

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗКОЙ МАГИСТРАЛЬНОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИИ

Боровикова А. П., магистрант; Маренич К. Н., зав. каф., д.т.н., проф.;

Ткаченко А. Е., ст. преп.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Современные подземные конвейерные линии характеризуются значительной протяженностью и разветвленностью транспортных магистралей, изменяющих со временем свои параметры: длину, топологию и т.п. [1]. Характерной особенностью шахтных конвейерных линий является высокая неравномерность грузопотока, вызванная фактом обслуживания очистного и подготовительного забоев. Именно технологические паузы в работе механизмов (аварийная остановка лавы, циклическая работа очистных комбайнов и т.п.) являются причиной переменного грузопотока. Неравномерность поступления груза ведет к нерациональному использованию мощности привода (при недогрузке), а также чрезмерному износу тягового органа и снижению надежности АД (при перегрузе) [2]. В настоящее время существует два способа стабилизации нагрузки на конвейерную установку: регулирование частоты вращения приводного электродвигателя конвейера и применение промежуточных накопительных бункеров.

С одной стороны, использование частотно-регулируемого привода имеет ряд спорных моментов: диапазон регулируемой частоты для конвейеров ограничен и не приводит к экономии энергии; при уменьшении частоты вращения надо обеспечить рабочий момент на валу двигателя, к тому же длительная работа в режиме пониженных частот приведет к принудительному охлаждению, как двигателя, так и преобразователя. Помимо этого данный подход не позволяет обеспечить выравнивание грузопотока для последующих конвейеров в линии, что требует применения регулируемых приводов на каждом конвейере. Однако данный метод позволяет оперативно стабилизировать нагрузку на тяговый орган установки.

С другой стороны, целесообразно регулировать не производительность самого конвейера, а поступающий на него грузопоток, приближая его к номинальному значению, тем самым предотвращая режим холостого хода и увеличивая КПД конвейерной установки. Это может быть достигнуто за счет применения аккумулирующих бункеров (бункеров-питателей), объем, и производительность которых будут определять, и выравнивать грузопоток на забункерной конвейерной линии. Для учета производительности бункера необходимо знать состояние его загрузки (уровень угля в бункере). Зная этот параметр, а также массу породы на ленте забункерного конвейера, можно обеспечить равномерное распределение погонной нагрузки на ленту забункерного конвейера за счет регулирования положения шиберного затвора бункера.

Очевидно, что наибольшую глубину регулирования грузопотока, стабилизацию нагрузки на ленту каждого конвейера в линии, и, соответственно, бесперебойность и безаварийность работы конвейерных линий можно получить комбинируя эти два способа. Следовательно, целью данной разработки является повышение эффективности и надежности конвейерного транспорта за счет снижения неравномерности нагрузки на магистральные конвейера.

Объект автоматизации, представляет собой конвейерную линию с аккумулирующим бункером-питателем. Участковая конвейерная линия состоит из трех ленточных конвейеров типа 2Л-80у с протяженностью каждого конвейера 300 м и шириной ленты 800 мм. Участковая конвейерная линия предназначена для транспортирования породы, поступающей от добычного участка, непосредственно в аккумулирующий бункер-питатель. Бункер-питатель, в свою очередь, применяется типа ШМ-50 объемом 50 м³. Магистральная конвейерная линия состоит из двух ленточных конвейеров типа 2Л-100у с протяженностью

каждого конвейера 400 м и шириной ленты 1000 мм. Магистральная конвейерная линия предназначена для транспортирования породы, поступающей из бункера-питателя, непосредственно к погрузочному пункту. На рисунке 1 приведена технологическая схема стабилизации грузопотока конвейерной линии с помощью промежуточной емкости бункер-питатель.

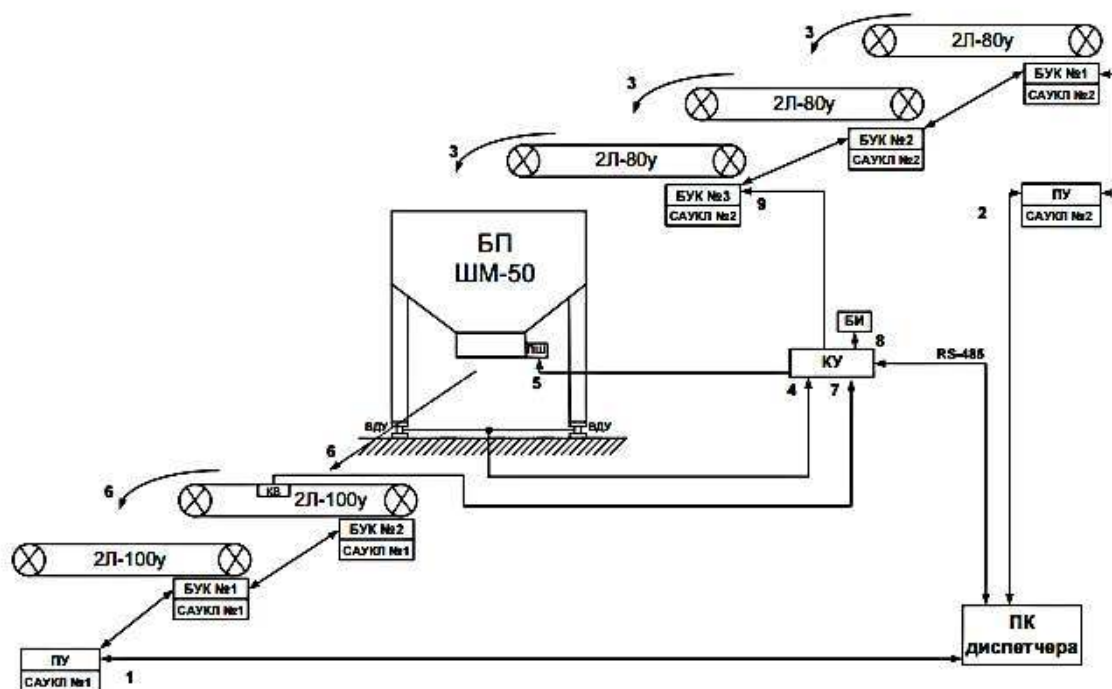


Рисунок 1 – Технологическая схема стабилизации грузопотока конвейерной линии с помощью промежуточной емкости бункер-питатель

Принцип работы автоматизированной системы заключается в следующем: с ПК диспетчера шахты подается сигнал 1 на пульт управления (ПУ) системы САУКЛ №1 на включение магистральной конвейерной линии. Затем аналогичным образом подается сигнал 2 на ПУ системы САУКЛ №2 на включение участковой конвейерной линии. Следующим этапом процесса является включение в работу самого координирующего устройства стабилизации грузопотока конвейерной линии (КУ). Включение данного устройства происходит с ПК диспетчера шахты через интерфейс RS-485. Затем горная масса 3, поступающая от добычного участка, с помощью участковой конвейерной линии транспортируется в аккумулирующий бункер-питатель. Под опорами бункера-питателя БП устанавливаются тензометрические преобразователи ВДУ, которые преобразуют силу тяжести бункера с заполняющим его материалом в электрический сигнал. Этот сигнал 4 (информация о состоянии загрузки бункера) поступает на координирующее устройство, где данный сигнал анализируется, а также анализируется сигнал 7, поступающий с конвейерных весов забункерного магистрального конвейера о состоянии загрузки ленты, и затем выдается команда 5 на открытие/закрытие шибера бункера. Далее стабилизированный грузопоток 6 с помощью магистральной конвейерной линии транспортируется к погрузочному пункту. Следует отметить, что благодаря встроенному в координирующее устройство блоку индикации БИ, можно на наглядном примере получать информацию о состоянии шибера бункера (открыт/закрыт), а также о достижении аварийного уровня угля в бункере. В случае, если уровень угля в бункере достиг аварийного, а шибер бункера полностью открыт, то с координирующего устройства поступает сигнал 9 на блок управления третьего конвейера БУК №3 на отключение участковой конвейерной линии с последующим оповещением диспетчера шахты об аварии.

Структурная схема координирующего устройства стабилизации грузопотока конвейерной линии имеет вид, представленный на рисунке 2.

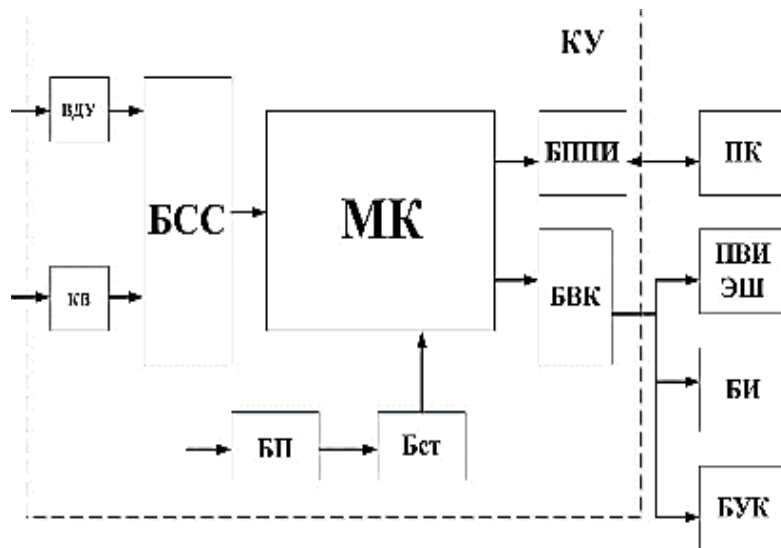


Рисунок 2 – Структурная схема координирующего устройства стабилизации грузопотока конвейерной линии: ВДУ – весовые датчики уровня; КВ – датчик конвейерные весы; БП – блок питания; Бст – блок стабилизации; МК – микроконтроллер; БСС – блок согласования входных сигналов; БВК – блок выводных контактов; БПИИ – блок приема и передачи информации; ПК – персональный компьютер диспетчера шахты; БУК – блок управления конвейером; БИ – блок индикации; ПВИ ЭШ – пускатель электродвигателя шибера

Параллельно с разработкой системы автоматического регулирования грузопотока следует решить вопрос синтеза регулятора скорости движения конвейерной ленты для возможности изменения данного параметра пропорционально поступающему грузопотоку. Задача решается в классе линейных оптимальных регуляторов. В качестве критерия управления принят квадратичный функционал, который интегрально характеризует качество переходных процессов и величину энергетических затрат на движение:

$$I = 0,5 \int_0^{\infty} [X^T(t)QX(t) + U^T(t)RU(t)]dt, \quad (1)$$

где Q и R - положительно определенные симметричные матрицы. Согласно методу Летова А.М. оптимальное управление $U(t)$ находится в линейной форме от вектора координат состояния системы:

$$U^*(t) = -KX(t), \quad (2)$$

в которой матрица обратных связей, $K=R^{-1}B^TP$, а искомая положительно определенная матрица P находится из алгебраического уравнения Риккати:

$$PA + A^TP - PBR^{-1}B^TP + Q = 0. \quad (3)$$

Для реализации метода синтеза, применим следующее математическое описание ленточного конвейера:

$$\dot{X}(t) = \tilde{A}X(t) + \tilde{B}_1U_1(t) + \tilde{F}\mu(t), \quad (4)$$

где $U_1(t)$ - движущий момент привода, управляющее воздействие, $\mu = \begin{bmatrix} U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$ - вектор возмущающих воздействий, $\tilde{F} = [\tilde{B}_2 \quad \tilde{B}_3]$.

Структурная схема системы автоматического регулирования скорости движения ленты конвейера приведена на рисунке 3 [3].

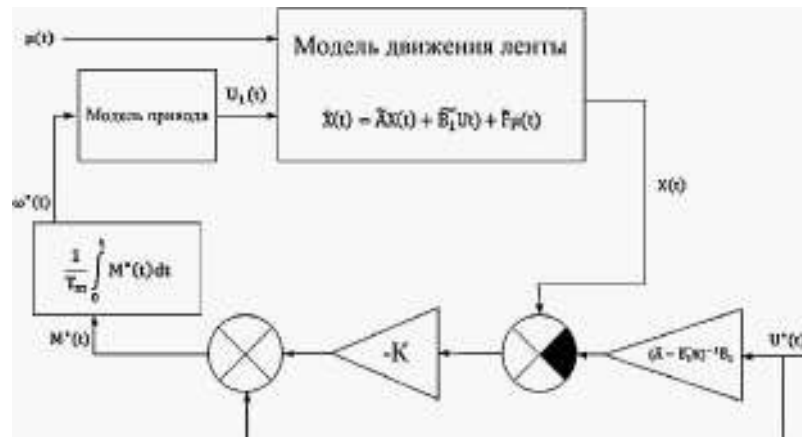


Рисунок 3 – Структурная схема оптимального регулирования скорости движения ленты конвейера

Для регулирования скорости движения ленты конвейера найдем задание по управлению частотно-регулируемому приводу соответствующее требуемой частоте вращения $\omega_{зад}(t)$. Регулятор скорости вырабатывает искомое задание управления $U^*(t)$ пропорциональное движущему моменту привода, поэтому осуществлен переход к сигналу задания путем интегрирования сигнала управления:

$$\omega_{зад}(t) = \frac{1}{T_m} \int_0^{\infty} M^*(t) dt . \quad (5)$$

Поскольку желаемым состоянием системы управления скоростью движения ленты является движение с заданной скоростью (так называемое равновесное состояние "Заданная точка пространства состояний, не совпадающая с началом координат"), то следует найти управление позволяющее стабилизировать состояние объекта в "заданной точке":

$$U(t) = -KX(t) - K(\tilde{A} - \tilde{B}_1 K)^{-1} \tilde{B}_1 U^*(t) + U^*(t). \quad (6)$$

При переходе с одной скорости движения на другую переходной процесс имеет аperiodический характер. Изменение скорости массы ленты, расположенной в хвосте конвейера, происходит с задержкой в 4 с, связанной с ограниченной скоростью распространением упругих волн в ленте. Исходя из результатов моделирования, изложенных в работах [3, 4], нецелесообразно изменять скорость движения ленты чаще, чем через 20 с, пока в объекте управления не закончатся переходные процессы, так как это приведет к колебательным процессам в системе. А при шаге сигнала задания, не более чем на 10% от предыдущего значения изменять скорость нецелесообразно, так как ошибка при этом не превысит допустимого значения, а количество переходных режимов в системе уменьшится. При непрерывном регулировании скорости движения ленточного конвейера натяжения на приводном барабане постоянно меняются, и возможны случаи, когда соотношение между натяжениями на набегающей и сбегающей ветвях не отвечает соотношению Эйлера:

$$S_4 \leq S_1 E^{\mu\alpha}, \quad (7)$$

где S_4 - натяжение на набегающей, грузовой ветви, S_1 - натяжение набегающей, порожней ветви, α - угол обхвата барабана лентой, μ - коэффициент сцепления ленты с барабаном.

Нарушение соотношения приводит к возникновению на приводном барабане пробуксовки, которая приводит к интенсивному нагреву ленты, увеличивает износ ленты и вызывает аварийные ситуации. Устранить пробуксовку можно путем изменения натяжения на сбегающей ветви S_1 , используя автоматическое натяжное устройство и регулируя перемещение каретки натяжного устройства таким образом, чтобы соотношение Эйлера выполнялось постоянно [4]. Автоматическое натяжное устройство должно поддерживать заданное значение натяжения в процессе пуска, установившегося движения и торможения

конвейера. Для этой цели в системе регулирования скорости следует ввести дополнительный контур стабилизации тяговой способности привода. Структурная схема системы имеет вид, представленный на рисунке 4.

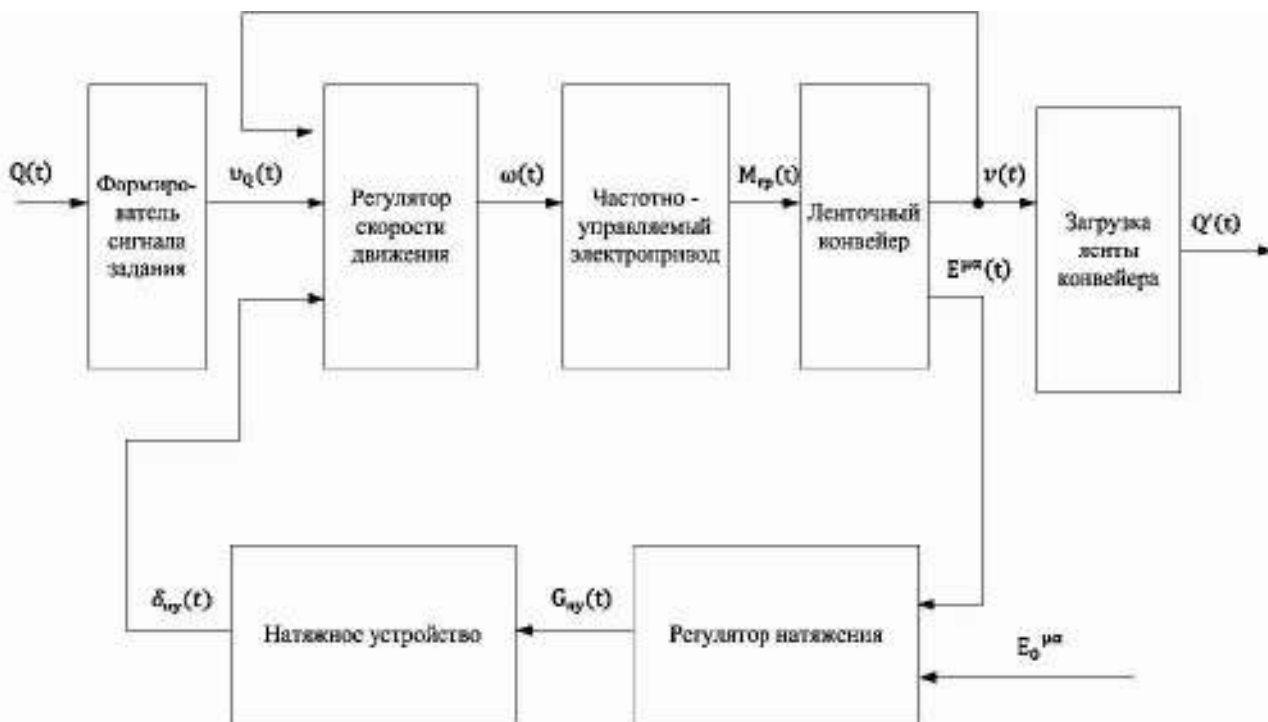


Рисунок 4 – Структурная схема двухконтурной системы стабилизации погонной нагрузки ленточного конвейера

В схеме приняты следующие обозначения: $Q(t)$ - текущая величина грузопотока, $v_Q(t)$ - скорость, пропорциональная величине грузопотока, $M_{пр}(t)$ - движущий момент привода, $v(t)$ - текущая скорость движения ленты, $\omega(t)$ - частота вращения ротора привода, $G_{тяг}(t)$ - текущий вес натяжного устройства, $E^{тяг}(t)$ - текущее значение тягового фактора, $E_0^{тяг}$ - заданное значение тягового фактора, $\delta_{тяг}(t)$ - ход натяжного устройства.

Вывод: выполненное исследование дало новое решение актуальной научно-технической задачи повышения эффективности работы ленточных конвейеров горных предприятий путем автоматической стабилизации погонной нагрузки, повышение эффективности эксплуатации конвейерного транспорта на горных предприятиях за счет снижения холостого пробега ленты, уменьшения износа ленты и роликов, снижения коэффициента запаса прочности ленты, увеличения срока службы ленты и снижения энергопотребления.

Перечень ссылок

1. Брагин, В. В. Формирование грузопотоков угля из комплексно-механизированных забоев / В. В. Брагин, А. Л. Шевелев, Л. Д. Ларичкин // Сб. научных трудов ассоциации «Кузбасуглетехнология». – №5. – 1992. – С. 16 – 29.
2. Малиновский, А. К. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников / А. К. Малиновский. – Москва : Недра, 1987. – 280 с.
3. Дмитриева, В. В. Математическая модель магистрального конвейера как объекта управления и автоматизации / В. В. Дмитриева // Горные машины и автоматика / Московский государственный горный университет. – Москва, 2001. - №7. – С. 57 – 65.
4. Дмитриева, В. В. Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера / В. В. Дмитриева, Л. Д. Певзнер // Московский государственный горный институт. – Москва : Препринт, 2004. – 25 с.