

# ОБОСНОВАНИЕ НОВОГО СПОСОБА УПРАВЛЕНИЯ РАЗВЕТВЛЕННОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ЛИНИЕЙ

Мельникова А.П., Оголобченко А.С. Донецкий национальный технический университет

## 1 Анализ способов автоматического управления разветвленной конвейерной линией

Оптимальное управление по критерию «минимальное время простоев добычных участков» достигается за счет предельного использования аккумулярующей способности линии, находящейся в зоне отказа. Предельное использование аккумулярующей способности линии, находящейся в зоне отказа, достигается путем применения следующих способов.

1. Регулирование скорости ленты, обеспечивающее использование ее аккумулярующей способности за счет стабилизации погонной нагрузки на уровне номинального значения. Способ позволяет использовать аккумулярующую способность участков конвейерной ленты, не полностью загруженных в периоды непрерывных реализации забойного грузопотока при работе конвейеров в нормальном режиме на номинальной скорости. Параметры регулирования каждого принимающего груз конвейера определяются системой автоматического слежения за состоянием грузопотока на основании информации, формируемой в пределах измерительного интервала смежного подающего конвейера.

2. Синхронизация моментов пуска (останова) конвейера с моментами поступления (прекращения поступления) груза на его ленту. Способ позволяет уменьшить среднюю скорость продвижения груза к точке отказа за счет отключения линии в интервалах отсутствия забойного грузопотока, частично или полностью использовать аккумулярующую способность свободных участков конвейерной ленты, не загруженных в периоды отсутствия забойного грузопотока при работе конвейеров в нормальном режиме на номинальной скорости.

Степень использования аккумулирующей способности ленты зависит от фактического состояния загрузки части линии, находящейся между забоем и точкой отказа, т. е. в зоне отказа. Принципиально использование аккумулирующей способности ленты возможно, если на линии, находящейся в зоне отказа, имеется (в данный момент) свободный участок ленты в головной части хотя бы одного конвейера. Следует отметить, что данный способ автоматического определения последовательности и начальных моментов времени пуска (останова) конвейеров является наиболее общим и охватывает все другие известные способы, которые можно рассматривать как частные (ограниченные) варианты этого способа. Для реализации данного способа управления необходима информация о фактическом расположении груза по длине каждого конвейера линии. Если система управления располагает ограниченной информацией, например, «конвейерная линия загружена — конвейерная линия не загружена», то в этом случае возможна реализация только частных вариантов данного способа:

при загруженной конвейерной линии — пуск против грузопотока (классический вариант), ускоренный пуск, одновременный регулируемый пуск;

при незагруженной линии — пуск каждого конвейера в момент поступления груза на его ленту.

Если система управления не располагает никакой информацией о состоянии загрузки линии, то в этом случае возможен лишь пуск против грузопотока либо одновременный пуск.

Сокращение времени запуска линии после устранения причины отказа достигается в результате применения следующих способов.

*Ускоренный (нерегулируемый) пуск конвейеров в направлении против грузопотока.* Способ позволяет сократить общее время запуска линии за счет сокращения интервала между командами на запуск подающего конвейера до минимально возможного значения, при котором исключается вероятность заштыбовки мест перегрузки в период разгона.

*Одновременный регулируемый пуск конвейеров.* Способ позволяет макси-

мально сократить время пуска линии и довести его до величины, определяемой продолжительностью разгона одного (наиболее тяжелого) конвейера. Пуск конвейеров линии осуществляется с одинаковой интенсивностью, заданной программой разгона. Для исключения вероятности заштыбовки мест пересыпа система слежения в процессе запуска должна обеспечивать опережающее увеличение скорости принимающего конвейера по отношению к смежному подающему.

Восстановление (после запуска) и поддержание максимально возможной аккумулирующей способности линии достигается в результате применения следующих способов.

*Регулирование процесса разгрузки бункера в зависимости от количества груза, находящегося в данный момент в подбункерной точке сборного конвейера.* Способ позволяет осуществить автоматическую разгрузку заполненных аккумулирующих бункеров в периоды безотказной работы линии без прерываний и ограничений основных грузопотоков, автоматическое демпфирование суммарных пиковых поступлений груза на ленту сбросной части линии в технологических схемах со сквозными аккумулирующими бункерами.

*Регулирование процесса разгрузки бункера в зависимости от расположения и количества груза, находящегося в данный момент в разветвленной части конвейерной линии (в зоне прогноза).* Способ позволяет осуществить, автоматическую разгрузку заполненных аккумулирующих бункеров в периоды безотказной работы линии без прерываний и ограничений основных грузопотоков, автоматическое демпфирование суммарных пиковых поступлений груза на ленту, автоматическое поддержание эквивалентного или любого заданного соотношения аккумулирующих свойств ответвлений в периоды безотказной работы линии.

*Стабилизация скорости конвейеров на уровне номинального значения.* Способ обеспечивает минимальное накопление груза в транспортной системе и снижает потенциальную возможность возникновения отказов по причине эаш-

тыбовки мест перегрузки.

Оптимальное управление по критерию «минимальные удельные энергозатраты» достигается за счет загрузки конвейера, обеспечивающей минимальный расход электроэнергии на транспортирование единицы веса груза и сокращения общего времени холостых пробегов ленты.

Загрузка конвейера, обеспечивающая минимальный расход электроэнергии на транспортирование единицы веса груза, достигается в результате применения следующих способов.

*Регулирование скорости ленты.* Сущность данного способа заключается в том, чтобы обеспечить в процессе работы конвейерной линии наиболее выгодное (по соображениям экономии электроэнергии) соотношение параметров — «уровень загрузки ленты — величина скорости ленты», не ограничивая при этом производительность забоя.

*Регулирование интенсивности разгрузки бункеров.* Сущность способа заключается в том, чтобы обеспечить в процессе разгрузки бункера наиболее выгодное (по соображениям экономии электроэнергии) соотношение параметров — «уровень загрузки бункера - уровень загрузки ленты - величина скорости ленты».

Сокращение общего времени холостых пробегов ленты конвейера достигается в результате применения следующих способов.

*Автоматический останов конвейера в интервалах отсутствия грузопотока.* Максимальное сокращение общего времени холостых пробегов ленты обеспечивается при синхронизации моментов останова конвейера с моментами прекращения поступления груза на конвейер. Однако этот способ при коротких интервалах отсутствия грузопотока и при нерегулируемых процессах пуска-останова приводит к отрицательному эффекту в отношении уменьшения износа и снижения энергозатрат, так как частые нерегулируемые пуски конвейеров ухудшают тепловой режим работы двигателя и связаны с дополнительными динамическими нагрузками в ленте и приводе. Поэтому останов конвейера це-

лесообразно осуществлять по методу синхронизации в случае регулируемой интенсивности процессов пуска-останова, на основании оценки эффекта предстоящего отключения — при нерегулируемой интенсивности процессов пуска-останова. Учитывая, что любой технологический останов конвейера под грузом, не связанный с отказом в линии или на выходе линии, противоречит принципу поддержания максимально возможной аккумулирующей способности линии, т. е. критерию «максимального сокращения времени простоев добычных участков», наиболее правильным в данном случае является автоматический останов порожнего конвейера в интервалах отсутствия грузопотока.

*Синхронизация момента пуска конвейера с момента поступления груза на его ленту.* Способ управления позволяет сократить общее время холостых пробегов ленты и снизить удельный расход электроэнергии на транспортирование груза в сравнении с существующим методом пуска против грузопотока и методом одновременного пуска. В условиях автоматического останова конвейера в интервалах отсутствия грузопотока метод приобретает скорректированный вид, а именно — синхронизация момента пуска порожнего конвейера с моментом поступления груза на его ленту.

Оптимальное управление по критерию «минимальный износ материальной части конвейера» достигается за счет сокращения общего времени холостых пробегов ленты, загрузки конвейера, обеспечивающей минимальный износ ленты.

Загрузка конвейера, обеспечивающая минимальный износ конвейерной ленты, достигается в результате применения регулирования скорости ленты и регулирования интенсивности разгрузки бункеров.

Функциональные свойства системы оптимального управления конвейерным транспортом в зависимости от конфигурации технологической схемы определяются как совокупность целесообразных методов управления и регулирования.

На рисунке 1 приведена обобщенная технологическая схема разветвленной конвейерной линии, принятой к автоматизации.

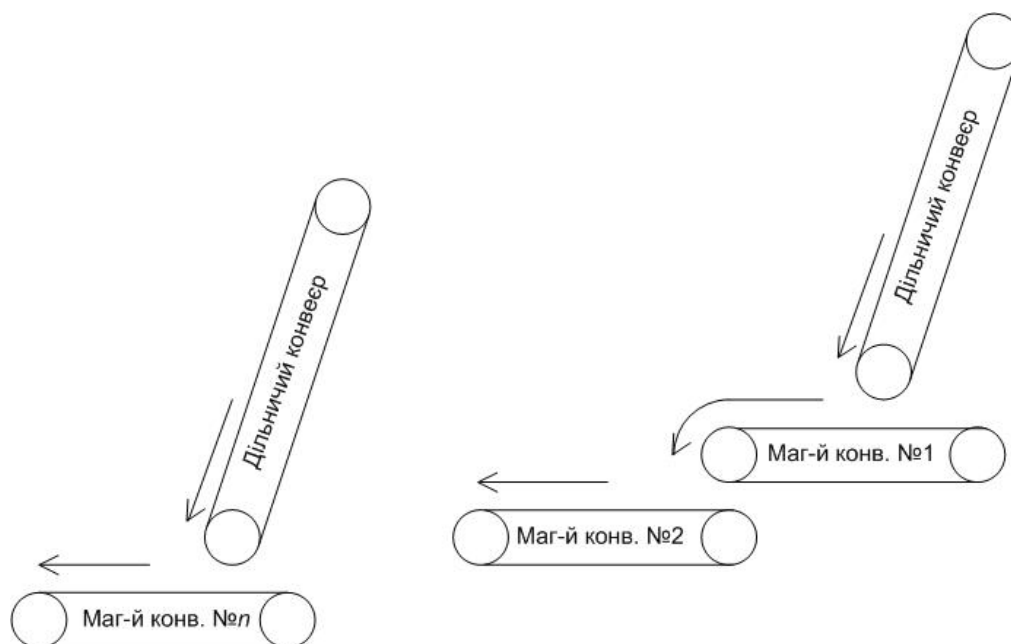


Рисунок 1.1 – Обобщенная технологическая схема разветвленной конвейерной линии

Проанализировав способы управления, приведем алгоритм наиболее оптимального управления:

- пуск в работу всей конвейерной линии производится не в направлении, противоположном движению грузопотока, а по направлению, начиная с конвейера, расположенного у добычной лавы;
- пуск каждого конвейера осуществляется в момент подачи на него груза (если конвейерная линия порожняя);
- если конвейерная линия груженная или информация о загрузке отсутствует, пуск всех конвейеров производится одновременно;
- сигнал на запуск подается диспетчером шахты, или комбайном лавы передается информация о начале подачи грузопотока и линия запускается автоматически;
- при прекращении поступления грузопотока на конвейерную линию подается запрос диспетчеру шахты, который подает команду на остановку линии или на продолжение работы. Если ответ от диспетчера не поступил в течение пяти минут, остановка конвейерной линии производится автоматически;

- при выходе из строя конвейера в систему автоматизации подается сигнал с указанием, какой конвейер отказал;

- конвейера, предшествующие отказавшему, поочередно замедляют движение для максимального использования аккумулирующей способности линии, вследствие чего возможно сократить время простоев добычного участка;

- конвейера, осуществляющие транспортировку груза после отказавшего конвейера, останавливаются поочередно как только передадут груз последующему конвейеру или в бункер скипового подъема;

- после устранения неполадки загруженные конвейера линии запускается одновременно, порожние – в момент поступления груза.

Данный способ управления конвейерной линией значительно снизит время простоев добычного участка и приведет к экономии электроэнергии, так как исчезнет необходимость ждать полного запуска конвейерной линии для пуска в работу комбайна, а также при максимальном использовании аккумулирующей способности конвейерной линии будет возможным отказ от использования бункеров-накопителей.

## 2 Аналитическое исследование принятого способа автоматического управления

В принятом способе управления конвейерной линией наиболее трудно решаемой задачей является использование аккумулирующей способности конвейерной линией, так как последующий пуск груженого конвейера является проблематичным со стороны ленты и двигателя, так называемый тяжелый пуск.

Тяжелый пуск — это пуск конвейера под нагрузкой, объясняемой наличием груза на ленте конвейера после аварийной его остановки. Увеличение момента сопротивления в период пуска конвейера вызывается иногда естественной в условиях эксплуатации заштыбовкой ленты.

Смоделируем пуск груженого конвейера со стороны момента упругости в ленте.

Момент упругости в ленте – это по сути момент упругости между массой груза на конвейере и приводом. Рассмотрим моделирование поставленной задачи как поведение двухмассовой ЭМС. Первая масса – масса привода, приведенная к барабану, вторая – груз, находящийся на ленте.

Вес груза на ленте определим из соотношения:

$$Q = 0.16 \cdot B^2 \cdot \operatorname{tg} \rho' \cdot V_n \cdot \gamma \cdot L \cdot 1000 \quad (2.1)$$

где  $B$  – ширина ленты, м

$\rho'$  - естественный угол откоса,

$V_n$  - номинальная скорость ленты, м/с,

$\gamma$  – плотность насыпки груза, принимаем равной 0,85,

$L$  – длина конвейера.

Сопротивление на приводном барабане:

$$W_0 = 1.1(W_{zp} + W_{пор}) \quad (2.2)$$

Сопротивление груженой ветви:

$$W_{zp} = (q_l + q'_p + q) \cdot W' \cdot L \cdot g, \text{ Н} \quad (2.3)$$



Сопротивление порожней ветви:

$$W_{\text{пор}} = (q_l + q_p'') \cdot W' \cdot L \cdot g, \text{ Н} \quad (2.4)$$

где  $W' = 0,03 - 0,05$

$q_p'$  - вес роликоопор на грузе ветви, кг/м,

$q_p''$  - вес роликоопор порожней ветви, кг/м

$q_l$  - удельный вес ленты, кг/м

$q$  - удельный вес груза:

$$q = \frac{Q}{3.6 \cdot V_n} \quad (2.5)$$

Состояние реальной динамической системы редко может быть описано только одной переменной, поскольку реальная система, как правило, представлена несколькими компонентами, состояние каждого из которых описывается своей переменной. Подобные системы называются динамическими системами  $n$ -го порядка. Их поведение, соответственно, описывается системой из  $n$  дифференциальных уравнений или одним уравнением  $n$ -го порядка. Моделирование таких систем в значительной мере облегчается, если воспользоваться матричной формой записи уравнений состояния, применив по отношению к ней известные численные методы решения.

Поведение двухмассовой ЭМС описывается следующими математическими соотношениями.

Наличие механической связи, характеризуемой небесконечной жесткостью, между двумя массами системы обуславливает появление сил упругого взаимодействия между ними. После дифференцирования уравнения, составляемого по закону Гука, получим:

$$\dot{M}_{12} = c_{12}(\omega_1 - \omega_2) \quad (2.6)$$

где  $\omega_1, \omega_2$  - частоты вращения первой и второй масс;

$c_{12}$  - коэффициент жесткости упругой механической связи между массами;

$M_{12}$ - момент упругости.

Для каждой массы, входящей в систему, справедливо уравнение равновесия сил, которое при отсутствии внешних воздействий на промежуточные массы системы имеет вид.

$$\begin{aligned} J_1 \cdot \dot{\omega}_1 &= M - M_{12}, \\ J_2 \cdot \dot{\omega}_2 &= M_{12} - M_c. \end{aligned} \quad (2.7)$$

где  $J_1, J_2$  - моменты инерции первой и второй масс;

$M$  - момент, развиваемый двигателем, входящим в состав первой массы;

$M_c = M_c(t, \varphi_2, \omega_2)$  - статический момент сопротивления, действующий на вторую массу системы.

Электромеханическую связь между механическими координатами первой массы, в состав которой входит электромеханический преобразователь (двигатель), в первом приближении (если не учитывать инерционность электромагнитных процессов в двигателе) описывается соотношением:

$$M = \beta \cdot (\omega_0 - \omega_1), \quad (2.8)$$

где  $\beta$  - жесткость механической характеристики двигателя;  $\omega_0$  - частота вращения холостого хода.

Влияние механической нагрузки учитывается зависимостью  $M_c(t, \varphi_2, \omega_2)$  статического момента сопротивления, действующего на вторую массу, от времени, частоты вращения или угла поворота (табл.1.1).

Таким образом, полное математическое описание двухмассовой ЭМС будет представлено тремя дифференциальными (2.1) - (2.2) и одним алгебраическим уравнением.

В данном случае матричная форма записи уравнения связи динамической системы имеет вид:

$$\dot{X} = A \cdot X + B \cdot V, \quad (2.9)$$

где  $X = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ M_{12} \end{bmatrix}$  - вектор переменных состояния исследуемой ЭМС,

$V = \begin{bmatrix} \omega_0 \\ M_c \end{bmatrix}$  - вектор внешних воздействий на ЭМС,

A, B - матричные коэффициенты:

$$A = \begin{bmatrix} -\beta/J_1 & 0 & -1/J_1 \\ 0 & 0 & 1/J_2 \\ c_{12} & -c_{12} & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \beta/J_1 & 0 \\ 0 & -1/J_2 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

В случае численного решения уравнения (2.9) для получения результата, характеризуемого приемлемой точностью, следует правильно выбрать шаг интегрирования  $\Delta t_0$ , величина которого определяется наименьшей постоянной времени  $T_{\min}$ . Целесообразно при выборе шага интегрирования руководствоваться соотношением (2.5):

$$\Delta t_H = (0.01 \dots 0.05) \cdot T_{\min}. \quad (2.10)$$

$T_{\min}$  определяется как минимальная величина из трех постоянных времени  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ . Последние могут быть определены в результате решения характеристического уравнения (2.6), соответствующего дифференциальному уравнению состояния (2.4):

$$|A - k \cdot I| = 0, \quad (2.11)$$

где  $I$  - единичная матрица с размерностью, соответствующей размерности матричного коэффициента A (3\*3);

$k$  - корень (корни) характеристического уравнения.

Зная корни  $k$ , (в общем случае, комплексные) характеристического уравнения, можно определить  $i$ -ую постоянную  $T_{15}$  воспользовавшись соотношением:

$$T_i = 1/|k_i|, \quad (2.12)$$

Как следует из уравнения (2.9), переменными состояниями исследуемой динамической системы являются частоты вращения первой и второй масс  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , а также момент упругого взаимодействия между ними  $M_{12}$ . Поскольку уравнения состояния составляются и решаются в матрично-векторной форме, переменные состояния группируются в вектор  $X$ . Соответственно:  $\omega_1 - X_0$ ,  $\omega_2 - X_1$ ,  $M_{12} - X_2$ .

Внешними воздействиями на систему в описанном случае являются частота вращения холостого хода  $\omega_0$  (управляющее воздействие) и статический момент сопротивления  $M_c$  (возмущающее воздействие). Указанные величины группируются в вектор  $V$ . Соответственно:  $\omega_0 - V_0$ ,  $M_c - V_1$

Момент сопротивления на валу двигателя (сухого трения):

$$M_c(V) = |W_0 \cdot R_{pr}| \cdot \text{sign}(V), \quad (2.13)$$

где  $W_0$  – натяжение на приводном барабане,  
 $R_{pr}$  – приведенный радиус,  
 $V$  – текущая скорость ленты.

Помимо этого следует принять во внимание, что вектор внешних воздействий  $V$  указывается как функция, зависящая от  $X$ , т.к. нагрузка на валу реактивная (зависит от частоты вращения второй массы);

Запись функции, решающей ДУ осуществляется в виде:

$$S = rkfixed(xn, tn, tk, N, D1) \quad (2.14)$$

Результатом решения является массив  $S$  размерностью  $N*4$ , причем первый столбец представляет собой вектор текущего времени, второй - вектор текущих значений частоты вращения первой массы, третий - вектор текущих значений частоты вращения второй массы, а четвертый - вектор текущих значений момента упругости.

Для удобства представления результатов решения следует выделить из массива  $S$  векторы времени и частоты вращения. Эта операция осуществляется посредством использования оператора выделения столбца матрицы, входящего

в состав панели матричных операторов. Результат этих действий представляется в виде:  $t := S^{(0)}$ ,  $\omega 1 := S^{(1)}$ ,  $\omega 2 := S^{(2)}$ ,  $M_y := S^{(3)}$ .

Результаты моделирования приведены на рисунках 2.1 и 2.2.

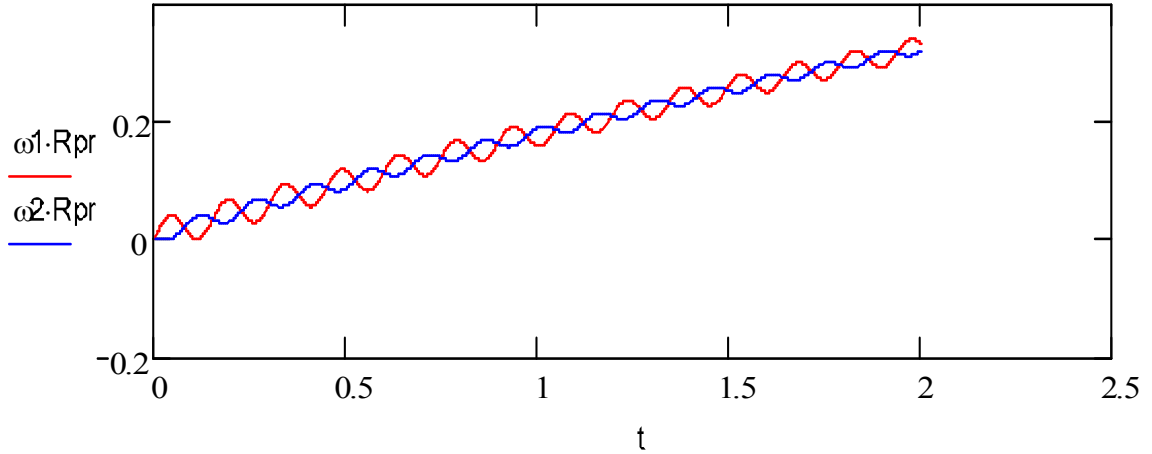


Рисунок 2.1 – график изменения линейной скорости барабана и ленты в момент пуска конвейера под нагрузкой

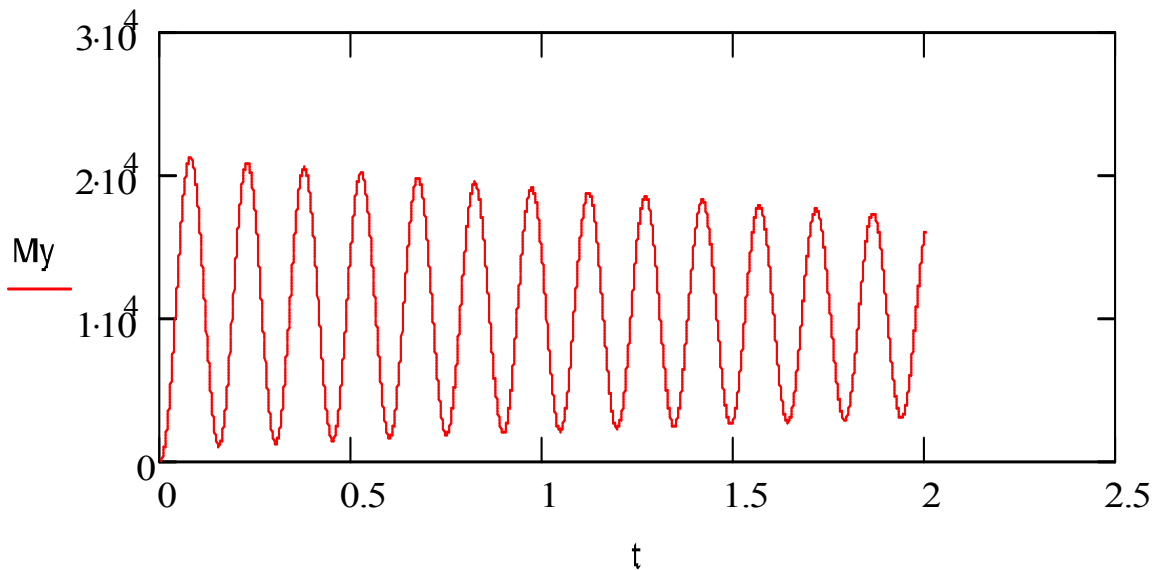


Рисунок 2.2 – Изменение момента упругости между лентой и барабаном в момент пуска конвейера под нагрузкой

В ходе моделирования выяснилось, что для осуществления пуска грузевого конвейера необходимо, чтоб загруженность не превышала 66% от максимально возможной, следовательно в случае аварии мы сможем использовать аккумулирующую способность линии на две трети.

### 3 Рекомендации к разработке системы автоматического управления

Для предложенной системы автоматического управления наиболее целесообразно выбрать автоматику конвейеров APD1.

Автоматика конвейеров APD1 представляет собой микропроцессорную систему управления, предназначенную для управления забоем, или же конвейерными линиями в шахтах или на поверхности. Вся система имеется в искробезопасном исполнении. Она исполняет технические требования к оборудованию, предназначенному для использования в среде опасной взрывом. Изделие можно использовать в угольных шахтах опасных по газу (метану) и угольной пыли, в соответствии с Техническим описанием и инструкцией по эксплуатации и Правилами безопасности в угольных шахтах РД 05-94-95.

#### Основные функции системы

- программное управление, параметризация и управление конвейерными линиями;
- аварийный останов (блокирование) машин;
- разговорная связь вдоль линий;
- сигнализация, включая передачу предостерегающего сигнала до разгона;
- мониторинг хода конвейерных линий;
- визуализация всего процесса разработки;
- несложная диагностика всей системы и локализация отказа из поста управления на поверхности или в шахте;
- доступ из интранета и интернета.

#### Элементы системы APD1

- Станция центральная SC1;
- Станция конвейера SD1 P2;

- Источники 0Z2, 0Z3;
- Датчик транспортируемой горной породы SOI P1;
- Датчик сдвига ленты SOI P1;
- Датчик температуры барабана ST1 P2;
- Датчик температуры подшипника ST1 P1;
- Речевой усилитель 0PZ1 P3, P4;
- Блокировочный ключ ОКВ1 P2, P5;
- Телефонный преобразователь TP1 P2;
- Блокировочный преобразователь 0PB1 P1, P3.

#### Основные технические данные

|                           |   |
|---------------------------|---|
| ИБ питающее напряжение    | 9В/200мА - CPU часть<br>12В / 1,4А - вводно/выходные цепи   |
| Уровень и вид взрывозащит | РО Иа   |
| Вводы (макс. 12В/5мА)     | 18 аналоговых согласно NAMUR стандарту<br>4 отсчетных<br>2 напряжения   |
| Выходные цепи             | 2 для включения контакторов преобразователем<br>с контролем тока управляющей петлей<br>5 реле - включение ИБ - клапанов |
| Коммуникация              | 2 последовательных стыка RS 485   |

Поданная система автоматизации выполняет все необходимые нам функции, за исключением измерения нагрузки на конвейере.

Для реализации алгоритма управления дополним систему двумя блоками: конвейерными весами и блоком адаптивного управления.

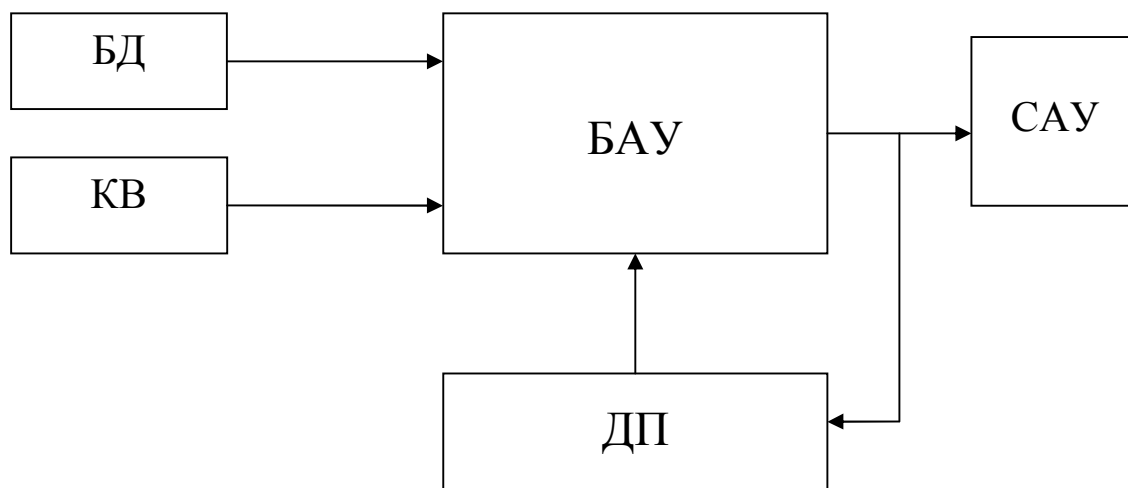


Рисунок 3.1 – Структурная схема разработанного способа управления

На рисунке обозначено:

БД – блок датчиков;

КВ – конвейерные весы, установлены на каждом конвейере;

ДП – диспетчерский пункт;

САУ – система автоматизированного управления, в нашем случае - автоматика конвейеров APD1.

БАУ – блок адаптивного управления, реализующий алгоритм управления.



## Перечень ссылок

1. Г.Я. Пейсахович и др. Подземный транспорт шахт и рудников: Справочник. - М.Недра,1985.-564с.
2. А.К. Малиновский. Автоматизированный электропривод машин и установок шахт и рудников: Учебник для вузов. - М: Недра, 1987.-277 с.
3. МУ к выполнению курсового проекта по дисциплине «Идентификация и моделирование технических объектов». – Донецк, ДонНТУ, 2005г.
4. В.В. Дмитриева. Автоматическая стабилизация погонной нагрузки ленточного конвейера. – М.: Издательство Московского государственного горного университета,2004. – 25 с