износ, а также износ механического оборудования. Срок службы ленты увеличивается почти пропорционально её снижению скорости.

2. Снижение скорости при уменьшении производительности даёт уменьшение количества электроэнергии. Стоимость электроэнергии составляет значительную часть эксплуатационных расходов.

Условием технологического регулирования скорости при широких возможностях распределения нагрузок наиболее полно отвечают вентильные и машинно-вентильные каскады. Наряду с простотой использования вентильный каскад позволяет осуществить саморегулируемую схему, обеспечивающую полную компенсацию неравенства нагрузки аналогичную схемам механического дифференциала.

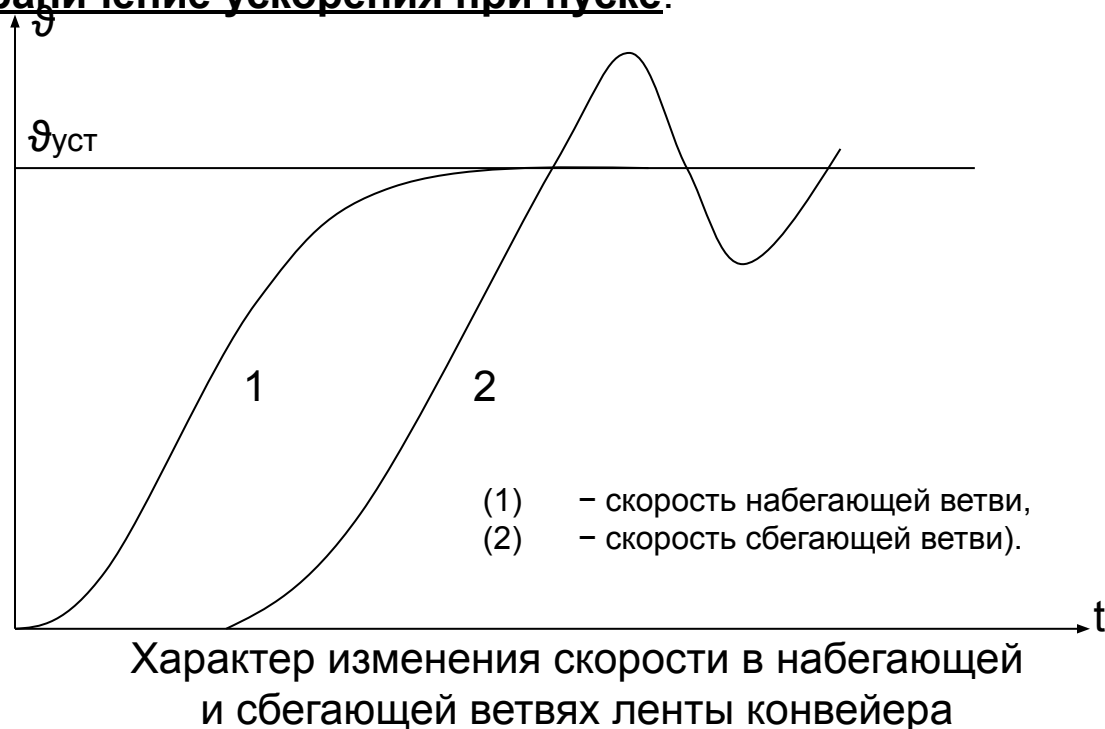
Т.к. режим работы конвейерной ленты определяется также усилием, создаваемым натяжной станцией, то задача оптимального управления сводится к отысканию такого режима, когда загрузка двигателя соответствует расчётной. Коэффициенты сцепления барабанов равны, а натяжная станция создаёт усилие, достаточное для такого режима. Обеспечение оптимального режима требует регулирование параметров как средствами ЭП, так и натяжной станцией.

Требования к системе ЭП мощных конвейерных установок

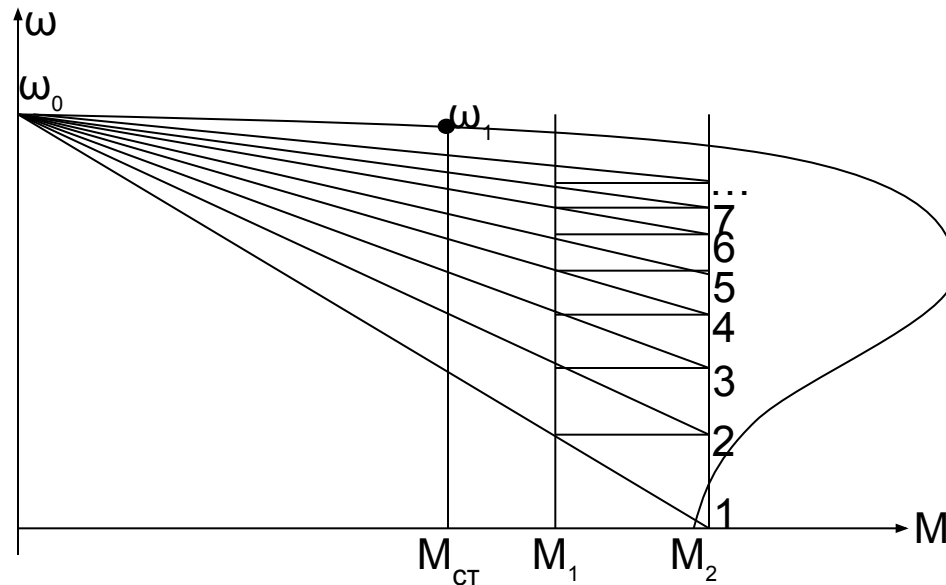
Основным требованием к системам регулирования конвейеров является плавность пуска. Особенно это важно для конвейеров большой протяжённости, у которых кроме опасности пробуксовки натяжного барабана возникает опасность возникновения колебательного в сбегавшей ветви ленты переходного процесса при пуске конвейеров большой протяжённости (более 100 м) в силу упругой деформации ленты, трогание сбегавшей ветви ленты может начаться после того, как двигатель, приводной барабан и лента достигли установившейся скорости.

При этом в сбегавшей ветви возникают значительные колебания скорости (рис). Такой характер переходного процесса приводит к преждевременному износу ленты и даже к её разрушению. Т.о., опасность пробуксовки и опасность возникновения недопустимых колебаний скорости из-за упругой деформации ленты требуют, чтобы привод и система управления обеспечивали **жёсткое ограничение ускорения при пуске**.

Самым простым способом ограничения ускорения в ЭП конвейеров является реостатное управление. Для того, чтобы колебания были небольшими, необходимо значительное количество ступеней роторного реостата (22...28 ступеней роторного реостата). В ряде конвейеров применяют АД с к. з.р., соединённый с приводным барабаном через турбомуфту, которая обеспечивает плавный разгон ленты.



Требования к системе ЭП мощных конвейерных установок



Пусковые характеристики асинхронного привода конвейеров

При использовании двухдвигательного ЭП необходима идентичность механических характеристик двигателей. В противном случае двигатели будут нагружены неравномерно. В случае применения асинхронного двигателя с фазным ротором выравнивание механических характеристик приводных двигателей производят путём включения в ротор одного из двигателей невыключаемой ступени реостата.

Решение о применении той или иной системы электропривода принимается на основе глубокого изучения технологических особенностей проектируемого привода.

Распределение нагрузок между приводами в системе двухприводного конвейера с нерегулируемой скоростью двигателей

Тяговый фактор приводного барабана определяется формулой:

$$e^{\mu\alpha_1} = \frac{S_1}{S_2},$$

S_1, S_2 – усилия в набегающей и сбегающей ветвях ленты барабана;
 α_1 – дуга скольжения, составляющая часть дуги обхвата;
 μ – коэффициент трения скольжения ленты по барабану.

В первом приближении предположим, что лента имеет бесконечно большой модуль упругости и $\mu = \text{const}$. При этом статическое удлинение ленты отсутствует, а мощности, развиваемые двигателями, связаны равенством:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{S_1 - S_2}{S_2 - S_3} = \beta,$$

$\beta = P_1/P_2$ – соотношение установленных мощностей двигателей M_1 и M_2 ;

S_3 – сбегающее усилие второго барабана, которое при пренебрежении сопротивлению движения холостой ветви конвейера может быть принято: $S_3 = 0.5 \cdot S_{\text{HC}}$.

S_{HC} – усилие, развиваемое натяжной станцией.

С другой стороны, усилия S_1 и S_3 связаны соотношением:

Преобразование равенств позволяет получить α_1 и α_2 :

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{1}{\mu} \ln \left(\frac{k(\beta + 1)}{\beta + k} \right) \\ \alpha_2 = \frac{1}{\mu} \ln \left(\frac{\beta + k}{\beta + 1} \right) \end{cases}$$

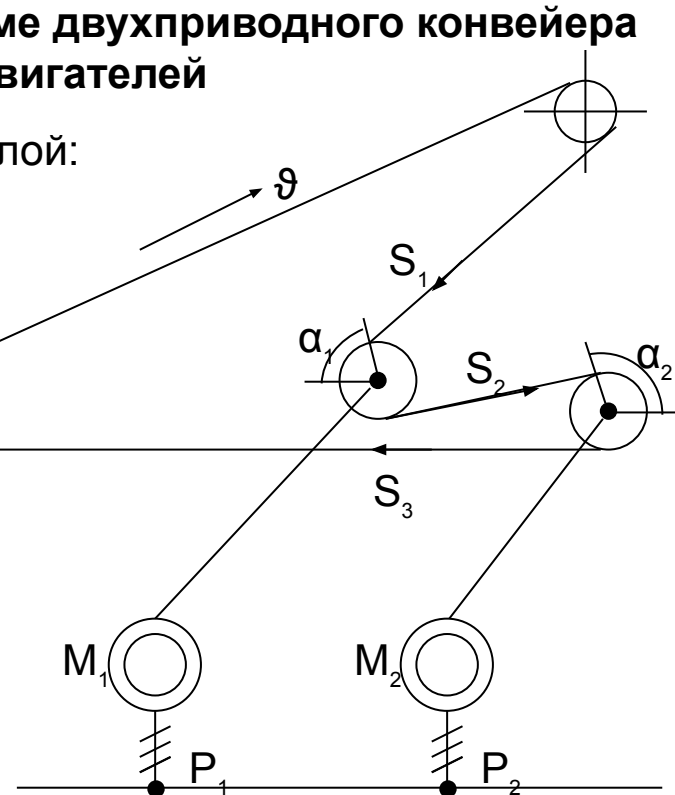


Схема двухприводного конвейера

$$\frac{S_1}{S_3} = K = e^{\mu(\alpha_1 + \alpha_2)},$$

K – показатель загрузки конвейера

Распределение нагрузок между приводами в системе двухприводного конвейера с нерегулируемой скоростью двигателей

Оптимизация тягового режима возможна, если углы α_1 и α_2 равны. Из условия, что $\alpha_1 = \alpha_2$ непосредственно вытекает, что для получения указанного режима необходимо изменять соотношения потребляемых двигателями мощностей в соответствии с равенством:

$$\beta_x = \sqrt{k} \quad \beta_x - \text{текущее оптимизированное соотношение потребляемых мощностей двигателями } M_1 \text{ и } M_2.$$

Последнее равенство указывает на необходимость регулирования текущего соотношения скоростей в зависимости от загрузки конвейера. Так как в нормальном режиме $k > 1$, то установленные мощности двигателей M_1 и M_2 не равны. Как правило, $\beta = 2$. При этом первый (головной) барабан приводится в движение двигателем в 2 раза большей мощности, чем второй (вспомогательный хвостовой) барабан. На распределение нагрузок влияет механическая связь между валами посредством ленты, зависящая от её вытяжки упругого скольжения по барабану (коэффициента трения). На распределение нагрузок влияют также параметры, как налипание материала на барабан, неточность изготовления барабана, вариации параметров двигателей. Это в конечном итоге приводит к наличию разности скольжений двигателей Δs , равной:

$$\Delta s = s_1 - s_2 = \frac{M_1 i \eta}{R E_0 F_0},$$

Δs – разность скольжений двигателей, обусловленная вытяжкой ленты;

M_1 – момент на валу первого двигателя;

i – передаточное отношение редуктора;

η – КПД редуктора;

R – радиус головного (первого) барабана;

E_0 – модуль упругости ленты;

F_0 – площадь поперечного сечения ленты;

s_1 – скольжение двигателя M_1 ;

s_2 – скольжение двигателя M_2 .

При реальной загрузке конвейера удлинение резинотросовой ленты составляет 0.1...0.5%, резинотканевой – 1.5...2.5 %.

Указанные величины сравнимы с номинальными скольжениями двигателя.

Распределение нагрузок между приводами в системе двухприводного конвейера с нерегулируемой скоростью двигателей

Рассмотрим применительно к системе ад с к.з.р. влияние удлинения ленты на распределения мощностей головного и вспомогательного приводных барабанов, предположив отсутствие проскальзывания.

Моменты двигателей головного M_1 и вспомогательного M_2 определяются зависимостями:

$$\begin{cases} M_1 = \gamma_1 s_1 \beta \\ M_2 = \gamma_2 (s_1 + \Delta s_0 + \Delta s) \end{cases}$$

γ_1 и γ_2 – жёсткость механических характеристик двигателей M_1 и M_2 ;
 Δs_0 – разность скольжений двигателей, обусловленное неравенством i редукторов и D барабанов;
 Δs – разность скольжений двигателей, обусловленное вытяжкой ленты.

Т.к. M_c уравнивается суммой $M_1 + M_2$, то после преобразований получим оптимизированное соотношение мощностей, потребляемых двигателями:

$$\beta_x = \frac{\beta \gamma_1 (x - (\Delta s_0 + \Delta s)/s_i)}{\gamma_2 (x - (\Delta s_0 + \Delta s)/s_i) - (\beta \gamma_1 + \gamma_2)(\Delta s_0 + \Delta s)/s_i}, \quad (*)$$

$x = M_c / M_{2н}$ – отношение статического момента к номинальному моменту двигателя M_2 ,
 $s_{н}$ – номинальное скольжение двигателя M_2 .

Анализ показывает, что в применяемой системе с двумя асинхронными двигателями из-за деформации ленты и вариации параметров механического оборудования нет возможности получить удовлетворительное распределение нагрузок. Использование двигателей по моменту и по мощности также неудовлетворительно.

Тяговые характеристики значительно изменяются под действием статического удлинения ленты. При этом в худших условиях оказывается второй барабан.

Распределение нагрузок между приводами конвейера в схемах с регулируемой скоростью двигателей

Исследование зависимости (*) с целью отыскания такого закона изменения параметров и характеристик двигателей, при котором текущее оптимизированное значение β_x было бы равно β ($\beta_x = \beta$), дало выражение:

$$\frac{\Delta s_0 + \Delta s}{s_i} = \frac{(\gamma_1 - \gamma_2)x}{\gamma_1(\beta + 1)}.$$

Что указывает на 2 возможных пути оптимизации режимов.

1. В зависимости от показателя нагрузки x необходимо определять разность скольжений Δs , то есть нарушить жёсткую связь двигателей через сеть. Исходным параметром, по которому следует регулировать привод, является суммарная мощность, потребляемая из сети.

2. В зависимости от показателя нагрузки x следует соответствующим образом изменять жёсткость характеристик двигателей при равном нулю значении разности скольжений Δs .

Первый случай соответствует изменению потока мощности, потребляемой двигателем. Второй случай – изменению параметров в регулировочных устройствах.

На рис. приведена схема с последовательно включённым в цепь ротора выпрямителя, который обеспечивает пропорциональность моментов двигателей независимо от роторной нагрузки, так как по роторным цепям протекает одно и то же значение выпрямленного тока I_d (схема электрического дифференциала).

Распределение нагрузок между приводами конвейера в схемах с регулируемой скоростью двигателей

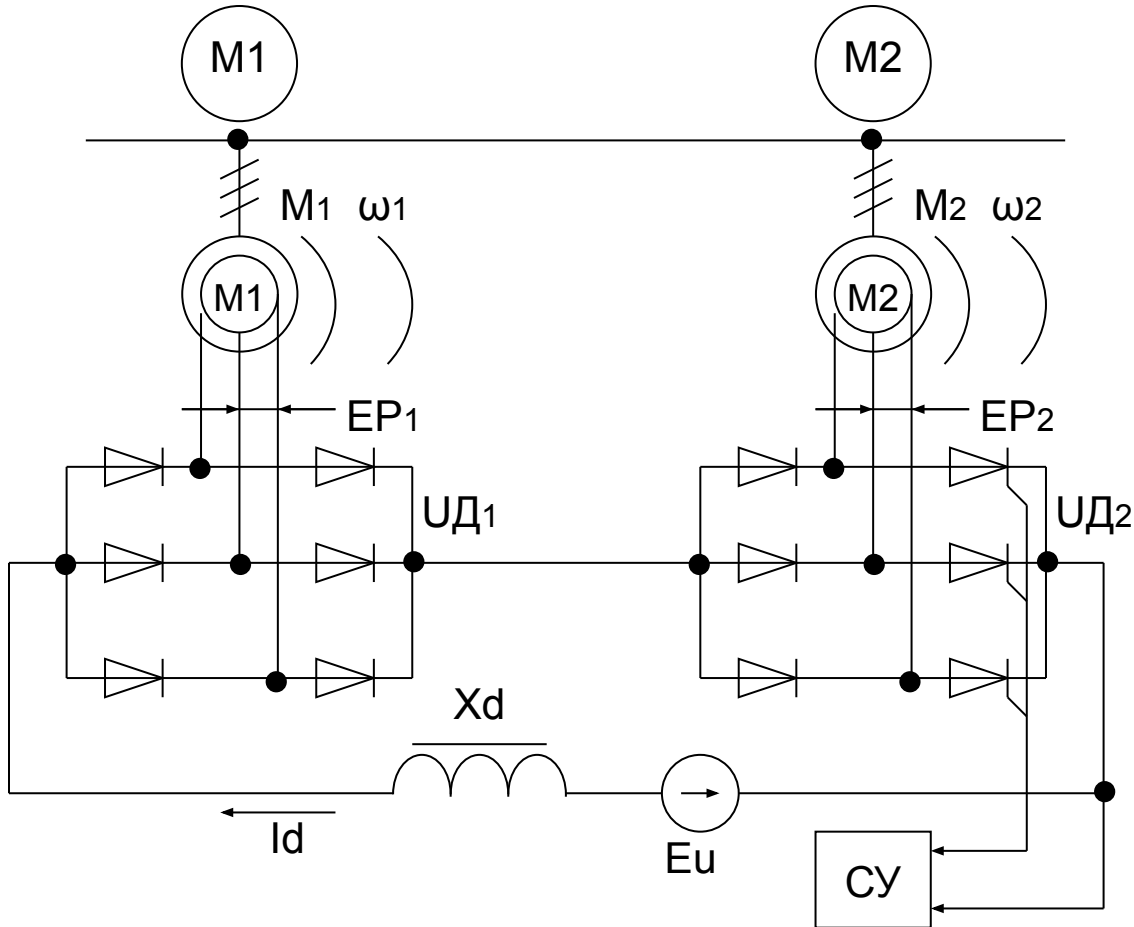


Схема электрического дифференциала

Скольжения двигателей не равны друг другу при наличии деформации ленты. Их разность зависит от вытяжки ленты и момента на валу первого двигателя. При некотором суммарном моменте нагрузки двигатели имеют различные скорости вращения. Сумма моментов двигателей остаётся неизменной, так как ток I_d будет иметь одно и то же значение при разных вариациях параметров двигателей M_1 и M_2 .

Распределение нагрузок между приводами конвейера в схемах с регулируемой скоростью двигателей

Общий выпрямленный ток определяется по выражению:

$$I_d = \frac{K_1 E_{p1} s_1 + K_2 E_{p2} s_2}{Z_{\dot{y}}},$$

K_1 и K_2 – коэффициенты схем выпрямления роторных выпрямителей U_{d1} и U_{d2} ;

E_{p1} и E_{p2} – номинальные ЭДС роторных цепей двигателей M_1 и M_2 ;

$Z_{\dot{y}}$ – суммарное сопротивление роторных цепей, приведённых к цепи выпрямленного тока.

Моменты, развиваемые двигателями, соответственно равны:

$$M_1 = I_d K_{M1},$$

$$M_2 = I_d K_{M2},$$

K_{M1} и K_{M2} – коэффициенты моментов двигателей (пересчитанные к цепи выпрямленного тока).

Статический момент M_c равен:

$$M_c = \frac{K_1 E_{p1} s_1 + K_2 E_{p2} s_2}{Z_{\dot{y}}} (K_{M1} + K_{M2})$$

Можно показать, что соотношение моментов двигателей не зависит от величины статического момента.

s_2 стремится к s_1 при увеличении модуля упругости E_0 . Минимальное значение s_1 определяется условиями нормальной коммутации между вентилями преобразователя U_{d1} , в противном случае I_d закорачивается через вентили, минуя обмотки ротора. Для нормальной коммутации должно выполняться условие:

$$E_{p1} s_{1\min} \geq 5 \dots 6 B.$$

Распределение нагрузок между приводами конвейера в схемах с регулируемой скоростью двигателей

С учётом последнего допустимое значение модуля упругости ленты, обеспечивающее нормальную работу системы электропривода, определяется выражением:

$$E_0 > \frac{K_1 E_{p1} K_{M1} i \eta}{R F_0 z \dot{\gamma}}$$

Несоблюдение этого условия требует ведения в цепь выпрямленного тока встречной ЭДС $E_{и}$ для увеличения рабочих скольжений двигателей. Т.о. получается схема двухдвигательного асинхронно-вентильного каскада. Дополнительная ЭДС $E_{и}$ необходима для нормальной работы схемы при использовании ленты со значительным статическим удлинением не велика, и составляет 2...5 % от E_{p1} . При использовании каскада для технологического регулирования скорости условия нормального распределения нагрузок между двигателями будут выполняться при любой скорости ниже основной, однако минимальное значение ЭДС $E_{и}$ не должно уменьшаться до нуля.

Тяговые характеристики барабанов зависят от соотношения усилий в гружённой и холостой ветвях конвейерной ленты. Для исключения проскальзывания следует стремиться к равенству или пропорциональности тяговых факторов, что достигается изменением k или β_k .

Учитывая взаимосвязь между усилием S_{HC} и мощностью P_s , потребляемой двигателями M_1 и M_2 , закон регулирования натяжной станции определяется равенством:

$$S_{HC} = \frac{\alpha P_s}{a + \sqrt{(a^2 - b^2)} - 2},$$

$$\alpha = \frac{i}{R\omega},$$

R – радиус приводного барабана;

i – передаточное отношение редуктора;

ω – частота вращения двигателей (среднее значение).

Распределение нагрузок между приводами конвейера в схемах с регулируемой скоростью двигателей

В простейшем варианте обратная связь по усилию вступает в действие при достижении заданной разности y_0 между тяговыми характеристиками приводных барабанов. При больших значениях y натяжная станция создаёт постоянное усилие $S_{отс}$. Более эффективным является непрерывное регулирование усилия натяжной станции.

Закон регулирования при этом получается оптимальным, так как требуемые тяговые характеристики получаются при минимальном натяжении ленты.

Для обеспечения заданного диапазона регулирования скорости и упрощения системы регулирования целесообразно иметь $\beta_{кн} < \beta_k$. В этом случае необходимо роторную группу вентиля двигателя M_2 выполнить управляемой.

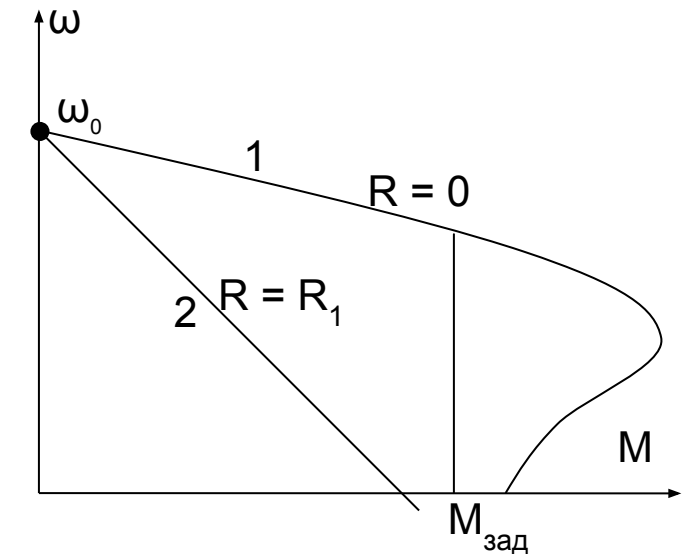
Следует учесть ещё одно обстоятельство, что делает схему электрического дифференциала желательной. При отсутствии устройства распределения нагрузок неравномерная загрузка двигателей кроме опасности проскальзывания влечёт за собой неравномерную загрузку двигателей по току. Это требует завышать мощность двигателей в большей степени.

Важным достоинством приведённой схемы является идеальное распределение моментов без сложных регулирующих устройств и полная нечувствительность к статическому удлинению ленты.

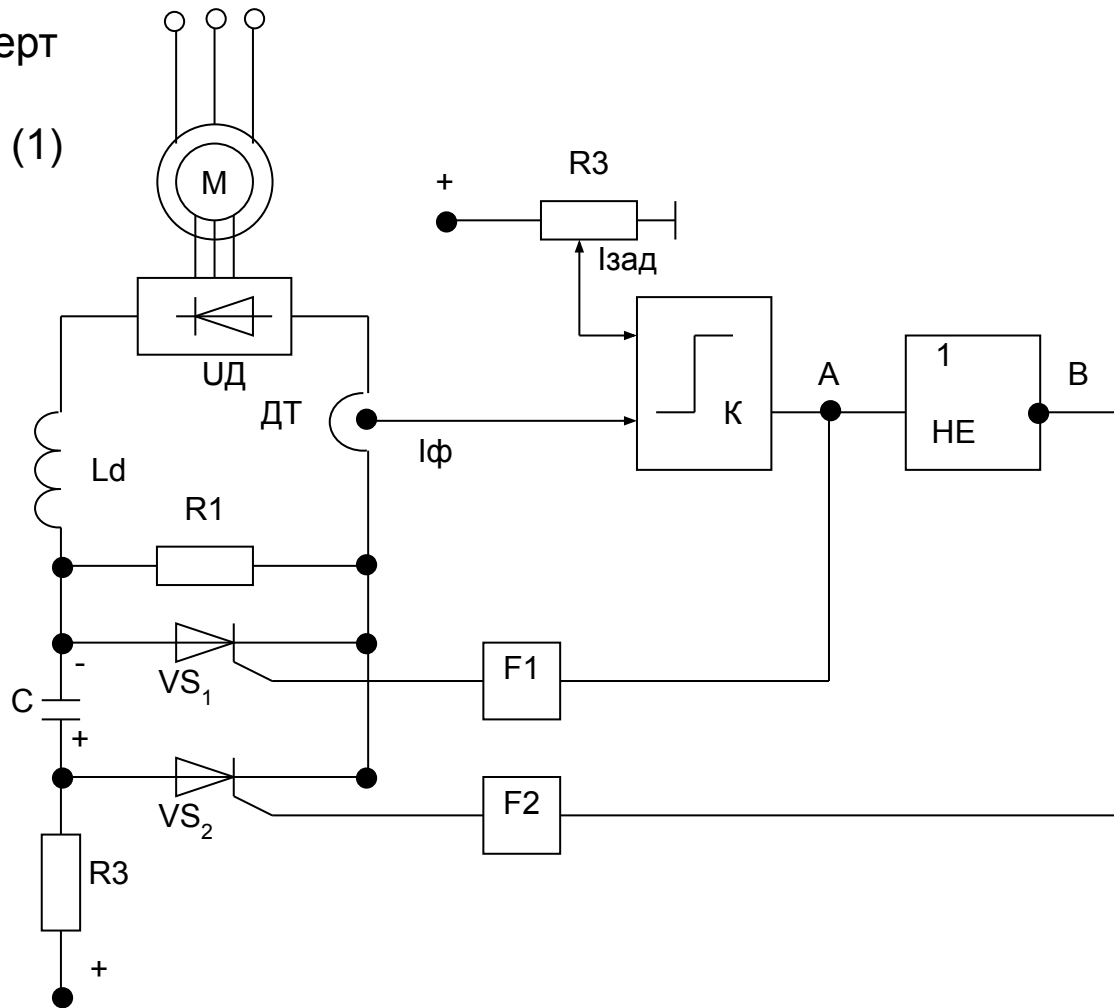
Применение индукционных реостатов и импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора асинхронного двигателя для пуска приводов конвейеров

Плавный пуск обеспечивается при помощи импульсного регулирования сопротивления роторного реостата тиристорным коммутатором.

В зависимости от того, открыт или заперт тиристор VS1, механическая характеристика будет соответствовать (1) или (2).



Характеристики асинхронного двигателя при импульсном регулировании сопротивления в цепи ротора



Функциональная схема импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора

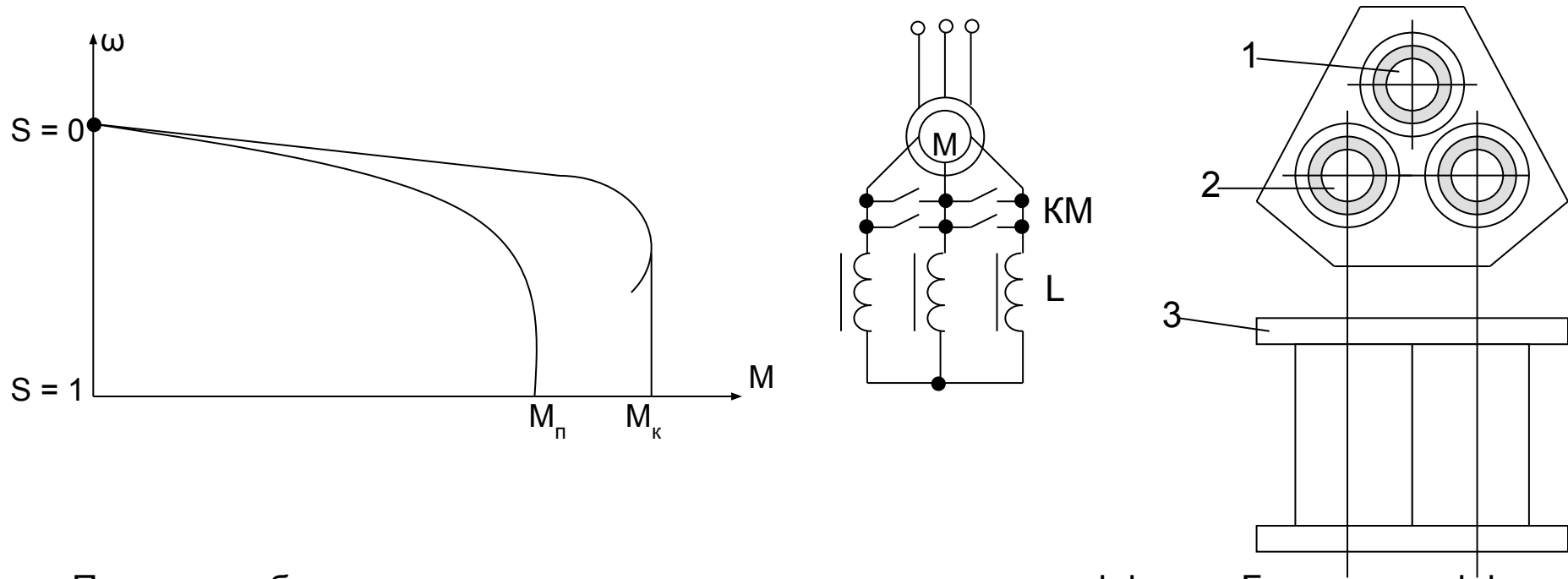
Применение индукционных реостатов и импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора асинхронного двигателя для пуска приводов конвейеров

Управление импульсным процессом производится в функции тока ротора устройством, содержащим следующие элементы: ДТ – датчик тока роторной цепи; З – задатчик уставки заданного тока разгона (ускорения); К – компаратор; НЕ – логический инвертор; F1 и F2 – формирователи отпирающих импульсов тиристоров VS1 и VS2. При $I_3 > I_{\phi}$ срабатывает компаратор и устанавливаются сигналы $A=1$ и $B=0$. Формирователь импульсов F_1 формирует сигнал открывания тиристора VS_1 и двигатель переходит на характеристику (1). При $I_3 < I_{\phi}$ $A=0$ и $B=1$. При этом формирователь импульсов F_2 формирует сигнал открывания тиристора VS_2 и двигатель переходит на характеристику (2), работая таким образом в импульсно режиме и система управления обеспечивает разгон двигателя с практически постоянным моментом и постоянным ускорением.

Весьма надёжные и эффективные индукционные пусковые устройства, которые применяются на асинхронных двигателях мощных ленточных конвейерах, выпускаемых объединением “Донецкгормаш”. Эти пусковые устройства очень просты и вместе с тем обеспечивают формирование бесступенчатой пусковой характеристики с постоянным значением пускового момента практически во всём диапазоне скоростей.

Конструктивно индукционный реостат (рис), являющийся основой пускового устройства, представляет собой 3 стальных трубки (1), на поверхности которых размещены обмотки 2, питаемые роторным током двигателя. Стрежни расположены в вершинах равностороннего треугольника для обеспечения симметрии их сопротивлений, на которые влияет магнитное поле соседних стержней. Стрежни замкнуты и зафиксированы ярмами 3.

Применение индукционных реостатов и импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора асинхронного двигателя для пуска приводов конвейеров



Принцип работы индукционного реостата основан на скин-эффекте. Благодаря эффекту при изменении скольжения двигателя и соответствующим изменением частоты роторного тока изменяется эффективное сечение для короткозамкнутых токов в теле стержня соответственно изменяются и индуктивное и активное сопротивление реостата. Эти параметры нелинейно зависят от скольжения:

$$r_p \equiv \sqrt{s}, \quad x_p \equiv \sqrt{s}.$$

В начале разгона сопротивления велики, а по мере разгона они уменьшаются. При правильном выборе параметры индукционного реостата величина стабильного момента при разгоне составляет: $M_{\text{п}} = (0.62 \dots 0.75) \cdot M_{\text{к}}$.

Индукционные пусковые устройства по сравнению с пусковыми с металлическими резисторами имеют в 12–15 раз меньший объём, и примерно в 6 раз меньшую стоимость.

Недостаток: нелинейность объекта (зависимости сопротивлений от скольжения).

Применение индукционных реостатов и импульсного регулирования сопротивления в цепи ротора асинхронного двигателя для пуска приводов конвейеров

Описанные ранее системы ЭП обеспечивают дежурную малую скорость для установок, эксплуатируемых в условиях низких температур, поскольку малая скорость может быть получена только за счёт значительных потерь скольжения. Одно из решений – применение микропривода, который может быть получен за счёт существенного усложнения механической части (специальный редуктор, обгонная муфта для отключения микропривода при работе основного привода). Другим решением является применение тиристорного ПЧ небольшой мощности для питания двигателя конвейера в режиме малой скорости.

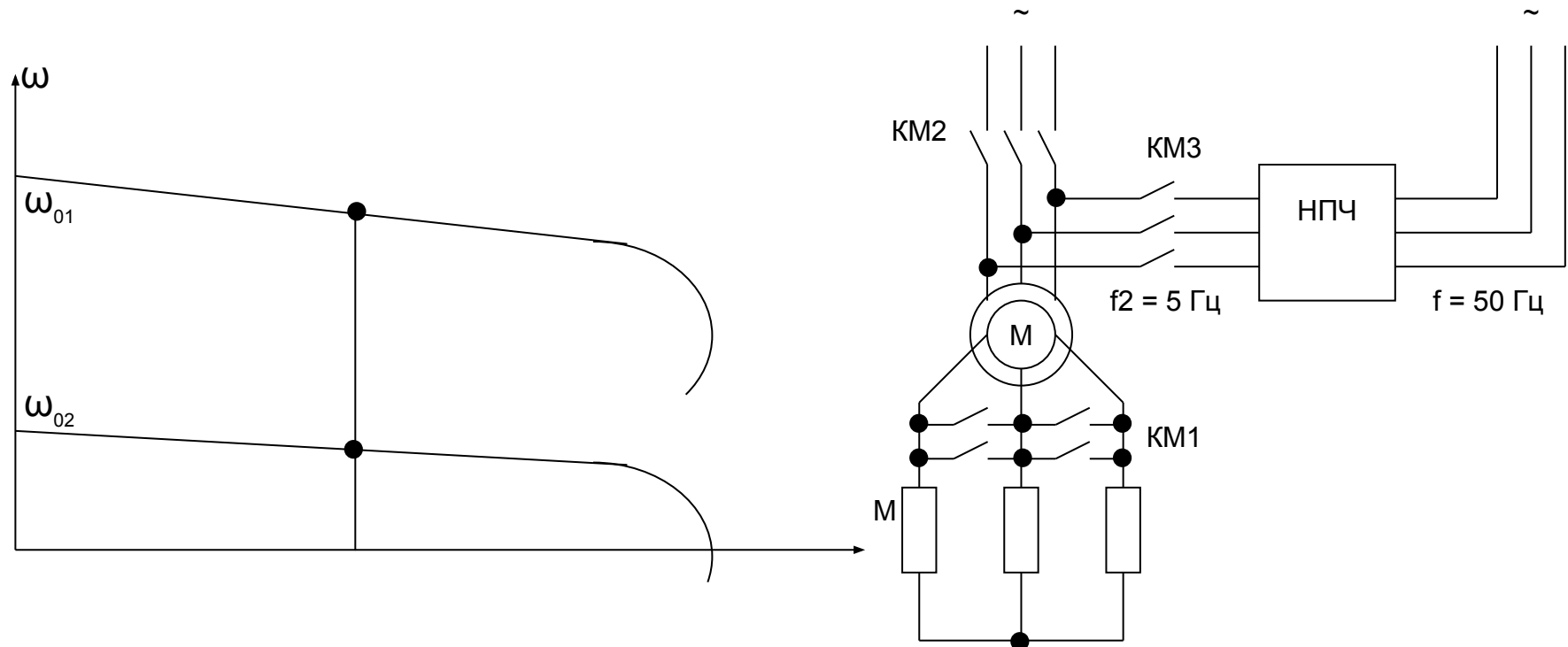


Схема подключения электродвигателя конвейера и его характеристики для получения дежурной малой скорости

Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров. Системы управления конвейерными линиями

Крупные конвейеры имеют ряд вспомогательных ЭП. К ним относятся: ЭП натяжения ленты, которые обеспечивают регулирование величины натяжения при пуске и в нормальной работе; ЭП электрогидравлических толкателей тормозов, обеспечивающие растормаживание конвейера; ЭП вентиляторов, маслососов, и т. д.; ЭП для подборки просыпей в местах перегрузки с одного конвейера на другой.

Системы управления конвейерами, а также защиты и блокировки должны выполнять следующие **основные функции**:

1. Пуск конвейеров, входящих в конвейерную линию, должен производиться поочередно, начиная с последнего против направления движения грузов. Аварийная или преднамеренная остановка конвейера должна вызвать остановку других конвейеров, которые грузят на него.

2. Пуск следующего конвейера должен происходить только после выхода предыдущего конвейера на полную скорость, что также обеспечивает снижение нагрузки на питающую сеть от пусковых токов.

3. Остановка конвейерной линии по команде диспетчера может производиться в режиме полной разгрузки или в режиме полной остановки с грузом. В первом случае отключение конвейеров происходит в направлении потока груза с выдержкой времени, необходимой для разгрузки конвейера. Во втором случае останавливают один из конвейеров и все предыдущие сразу. Груз скачивается только с последующего конвейера.

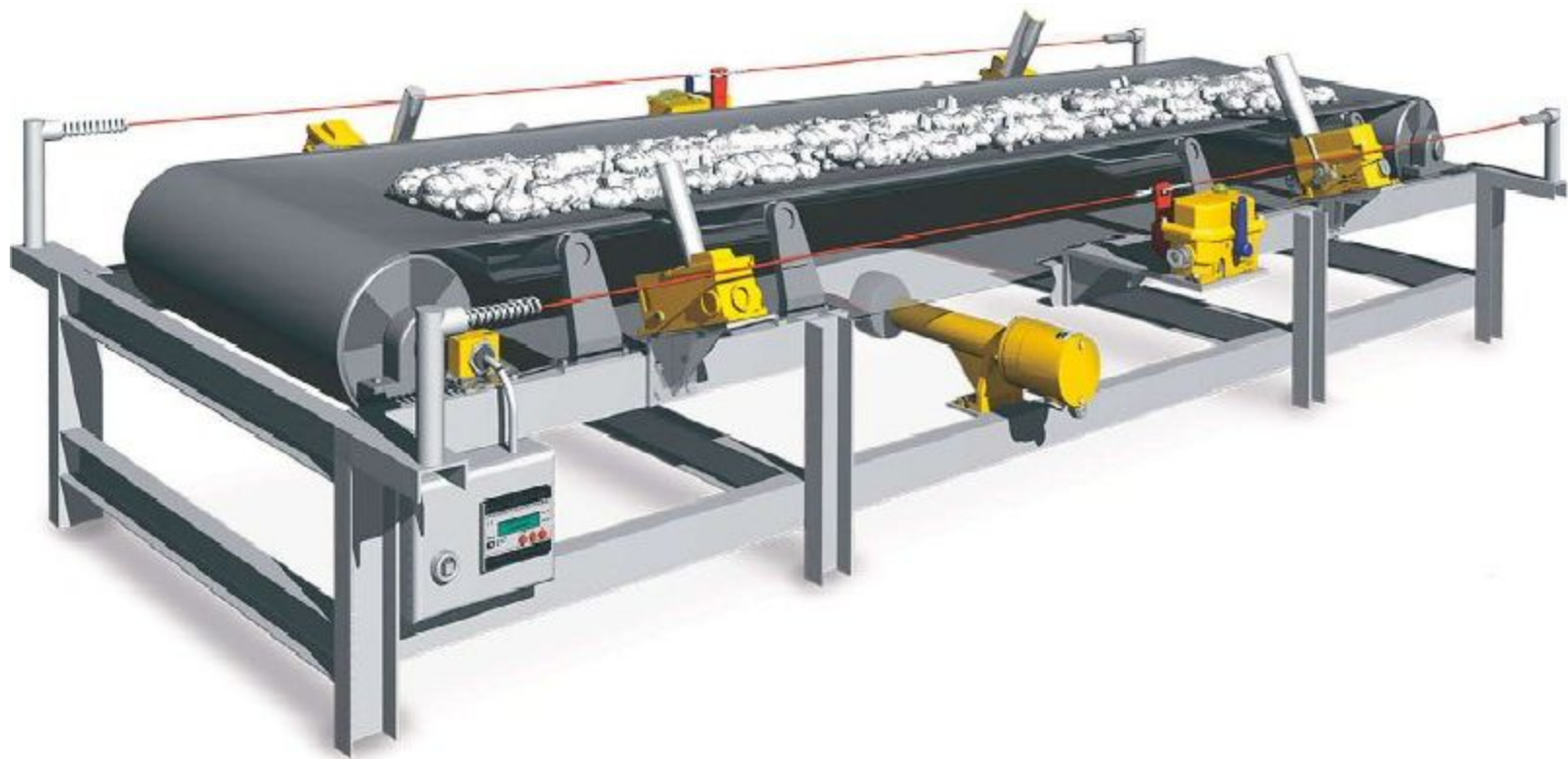
4. Должна обеспечиваться остановка конвейера от него с помощью тросика, воздействующего на конечный выключатель.

5. Должна обеспечиваться аварийная остановка в случае опасной пробуксовки приводного барабана относительно ленты (15 %).

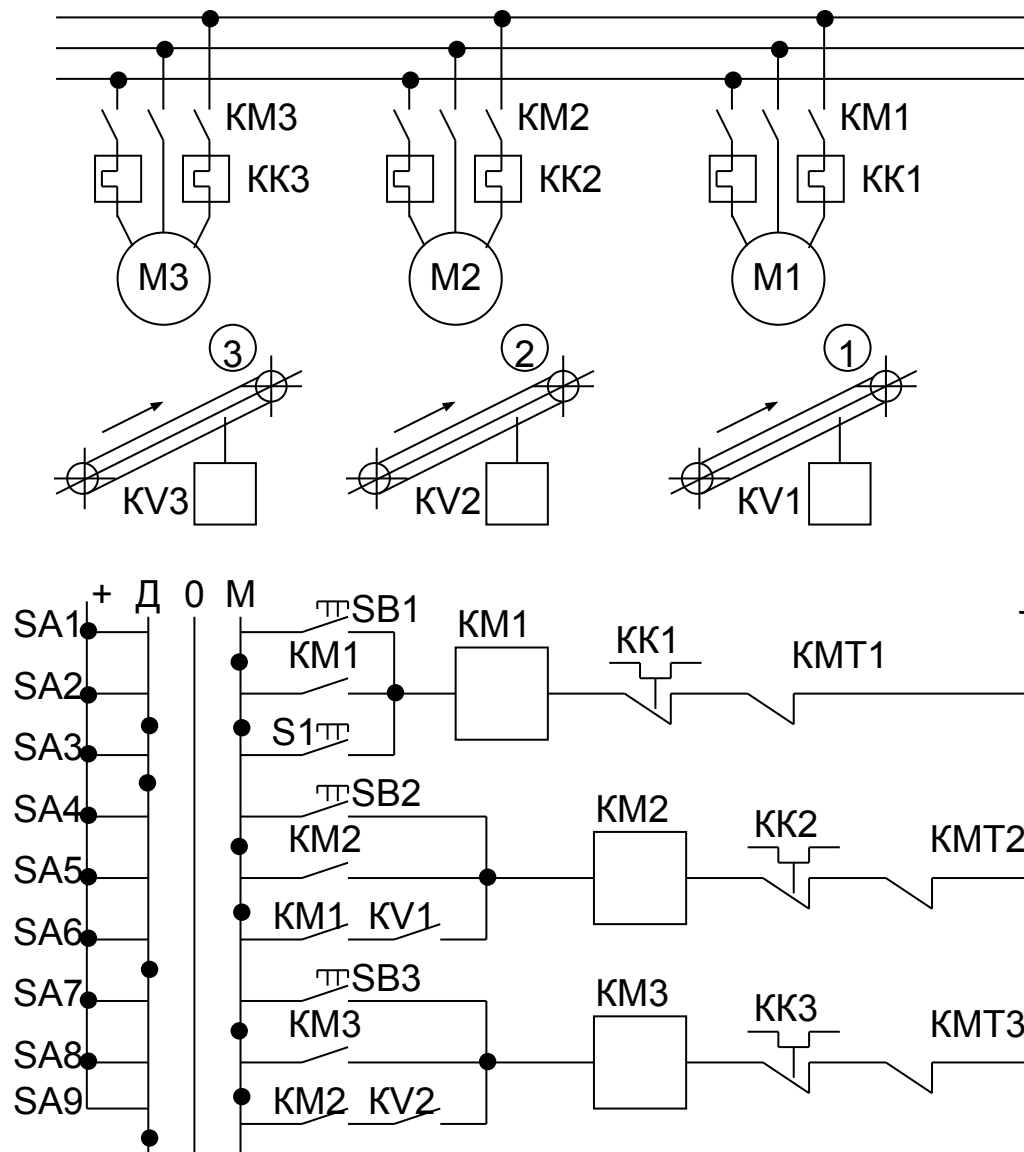
6. Должна обеспечиваться аварийная остановка в случае недопустимо затянувшегося пуска.

7. В крупных конвейерах должен предусматриваться контроль натяжения ленты и автоматическая установка различных значений натяжения при пуске и установившемся движении (при пуске – большое значение для устранения пробуксовки).

Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров. Системы управления конвейерными линиями



Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров. Системы управления конвейерными линиями



Упрощённая схема управления многосекционной конвейерной ленты

M1, M2, M3 – приводные двигатели конвейеров, включаемые контакторами KM1, KM2, KM3,
KV1, KV2, KV3 – реле скорости, замыкающие свои контакты при полной скорости ленты.

Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров. Системы управления конвейерными линиями

Схема предусматривает два режима: местный (положение переключателя М) и дистанционный (Н). Местное управление применяется для различного рода маневровых и ремонтных работ. При этом запуск каждого конвейера производится независимо от других нажатием соответствующей кнопки (SB1, SB2, SB3), а остановка – воздействием на соответствующий контактор стопорения (KMT1, KMT2, KMT3 – катушки не показаны). В режиме дистанционного управления замыкаются контакторы переключателя (SA2, SA3, SA6, SA9), вводится в действие кнопка диспетчерского пуска (S1), при помощи которой включается привод конвейера 1 (последний в линии). Контактор KM2 конвейера № 2 включается в том случае, если включён KM1, и скорость первого конвейера достигла рабочего значения (сработало реле KV1) аналогично произойдёт запуск третьего конвейера.

Остановка любого из конвейеров, которая может произойти из-за срабатывания тепловой защиты КК, либо при воздействии на КМТ приводит к остановке всех предыдущих конвейеров. Принимающие конвейеры продолжают работать, скармливая груз. Надёжная работа конвейерных установок обеспечивается не только режимом работы приводных двигателей, но и работой натяжной станции. Использование тяговых возможностей ленты и барабана зависит от натяжения в сбегающей ветви ленты.

Если рассмотреть отношение тягового усилия, передаваемого ленте к величине натяжения набегающей ветви, то получим выражение:

$$\frac{S_1 - S_3}{S_1} = 1 - \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha}}, \quad \alpha = \alpha_1 + \alpha_2$$

Можно сделать вывод о том, что чем больше $e^{\mu \cdot \alpha}$, тем лучше будет использоваться лента. При максимально возможных углах α и коэффициенте μ можно получить очень малые натяжения на сбегающей ветви ленты.

Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров.

Системы управления конвейерными линиями

Идеальным случаем работы конвейера является случай, когда $e^{\mu \cdot \alpha} = \infty$ и $S_3 = 0$. так как величины α и μ конечны, то S_3 имеет вполне обоснованные пределы. Величина натяжного усилия, развиваемого натяжной станцией, зависит от места её расположения. Для двухбарабанных конвейеров усилие натяжной станции определяется выражением:

$$S_{HC} = 2 \frac{(S_1 + S_3 e^{\mu \cdot \alpha_1} e^{\mu \cdot \alpha_2})}{(e^{\mu \cdot \alpha_1} e^{\mu \cdot \alpha_2} - 1)}$$

Анализ показывает, что усилие S натяжной станции должно изменяться пропорционально S_1 . Необходимость поддержания S_{HC} вызвано желанием увеличить срок службы ленты. Большое натяжение вызывает усталостный износ, а недостаточное – пробуксовку на приводном барабане, которое приводит к разрушению ленты. На горнорудных предприятиях мощные конвейеры оборудованы натяжными станциями с перемещаемым приводным барабаном. К таким станциям относятся грузовые и грузоподъёмные станции.

К недостаткам рассмотренных станций следует отнести прежде всего невозможность точного поддержания в заданных пределах натяжного усилия, так как отсутствует обратная связь по нагрузке конвейера.

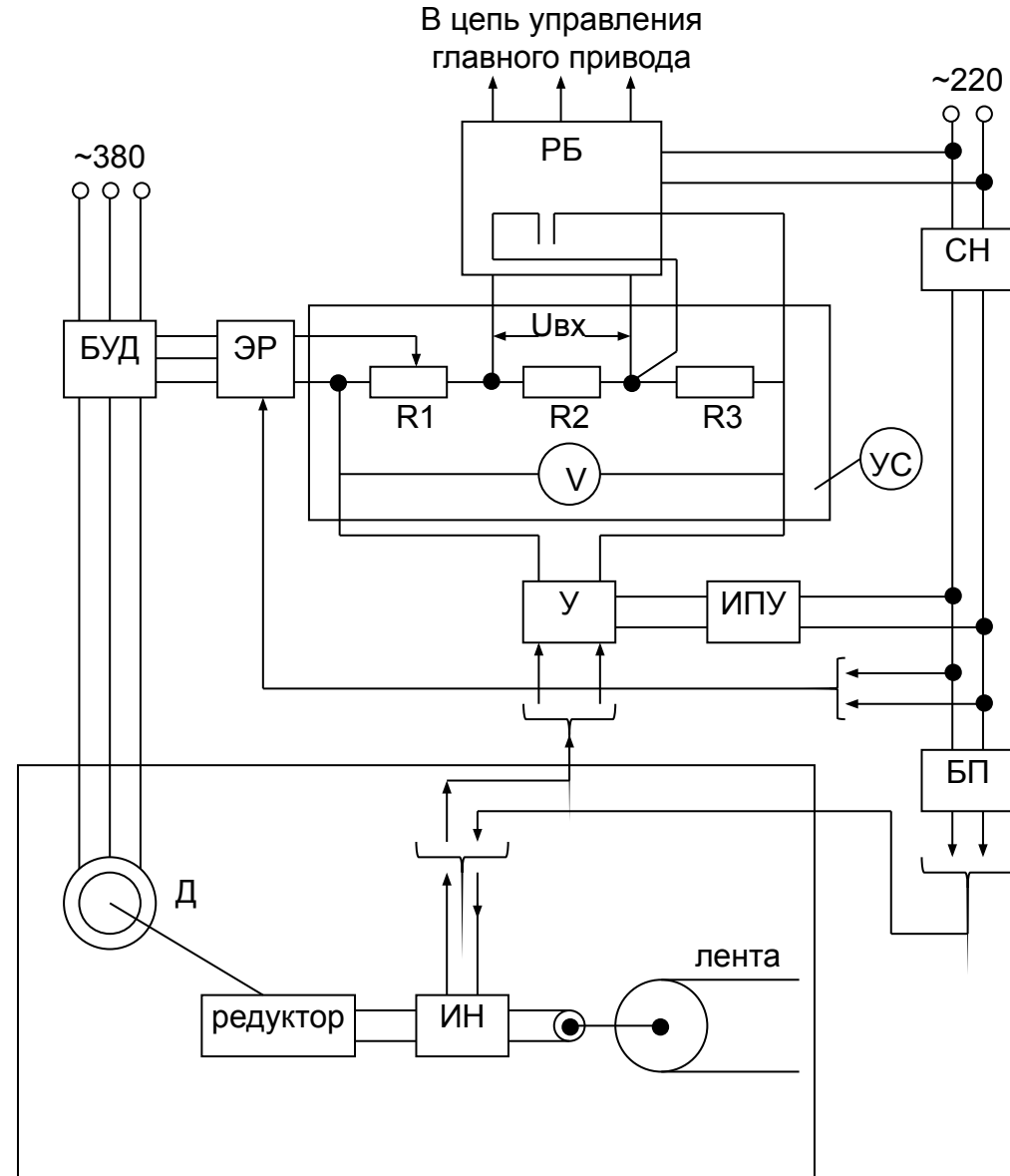
Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров.

Системы управления конвейерными линиями

Значительным шагом вперёд в направлении создания регулируемых натяжных станций является система, которая представляет собой замкнутую по потребляемой мощности двигателей конвейера систему автоматического регулирования.

Натяжная станция состоит из следующих узлов: измерителя натяжения ИН с магниторегулируемым датчиком давления, электронного регулятора ЭР, на вход которого подаются сигналы, пропорциональные мощности главного двигателя и усилию в ленте, усилителя У.

Система автоматического регулирования конвейерной ленты работает следующим образом. Асинхронный двигатель Д определяет направление движения барабана, получает питание через блок управления БУД при воздействии на него электронного регулятора ЭР.



Вспомогательные электроприводы ленточных конвейеров.

Системы управления конвейерными линиями

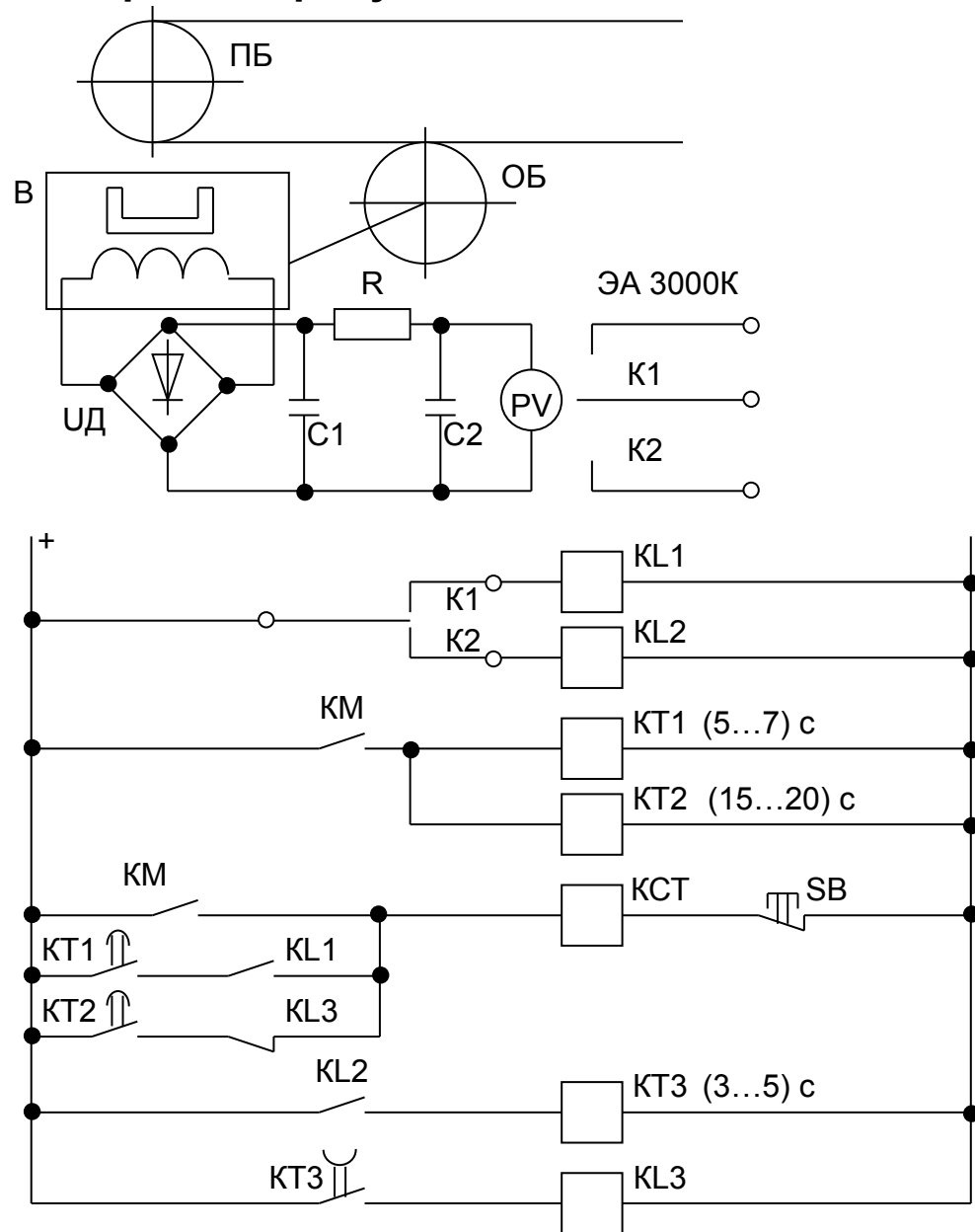
Входом электронного регулятора служит падение напряжения, снимаемого с резистора R1 и узла сравнения УС. Узел сравнения УС включен на вход измерителя натяжения ИН через усилитель постоянного тока У и выход, пропорциональный нагрузке конвейера через измерительный блок РБ.

Начальное минимальное натяжение, необходимое для нормального сцепления ленты с барабаном при холостом ходе конвейера обеспечивается задатчиком напряжения, включённого в схему электронного регулятора ЭР. При этом величина падения напряжения, снимаемого с резистора R1 узла сравнения соответственно, равна величине напряжения, при котором электронный регулятор ЭР находится в нулевом положении. Величина падения напряжения на R1 равна разности сигналов, получаемых от датчика мощности, включённого в цепь главного двигателя конвейера и датчика усилия, включённого в систему натяжной лебёдки. При увеличении нагрузки на конвейере увеличивается выходное напряжения датчика мощности двигателя и при неизменном напряжении измерителя натяжения, увеличивается падение напряжения на R1. Увеличение падения напряжения на R1 (разности напряжения датчика усилия и датчика мощности) будет происходить до тех пор, пока величина падения напряжения на R1 не будет равна напряжению срабатывания электронного регулятора ЭР. При срабатывании электронного регулятора ЭР включается двигатель лебёдки на увеличение натяжения. Двигатель работает до тех пор, пока величина натяжения не будет соответствовать нагрузке конвейера, то есть разность между сигналами, снимаемыми с датчиков мощности и усилия не будет равна первоначально заданной. Электронный регулятор ЭР переходит в нулевое положение и отключает двигатель лебёдки. При уменьшении нагрузки на конвейере изменяется знак разности сигналов, подаваемых на электронный регулятор и двигатель, включаются на уменьшении натяжения в ленте.

Т.о., данная система при любых нагрузках обеспечивает минимальное натяжение ленты в процессе работы и повышение натяжения ленты вследствие работы релейного блока, изменяющего разность напряжений датчиков шунтирования резистора R3 и узла сравнения. Точность натяжения ленты может регулироваться изменением зоны нечувствительности электронного регулятора ЭР и достигает 0.5 %.

Защита ленточных конвейеров от пробуксовки

Важнейшей защитой ленточных конвейеров является защита от пробуксовки приводного барабана. Режим пробуксовки приводного барабана чрезвычайно опасен. Применяемые в настоящее время устройства защиты от пробуксовки несовершенны. В большинстве случаев ограничиваются применением реле скорости, которое фрикционно связано с лентой. Реле обычно настроено на срабатывание на номинальной скорости (поле окончания разгона). В этом случае защита может зафиксировать факт снижения скорости ленты ниже уставки реле, что не всегда является признаком пробуксовки. Контроль пробуксовки осуществляется вначале пуска, но может быть зафиксирован только случай, когда лента не движется при вращающемся барабане. Наиболее совершенна из схем контроля скорости и пробуксовки разработки Донецкгормаш.



Принципиальная схема устройства защиты конвейера от пробуксовки с использованием контактного вольтметра

Защита ленточных конвейеров от пробуксовки

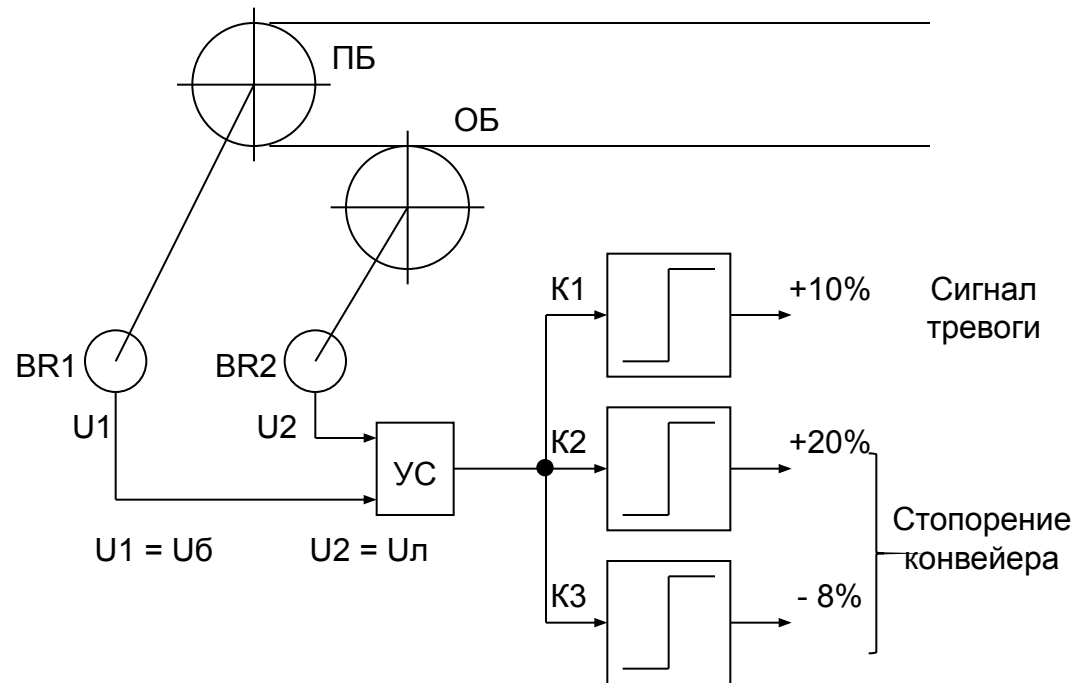
Магнитоиндукционный датчик В состоит из постоянного магнита, снабжённого обмоткой. Этот датчик пристроен к отклоняющему барабану ОБ конвейера. При движении ленты барабана вращаются при этом пластины, расположенные на торце отклоняющего барабана конвейера, пересекающего торцевую часть магнитопровода датчика. В катушке В наводится ЭДС, пропорциональная скорости ленты, которая через выпрямительный мост UD и сглаживающий RC-фильтр, подаётся на контактный вольтметр PV с контактны входом. Контакты этого вольтметра настраиваются таким образом, что K1 размыкается при минимальной скорости, а K2 замыкается при полной скорости ленты. Вначале разгона замыкается контакт KM контактора пуска конвейера и запускаются реле времени KT1 и KT2. Через 5–7 с после начала разгона KT1 замыкается, и если к этому времени K1 разомкнулся, и соответственно разомкнулся контакт KL1, то контактор KCT не включится (контактор стопорения). Если по причине пробуксовки за время выдержки KT1 лента не начала движение, KL1 остаётся замкнутым, что приведёт к срабатыванию KCT. Таким образом контролируется пробуксовка при пуске конвейера. Если разгон конвейера до полной скорости происходит нормально, то за время выдержки KT2 K2 успевает замкнуться, соответственно замыкается KL2 в цепи KT3, что приводит к срабатыванию KL3 и цепь питания KCT разрывается. Если в течении выдержки времени KT2 (15–20 с) конвейер не вышел на номинальную скорость, KCT отключит конвейер. Если при движении с установившейся скоростью произошла пробуксовка, то K2 замкнётся, что отключит катушку KL3. Если в течении выдержки времени KT3 (3.5 с), то KT3 разорвёт цепь катушки KL3, и это вызовет отключение конвейера с помощью KCT.

Защита ленточных конвейеров от пробуксовки

Данная система имеет ряд недостатков, так как имеет зону нечувствительности вследствие наличия зоны нечувствительности контактов К1 и К2. Контакт К2 не может быть настроен на максимальную скорость, так как в этом случае естественное уменьшение скорости при увеличении нагрузки привело бы к ложному срабатыванию защиты. Поэтому уставка срабатывания К2 должна соответствовать скорости ленты при полной нагрузке (из-за существующего диапазона нечувствительности защиты).

Существуют схемы защиты, у которых происходит сравнение скоростей приводного барабана и ленты (рисунок 6.13). В качестве датчиков скоростей применяются тахогенераторы BR1 и BR2. Напряжения тахогенераторов, пропорциональные скоростям барабана и ленты, сравниваются в устройстве сравнения УС, а затем при помощи командоаппаратов К1, К2, К3 формируются команды на включение предупредительной сигнализации на стопорение конвейера.

Недостаток схемы – наличие зоны нечувствительности командоаппаратов К1, К2, К3.



Функциональная схема устройства защиты конвейера на основе сравнения скоростей приводного барабана и ленты

Защита ленточных конвейеров от пробуксовки

Кардинальное решение проблем защиты от пробуксовки и разрушению ленты состоит в создании устройств, реагирующих на энергию скольжения, воздействующую на разогревающую ленту. Пренебрегая в первом приближении охлаждением ленты (отдача тепла), имеющем место одновременно с нагреванием при пробуксовке, можно записать следующее уравнение теплового баланса:

$$F_{\max} \Delta S \leq A_{\text{разр}},$$

$F_{\max}$ – максимальное усилие трения при пробуксовке;
 ΔS – путь пробуксовки (м);
 $A_{\text{разр}}$ – энергия, необходимая для разрушения ленты (Н·м).

Тогда получим:

$$F_{\max} = F_{\text{н}} e^{\mu \alpha},$$

$$A_{\text{разр}} = mc(t_{\text{разр}} - t_0),$$

$t_{\text{разр}}$ – температура ленты, при которой происходит её разрушение;
 t_0 – температура окружающей среды;
 m – масса разогреваемой ленты;
 c – теплоёмкость ленты.

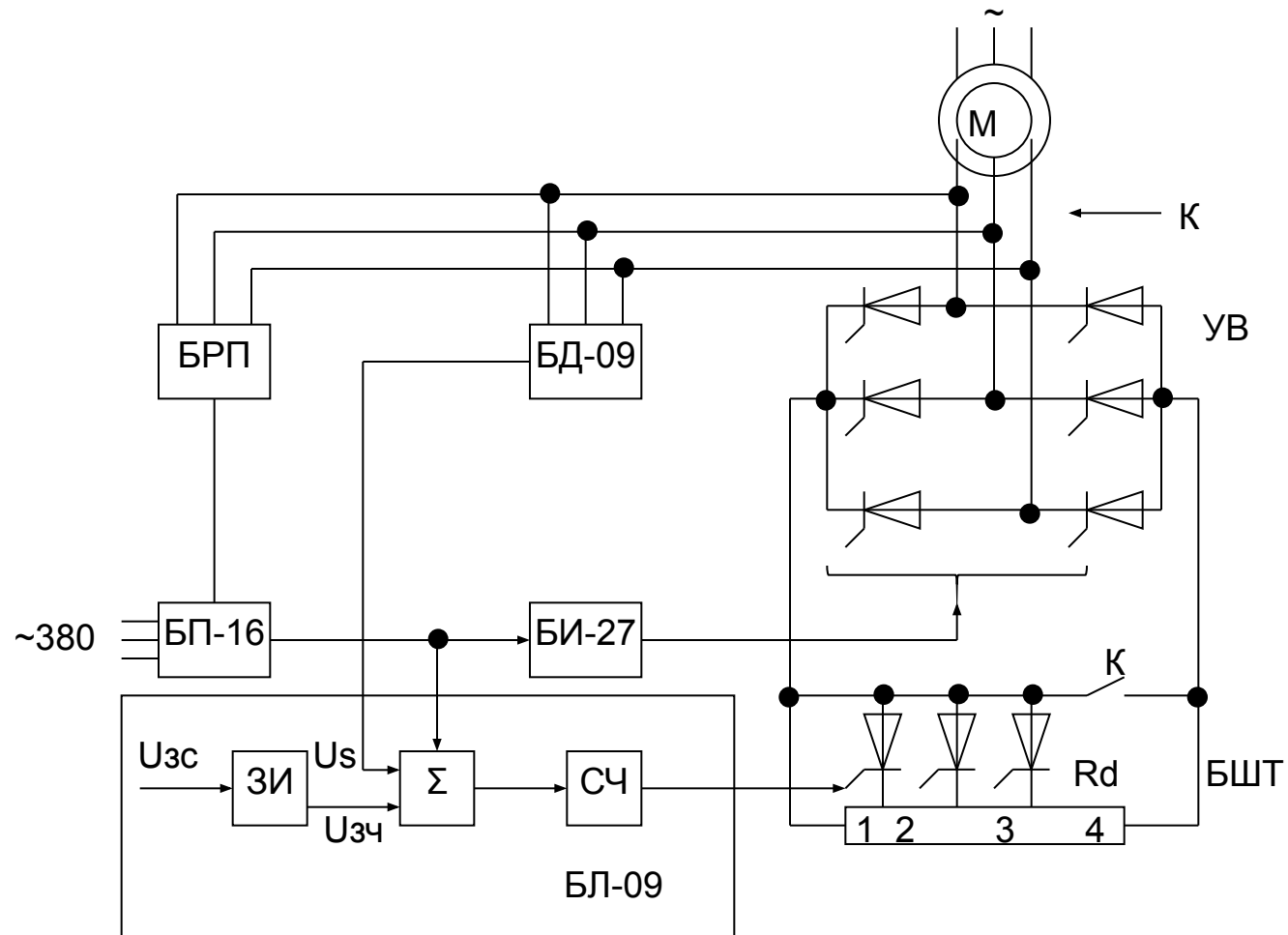
$$F_{\text{н}} e^{\mu \alpha} \Delta S \leq mc(t_{\text{разр}} - t_0),$$

откуда допустимый путь пробуксовки определяется по выражению:

$$\Delta S_{\text{доп}} \leq \frac{mc(t_{\text{разр}} - t_0)}{F_{\text{н}} e^{\mu \alpha}}$$

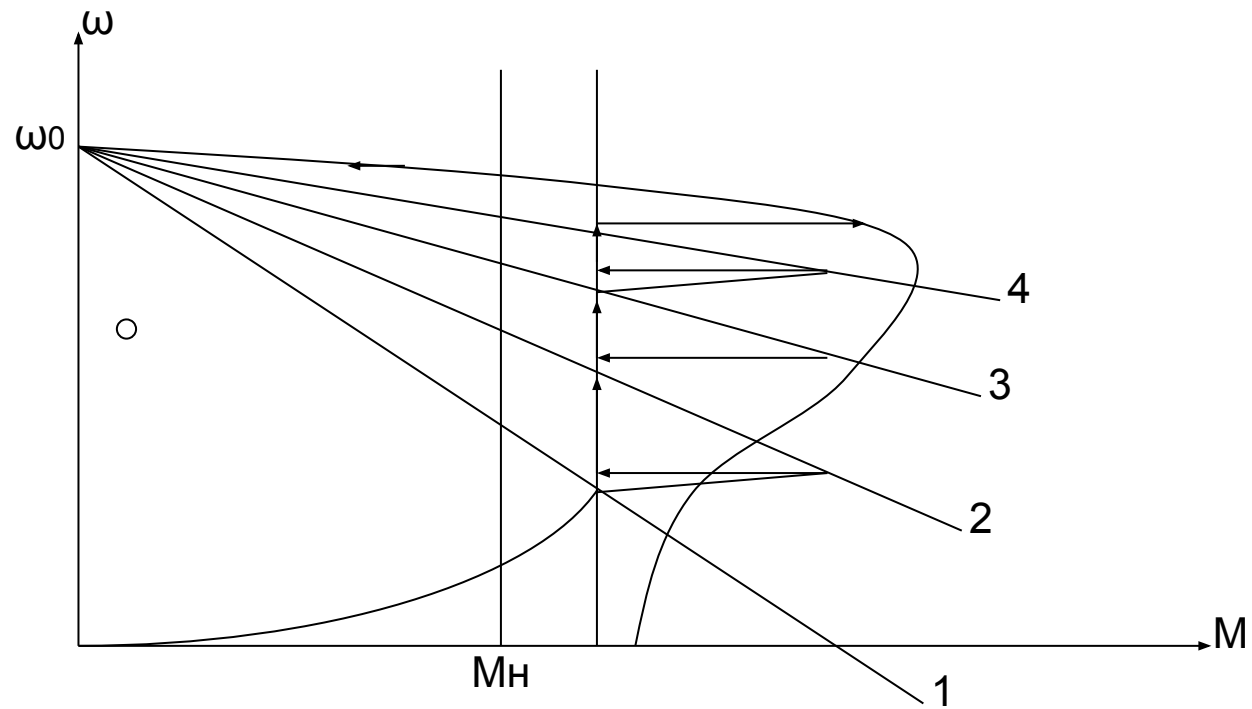
Приведённые математические зависимости, описывающие процесс буксования, указывают на возможные пути реализации системы управления, контролирующей этот процесс.

Расчет характеристик асинхронного ЭП с фазовым управлением в цепи ротора для конвейера



Блок-схема УПТФ

Расчет характеристик асинхронного ЭП с фазовым управлением в цепи ротора для конвейера



Пусковые характеристики асинхронного
привода конвейера при пуске



Worsley (Aluminium), Australia

Total length 51 km
Power 15 MW
Operational speed range 800–1000 rpm
Overload during starting 140 %
Power factor > 0.95
Extension with MCCP in 2011

Ujina-Rosario Transition

Compania Minera Dona Ines de Collahuasi (Crusher), Chile

Altitude: 4000 m.a.s.l.
4 x Up and down hill conveyor
Power 24 MW
Operational speed range 800–1000 rpm
Overload during starting 150 %
Power factor > 0.95

Aitik36

