

УДК 622.647-52

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ БЕЗАВАРИЙНОЙ РАБОТОЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Тимашева В.С., студент, Ткаченко А. Е., старший преподаватель  
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

Ленточные конвейеры способны осуществлять непрерывное транспортирование грузов на большие расстояния, что по технологическим причинам обуславливает их незаменимость на шахтах и рудниках. Именно поэтому, особое значение приобретает вопросы надежной и безопасной эксплуатации конвейерных линий.

Контролировать технологические параметры ленточных конвейеров необходимо как для обеспечения непрерывной и безаварийной работы конвейера, так и для выдерживания необходимой производительности конвейера (контроль погонной нагрузки на ленту).

В качестве примера, рассмотрим конструкцию и оборудование, установленное на уклонном ленточном конвейере 2ЛУ120 [1] (см. рис.1). Приводная станция выполнена пятибарabanной, причем оба приводных барабана охватываются чистой (нерабочей) стороной ленты. Приводные барабаны конвейера вращаются двумя приводными блоками, каждый из которых состоит из двух короткозамкнутых двигателей мощностью по 250кВт с гидромуфтами ГПП500, обеспечивающие необходимую плавность пуска конвейера, редуктора ЦДН710 и колодочного тормоза ТКГ500 с приводом от электромагнита.

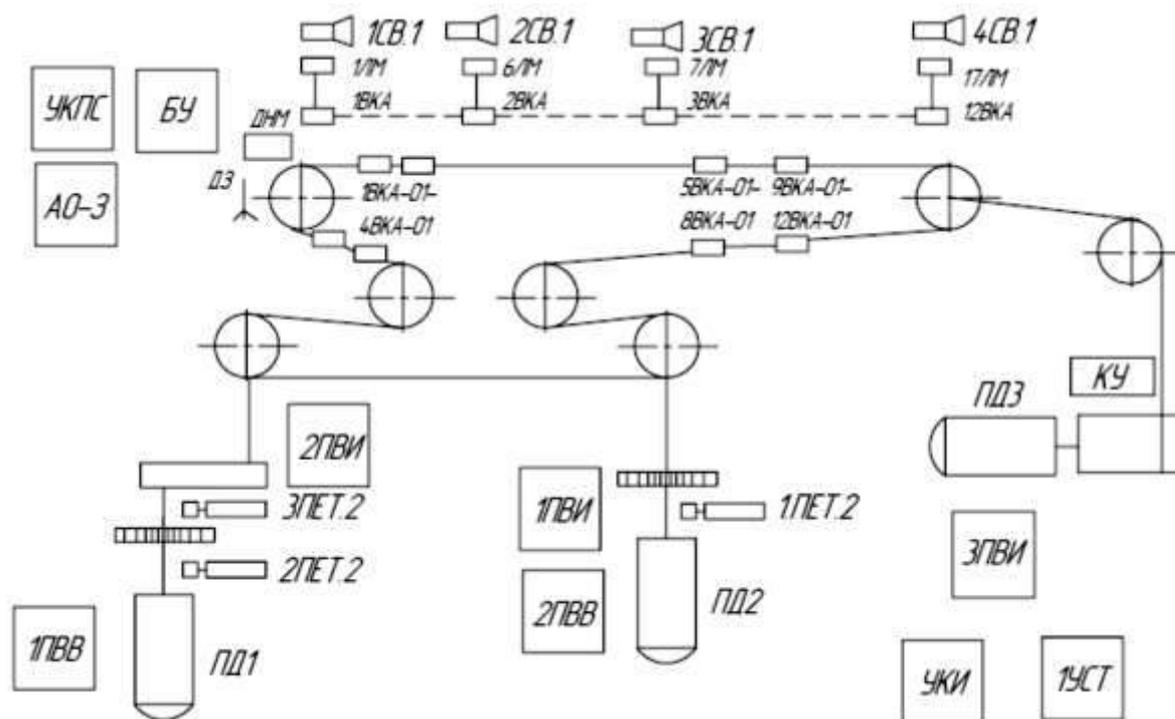


Рисунок 1 - Схема размещения электрооборудования на ленточном конвейере

Первый по ходу ленты барабан оборудован храповым остановом, что удерживает нагруженную ветвь ленты от обратного хода при остановке конвейера в аварийных случаях, когда по какой-либо причине не срабатывают колодочные тормоза. Став конвейера состоит из двух параллельных канатов, натянутых вдоль трассы конвейера, переходных, линейных и натяжных стоек, верхних роликоопор и нижних роликов. Натяжная секция является хвостовой частью конвейера. Натяжной барабан смонтирован на раме, имеет четыре катка, на которых она перемещается по направляющим рельсам. Натяжение ленты осуществляется

электрической лебедкой, которая канатом через систему блоков связана с рамой натяжного барабана. Конвейеры предназначены для выработка с углом наклона  $10^0$  и более, оснащаются ловителями ленты для верхней и нижней ветвей.

В состав электрооборудования конвейера входит БУ - блок управления конвейером с датчиком заштыбовки ДЗ, 1УСТ - устройства сигнализации и телефонной связи; УКПС - устройство контроля проскальзывания и скорости ленты; УКИ - устройство контроля и информации, содержащей релейный блок БР, блок сигнализации БИ, линейные модули 1ЛМ - 17ЛМ; АО-3 - аппаратура автоматизации орошения на перегрузках, в которой входит ДНМ - датчик наличия материала; 1ПВВ, 2ПВВ - пускатели ПВВ320 привода конвейера, 1ПВЫ - пускатель ПВИ-63БТ тормозов; 2ПВЫ - пускатель ПВИ 63БТ храпового останова; 3ПВЫ - пускатель ПВ-63БТ лебедки натяжения ленты; ПД1, ПД2 - двигатели привода конвейера; ПД3 - двигатель лебедки натяжения ленты; 1ПЕТ.2 - 2ПЕТ.2 - электромагнитные приводы тормозов конвейера; 3ПЕТ.2 - электромагнитный привод храпового останова; 1.СВ.1 - 11.СВ.1 - звуковые сигнализаторы; 1ВКА - 12ВКА - аварийные выключатели экстренной остановки конвейера; 1ВКА-01 - 12ВКА-01 - аварийные выключатели контроля схода ленты; КУ - кнопочный пост управления натяжным лебедкой в местном режиме [1].

Анализ пожаров в шахтах на ленточных конвейерах показывает, что возгорание конвейерных лент возможно от двух групп источников зажигания: внешних источников, образующихся при воспламенении шахтного деревянного крепления, угля или других горючих предметов при нахождении конвейера в зоне горения и источников непосредственно на конвейерах, образующихся при работе последних, в основном от трения ленты на барабанах, неисправных роlikоопорах и т.д. [2].

Поскольку главной причиной возникновения возгорания на конвейере является пробуксовка ленты, наличие данного негативного явления необходимо контролировать. Оно может иметь место при выработки футеровки приводных барабанов и при недостаточном натяжении ленты. При пробуксовке теряется механическая связь ленты с барабаном, движение ленты может остановиться, тогда как барабан продолжает вращаться, интенсивно стирать поверхность ленты с образованием мелкодисперсных фракций. Эти фракции и пыль оседают внизу барабана от трения нагревается. Нагревание этих частиц вызывает в начальной стадии тление, а затем и возгорание при температуре  $100 - 150^0\text{C}$ . Следовательно, необходимо контролировать и температуру нагрева приводного барабана. Контролируемый диапазон измерения данного параметра должна составлять  $20 - 90^0\text{C}$  [2].

Разрабатываемая система автоматического управления ленточных конвейеров должна обеспечивать устойчивую, безаварийную работу ленточных конвейеров. При этом одной из важнейших задач, которая должна решаться при автоматизации конвейерной установки является обеспечение нормального сцепления ленты с каждым приводным барабаном, которое предупреждает нагрев и износ ленты, а также перегрузки приводных двигателей. Рассмотрим условия нормального функционирования магистрального ленточного конвейера без пробуксовки на примере двубарабанной конвейерной установки.

С целью обеспечения надежной работы приводных устройств часто при расчетах вводится коэффициент запаса по дуге покоя (коэффициент запаса сил трения). Однако для футерованных барабанов существенная часть тягового усилия передается на дуге относительного покоя и, следовательно, можно выбрать такие параметры футеровки, при которых дуга скольжения вообще отсутствует. Поэтому в практических расчетах рекомендуется пользоваться понятием коэффициента запаса как «коэффициента запаса по тяговой способности», формально учитывающий соотношение тягового фактора привода и натяжения ленты в установившемся режиме работы, то есть [3]:

$$K_m = e^{\mu\alpha} S_{сб} S_{нб}^{-1}, \quad (1)$$

где  $S_{сб}$  – натяжения ветви ленты конвейера, сбегавшей с привода,  $S_{нб}$  – натяжения ветви ленты конвейера, набегавшего на привод,  $\mu$  – коэффициент сцепления,  $\alpha$  – угол охвата лентой приводного барабана.

Нормальное сцепление ленты с приводными барабанами обеспечивается, если коэффициент запаса по тяговой способности на приводной станции больше единицы. Однако при этом возможен режим, когда только один из барабанов ведет ленту без пробуксовки, а на втором наблюдается существенная разница между линейной скоростью обода барабана и скоростью ленты. Наличие пробуксовки только на одном приводном барабане указывает на то, что требуемое суммарное тяговое усилие распределяется между барабанами нерационально и не равно его расчетному значению.

В двухбарабанных отдельных приводах распределение окружных усилий между барабанами связано с механическими характеристиками двигателей и зависит от их жесткостей, твердости ленты и от относительной разницы приведенных радиусов барабанов. В условиях эксплуатации отклонения параметров, принятых при расчете, носит случайный характер. Поэтому при проектировании ленточных конвейеров с двух-барабанным отдельным приводом необходимо использовать вероятностную оценку распределения нагрузки между приводами.

Коэффициент запаса по тяговой способности для станции в целом и для каждого приводного барабана находится в функциональной зависимости от тягового усилия привода  $W$ , на притяжение ветви, которое сбегает с привода  $S_{сб}$  и действующего коэффициента распределения нагрузки между приводными барабанами  $K_{р0}$ . Эти зависимости определяются следующим выражением [4], [5]:

$$\begin{aligned} K_m &= e^{\mu\alpha} [W/S_{сб} + 1]^{-1}; \\ K_{m1} &= e^{\mu\alpha_1} / K_{р0} K_{m2} W [(K_{р0} + 1)e^{\mu\alpha_2} S_{сб}]^{-1} + 1; \\ K_{m2} &= e^{\mu\alpha_2} / W [(K_{р0} + 1)S_{сб}]^{-1} + 1; \end{aligned} \quad (2)$$

Натяжение ветви сбегющей с привода ленты изменяется или остается постоянным в зависимости от типа натяжного устройства. Оптимальное расчетное значение коэффициента распределения нагрузки определяется выражением:

$$K_{р0} = e^{\mu\alpha_2} (e^{\mu\alpha_1} - K_{mn1}) \cdot [K_{mn1} (e^{\mu\alpha_2} - K_{mn2})]^{-1} \quad (3)$$

где  $K_{mn1}, K_{mn2}$  - коэффициенты запаса по тяговой способности для приводных барабанов в номинальном режиме.

Принимая механические характеристики двигателей на рабочих участках линейными, пренебрегая упругим последствием ленты и сопротивлением движению на участке между приводными барабанами, а также заменяя возможные абсолютные отклонения скольжений двигателей и диаметров приводных барабанов их относительными величинами, получим следующее выражение для истинного коэффициента распределения нагрузки:

$$K_{рд} = K_p S_{n2} (1 \pm \Delta S_{n2} \pm \Delta D_2) [S_{n1} (1 \pm \Delta S_{n1} \pm \Delta D_1) + \varphi_1 / E_0]^{-1}$$

где  $K_p = W_1/W_2 = M_{n1}/M_{n2}$  - коэффициент расчетного распределения нагрузки;  $S_{n1}, S_{n2}$  - номинальные скольжения двигателей соответственно первого и второго приводных блоков;  $\Delta S_{n1}, \Delta S_{n2}$  - относительные величины возможных отклонений скольжений двигателей от номинальных значений;  $\Delta D_1, \Delta D_2$  - Относительные величины возможных отклонений диаметров приводных барабанов от принятых расчетных значений.

Анализ условий реализации тягового усилия для различных схем привода показывает, что истинное значение коэффициента распределения нагрузки для двухбарабанных приводов мощных ленточных конвейеров может значительно отличаться от расчетного. Такое отклонение распределения нагрузки может вызвать срыв сцепления на одном из приводных барабанов даже при нагрузке, меньшей номинальной. Чтобы не допустить срыва сцепления на приводных барабанах, необходимо увеличивать значение коэффициента запаса по тяговой способности для приводной станции в целом в номинальном режиме  $K_{mn}$ . Однако

вероятность того, что выбранные действительные значения отклонений параметров привода от номинала соответствуют предельным величинам, достаточно мала.

Соотношение натяжения, которое обеспечивает работу конвейера при номинальной загрузке без пробуксовки, следует определять из выражения [5]:

$$S_{нб} / S_{сб} = e^{(\mu_1 \alpha_1 + \mu_2 \alpha_2)} / K_{тн}$$

где  $\mu_1, \mu_2$  - минимальное гарантированное значение коэффициентов сцепления соответственно на первом и втором приводных барабанах в худших условиях эксплуатации;  $K_{тн}$  - значение коэффициента запаса по тяговой способности для приводной станции в целом в номинальном режиме работы при полной загрузке ленты выбирается таким образом, чтобы обеспечить максимальную вероятность работы привода без пробуксовки. При больших значениях коэффициента сцепления ленты с барабаном нужен большой запас по тяговой способности [5]. Если требуемое значение коэффициента  $K_{тн}$  требует значительного снижения длины конвейера, а по условиям эксплуатации возможно допустить его работу с пробуксовкой, требуемое значение этого коэффициента можно уменьшить. Однако при этом необходимо принимать меры по снижению амплитуды колебаний, возникающих в электромеханической системе конвейера при срыве сцепления на одном из приводных барабанов.

Характер колебаний, возникающих в электромеханической системе конвейера, можно объяснить следующим образом. В силу того, что рабочий участок механической характеристики асинхронного двигателя имеет наклон, при срыве сцепления на одном из приводных барабанов увеличивается скорость этого барабана. При этом уменьшается момент, передаваемый двигателем приводному барабану и ленте. Потому что суммарная нагрузка на двигателе не меняются, снижение момента на одном приводном барабане вызывает увеличение момента на втором, а «передача» нагрузки осуществляется только за счет натяжения промежуточного участка ленты между приводными барабанами. При срыве сцепления на барабане величина момента двигателя уменьшается настолько, что создаются условия для сцепления ленты с барабаном. Процесс сопровождается снижением скорости обода барабана до скорости ленты и увеличением нагрузки двигателя. В силу инерционности двигателя нагрузка снова примет значение, при котором произойдет срыв сцепления, и повторится процесс, описанный выше, то есть возникнут устойчивые колебания (автоколебания). Наличие такого процесса на одном из приводных барабанов может быть передано в другой, потому что они соединены упругой лентой. Тогда вся система двухбарабанного раздельного привода будет работать в колебательном режиме, что особенно опасно для двигателей, трансмиссии привода и ленты. Параметры автоколебательного процесса зависят не только от характеристик, определяющих тяговую способность ( $\mu, \alpha, S_{нб}, S_{сб}$ ), но и от электромеханической характеристики двигателя и упругодеформирующих свойств системы в целом.

Для повышения устойчивости системы необходимо, например, уменьшать значения твердости. Этого можно добиться, например, увеличивая расстояние между приводными барабанами, но такое решение потребует значительного увеличения (в 100 и более раз) этого расстояния.

С другой стороны, положительный эффект может быть получен введением устройства автоматического регулирования натяжения конвейерной ленты для предупреждения срыва сцепления путем повышения коэффициента сцепления  $\mu$ .

Как следует, из [5] при разработке подобного автоматического устройства необходимо учитывать: для обеспечения безпробуксовочной работы привода в номинальном режиме коэффициент запаса по тяговой способности для приводной станции в целом должен выбираться с учетом закономерностей случайного распределения нагрузки, минимального гарантированного значения коэффициента сцепления ленты с барабанами и углов охвата; для исключения возникновения пробуксовки, если стоимость ленты и другие факторы не позволяют обеспечить его работу без пробуксовки в номинальном режиме, необходимо внедрять систему автоматического регулирования натяжения ленты. Данная система должна

осуществлять автоматическую стабилизацию сцепления ленты с барабаном, а также аварийные отключения и блокировки при возникновении опасности воспламенения.

Целевой функцией управления разрабатываемой САУ является обеспечение наименьшего отклонения скорости движения ленты от скорости приводного барабана:

$$\delta = \frac{\mathcal{G}_b - \mathcal{G}_c}{\mathcal{G}_b} \rightarrow 0, \quad (4)$$

где  $\mathcal{G}_b$  – линейная скорость движения внешнего обода приводного барабана;

$\mathcal{G}_c$  – линейная скорость движения ленты.

Как отмечено выше, скорость движения ленты находится в функциональной зависимости от многих факторов:

$$\mathcal{G}_c = f(S_{cb}, \mu, \alpha, W), \quad (5)$$

где коэффициент сцепления  $\mu$  зависит от совокупности внешних факторов, влияющих  $\xi_1 \dots \xi_n$  (например влажность, состав материала ленты, степень износа) и меняется со временем  $t$ :

$$\mu = f(t, \xi_1 \dots \xi_n). \quad (6)$$

Угол охвата лентой приводного барабана  $\alpha$  является величиной постоянной для конкретной конвейерной установки:

$$\alpha = const. \quad (7)$$

Тяговое усилие повода  $W$  зависит от массы угля  $M_{yz}$ , которую на данный момент времени транспортирует конвейер и меняется со временем:

$$W = f(M_{yz}, t). \quad (8)$$

Согласно выражению (5) скорость движения ленты в определенном диапазоне можно регулировать степенью натяжения ленты  $S_{cb}$ , путем выдачи управляющего сигнала на натяжную станцию. Однако данный параметр должен лежать в пределах границ, обусловленных технической характеристикой конвейерной установки, поэтому на целевую функцию (4) необходимо наложить ограничения:

$$S_{cb.min} \leq S_{cb} \leq S_{cb.max}. \quad (9)$$

Таким образом, в данной работе были определены критерии управления устойчивой, безаварийной работы магистральных ленточных конвейеров, поставлена целевая функция управления для САУ конвейерной установкой, а также приведены налагаемые ограничения. Разрабатываемая САУ должна функционально дополнять базовую аппаратуру автоматизации и согласованно работать вместе с ней.

#### Перечень ссылок

1. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта/Стадник Н.И. и др. К.: Техника, 1992. - 438с.
2. Взрывопожаробезопасность горного оборудования/ С.П. Ткачук, В.П. – К.: 2000
3. Матюшина А.Г. Исследование работы ленточного конвейера с двухбарабанным приводом.//ЦНИИТЭИтяжмаш. М.: Моск. Горн. Ин-т, 1980, с.34-39.
4. Матюшина А.Г. Влияние разброса параметров двухбарабанного раздельного привода на распределение загрузки между приводными барабанами.//ЦНИИТЭИтяжмаш. М.: Моск. Горн. Ин-т, 1980, с.20-25.:
5. Запенин И.В., Матюшина А.Г. «Теория распределения нагрузки между приводными барабанами двухбарабанной приводной станции»./Ленточные конвейеры в горной промышленности. М.: Недра, 1982, с. 178-189.