

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИТНЫМ СЛОЕМ ГРУЗА В УСРЕДНЯЮЩЕМ БУНКЕРЕ

Розроблено метод адаптивного управління захисним шаром вантажу в усереднючому бункері, що працює у системі підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт. Запропоновано схему управління захисним шаром вантажу за допомогою живильника та заслінки на основі контролеру та датчиків рівня. Розроблено алгоритм адаптивного управління захисним шаром вантажу.

THE METHODS OF CONTROL OF PROTECTIVE LOAD LAYER IN THE AVERAGE BUNKER

The method of adaptive control of protective load layer in average bunker working in the system of underground coal-mining conveyer transportation is elaborated. The scheme of the control of protective load layer with the help of feeder and damper on the base of controller and level data units is proposed. The algorithm of adaptive control of protective load layer is worked out.

Одним из способов повышения пропускной способности подземного конвейерного транспорта угольных шахт является применение усредняющих бункеров. Усредняющие бункеры предназначены для уменьшения неравномерности грузопотоков поступающих на конвейер, имеют небольшую вместимость (20-40 м³) и обычно оборудуются в участковых выработках при перегрузке забойных грузопотоков на сборный конвейер.

Для эффективной работы усредняющих бункеров, а также для предотвращения разрушения конвейерного оборудования в бункерах необходимо поддерживать защитный слой груза.

В условиях угольных шахт из-за сложных условий эксплуатации и существенной неравномерности поступающего в бункер грузопотока непрерывное поддержание минимального объема защитного слоя насыпного груза в бункере с помощью средств автоматики (ПИД регуляторов и т.д.) невозможно.

Поэтому на практике для поддержания защитного слоя груза применяется метод управления разгрузкой бункера с помощью контроллеров и датчиков уровня груза, т.е. при достижении уровнем груза в бункере минимального объема защитного слоя V_1 (м³) разгрузка из бункера прекращается, происходит заполнение бункера до некоторого значения V_2 (м³) после чего разгрузка возобновляется. Далее происходит повторение цикла, при этом загрузка бункера не прекращается.

Для предотвращения переполнения бункера величина разгружаемого грузопотока Q_n (т/мин) принимается большей, чем максимальная средняя величина поступающего грузопотока m_Q (т/мин), т.е. $m_Q > Q_n$.

Для нормальной работы бункера, с одной стороны, необходимо чтобы количество циклов загрузок и разгрузок было минимально, с другой стороны, для обеспечения запаса вместимости бункера среднее количество груза в бункере V_c (м³) должно быть также минимально. Для этого необходимо знать,

при каком минимальном значении Q_n средний объем груза в бункере V_c будет минимальным.

Существуют два основных способа разгрузки бункеров: с помощью питателей и с помощью регулируемых затворов.

В настоящее время для подземных бункеров наиболее широко применяется первый способ, так как он обеспечивает стабильность разгрузки плохо сыпучих грузов из бункера.

Для разгрузки бункеров в случае хорошо сыпучих материалов могут использоваться затворы, обеспечивающие гравитационную разгрузку материала из бункера не требующую, в отличие от разгрузки бункера с помощью питателя, дополнительных энергозатрат.

В случае постоянной производительности разгрузки бункера поддержание защитного слоя груза в бункере обеспечивается за счет включения-выключения питателя или открытия-закрытия затвора. Далее в качестве затвора будет рассматриваться клапанный затвор или заслонка.

Поддержание защитного слоя груза в бункере в случае изменяемой производительности разгрузки обеспечивается питателем за счет изменения его скорости v_n (м/с) или высоты выпускного отверстия h (м) при постоянной скорости питателя или заслонкой за счет изменения угла ее наклона α (град).

Для оптимального управления разгрузкой бункера работающего в режиме поддержания защитного слоя груза необходимо получать текущую информацию о характеристиках поступающего грузопотока т.е. среднее значение поступающего в бункер грузопотока m_Q . Эту информацию обычно получают с помощью конвейерных весов, расположенных на добункерном конвейере.

Однако из-за сложных условий эксплуатации подземного конвейерного транспорта угольных шахт не на всех конвейерах устанавливаются конвейерные весы.

В этом случае мы приходим к задаче оптимального управления усредняющим бункером в режиме поддержания защитного слоя груза при неизвестном параметре поступающего грузопотока m_Q , которая является задачей адаптивного автоматического управления [1,2].

Недостающую априорную информацию о среднем значении поступающего в бункер грузопотока m_Q при поддержании защитного слоя груза в бункере можно получить, если в процессе работы бункера на каждом i -ом цикле загрузки-разгрузки определять время загрузки бункера T_{zi} (мин) при неработающем питателе ($Q_n = 0$) и время разгрузки бункера T_{pi} (мин) при работающем питателе ($Q_n > 0$). Затем по полученному значению T_{zi} оценивается текущее значение параметра m_Q .

При этом текущее значение параметра m_Q на каждом i -м цикле загрузки-разгрузки бункера оценивается по формуле

$$\bar{m}_{Qi} = \frac{\gamma(V_2 - V_1)}{T_{zi}}, \quad (1)$$

где \bar{m}_{Q_i} – оценка параметра m_Q на i -м цикле загрузки, т/мин; T_{zi} – интервал времени загрузки бункера на i -м цикле загрузки-разгрузки, мин; γ – объемный вес материала, т/м³.

В работах [3,4] показано, что при средней величине поступающего грузопотока $m_Q = \bar{m}_{Q_i}$ минимальная производительность разгрузки бункера $Q_{n \min}$, при которой обеспечивается минимальный средний объем груза равный $V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$, определяется по формуле

$$Q_{i \min} = \bar{m}_{Q_i} \left(1 + \frac{T_{\zeta i}^2}{T_{\delta i}^2} \right) + \frac{\gamma(V_2 - V_1)(T_{\delta i} - T_{\zeta i})}{T_{\delta i}^2} \quad (2)$$

В случае постоянной производительности разгрузки бункера с помощью питателя или заслонки минимальная производительность разгрузки равняется производительности подбункерного конвейера т.е. $Q_{n \min} = Q_k$, полагая в равенстве (2) и разрешая последнее уравнение относительно V_2 , получим

$$V_2 = V_1 + \frac{Q_k T_{\delta i}^2 - \bar{m}_{Q_i} (T_{\delta i}^2 + T_{\zeta i}^2)}{\gamma(T_{\delta i} - T_{\zeta i})}. \quad (3)$$

В этом случае управляющими параметрами являются время загрузки T_{zi} и время разгрузки T_{pi} бункера, а управляемым параметром является максимальный объем защитного слоя груза в бункере V_2 .

При этом алгоритм управления можно представить в следующем виде: при заданных значениях Q_k и V_1 на каждом i -м шаге цикла загрузки и разгрузки бункера определяются текущие значения времени T_{zi} , T_{pi} , по формуле (1) вычисляется текущая оценка значения \bar{m}_{Q_i} , а по формуле (3) определяется максимальное значение уровня защитного слоя груза в бункере V_2 , при котором средний объем груза в бункере V_c и производительность разгрузки бункера Q_n принимают минимальные значения ($Q_{n \min} = Q_k$).

При поддержании защитного слоя груза в бункере в случае изменяемой производительности разгрузки при заданной средней величине поступающего грузопотока $m_Q = \bar{m}_{Q_i}$, минимальная производительность разгрузки бункера $Q_{n \min}$, обеспечивающая минимальный средний объем груза в бункере $V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$, определяется по формуле (2).

При этом, в случае постоянной высоты отверстия h скорость питателя определяется по формуле:

$$v_i = \frac{Q_{i \min}}{\gamma h}, \quad (4)$$

а в случае постоянной скорости питателя высота отверстия определяется по формуле

$$h = \frac{Q_{i \min}}{\gamma v_i}. \quad (5)$$

В случае регулирования разгрузки бункера с помощью заслонки согласно работам [5,6] угол наклона заслонки определяется из уравнения

$$Q_{i \min} = \eta_i \gamma b h_{\max}^{1.5} \sqrt{g}, \quad (6)$$

где

$$\eta_i = \frac{\delta \eta_{0i}}{\sqrt{\delta^2 + k^2 K_1 K_2}};$$

$$\delta = \frac{h_{\max}}{d}; \quad K_1 = \frac{1}{2} \left(f + \sqrt{1 + f^2} \right);$$

$$\eta_{0i} = \frac{2\sqrt{2}}{3} \sin(\varphi_{ci} + \beta_i) B \sqrt{A + \chi} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha_i}{1 + K_1 \operatorname{tg} \alpha_i} \right)^{\frac{3}{2}}; \quad \chi = f + \frac{1}{f} - \sqrt{1 + f^2};$$

$$A = \frac{\operatorname{tg} \varphi_{ci} (K_1 - \operatorname{tg} \beta_i)}{\operatorname{tg} \beta_i + \operatorname{tg} \varphi_{ci}}; \quad B = \frac{(K_1 + \operatorname{tg} \varphi_{ci}) \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \beta_i}}{\operatorname{tg} \beta_i + \operatorname{tg} \varphi_{ci}};$$

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{(h_{\max}/l) - \cos \alpha_i}{\sin \alpha_i} \quad (0 \leq \beta_i \leq \operatorname{arctg} \frac{h_{\max}}{l});$$

$$\varphi_{\bar{ii}} \approx \frac{0,5\pi - \alpha_i + \varphi_0}{2} \quad (0,5\pi - \alpha_i < \varphi_{ci} < \varphi_0).$$

где α_i – угол наклона заслонки на каждом i -м цикле загрузки-разгрузки бункера, град; η_i – коэффициент расхода сыпучего груза через боковое отверстие бункера с углом наклона заслонки к вертикальной стенке равном α_i ; b – ширина отверстия в бункере, м; h_{\max} – максимальная высота выпускного отверстия бункера, м; d – средний диаметр частиц материала, м; l – длина заслонки, м; φ_0 – угол наклона границы между неподвижной и подвижной зонами сыпучего груза в бункере к горизонту, град. f – коэффициент внутреннего трения сыпучего груза; k – кинетический коэффициент, характеризующий потерю механической энергии потока сыпучего груза в результате столкновения частиц ($k = 10-13$); K_2 – некоторый безразмерный коэффициент, зависящий от условий истечения сыпучего груза из бункера и определяемый из эксперимента.

Следовательно, в случае изменения производительности разгрузки управляющими параметрами являются время загрузки T_{zi} и время разгрузки T_{pi} бункера, а управляемым параметром являются v_n или h в случае разгрузки бункера с помощью питателя и угол α в случае разгрузки бункера с помощью за-

слонки.

При этом алгоритм управления можно представить в следующем виде: при заданных значениях V_1 и V_2 на каждом i -м шаге цикла загрузки - разгрузки бункера определяются текущие значения времени T_{zi} , T_{pi} , по формуле (6) вычисляется текущая оценка значения \bar{m}_{Qi} , а по формуле (8) определяется минимальная производительность питателя $Q_{n \min}$, и в случае разгрузки бункера с помощью питателя v_n и h определяются по формулам (4) и (5) соответственно, в случае разгрузки бункера с помощью регулируемой заслонки α определяется из уравнения (6).

На рис. 1 показана схема адаптивного управления усредняющим бункером в режиме поддержания защитного слоя груза.

На схеме датчик D_1 контролирует минимальный уровень объема V_1 защитного слоя груза в бункере. Датчик D_2 по высоте H контролирует максимальный уровень объема V_2 защитного слоя груза в бункере, который может изменяться в зависимости от средней величины поступающего в бункер грузопотока m_Q . Датчик D контролирует аварийный уровень объема груза V_{max} в бункере и в случае переполнения бункера выключает надбункерный конвейер.

Промышленный компьютер (контроллер) K перерабатывает поступающую информацию от датчиков уровня и выдает сигнал на включение и выключение питателя, изменение размеров выпускного отверстия скорости исполнительного органа питателя или угла открытия заслонки, а в случае аварийного переполнения бункера отключение надбункерного конвейера.

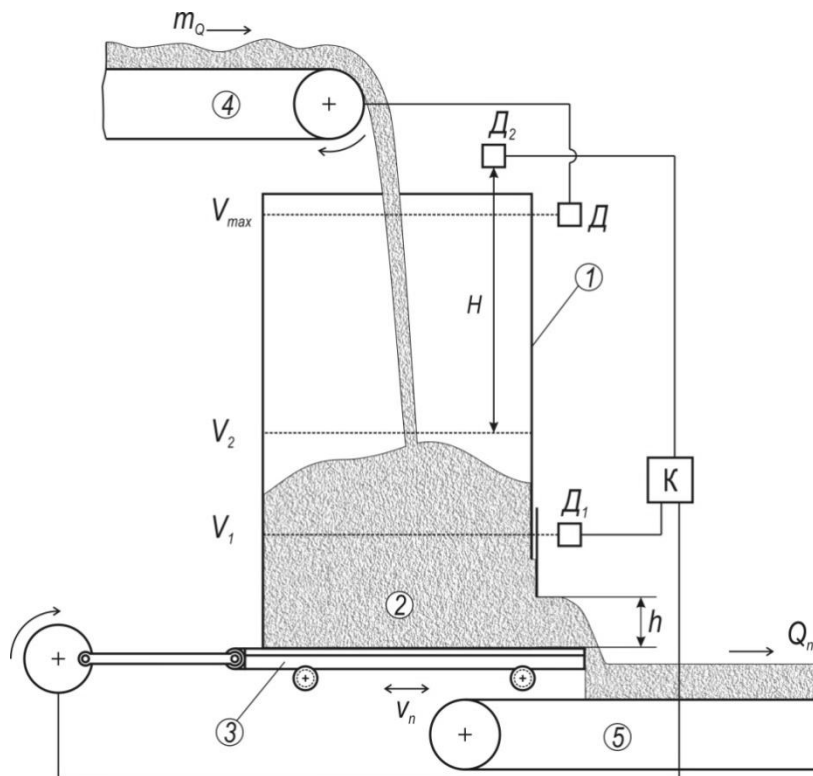
Если уровень груза в бункере достигает минимального значения объема защитного слоя груза в бункере V_1 , то сигнал от датчика D_1 поступает на контроллер K , который дает команду на отключение питателя или закрытие заслонки. Если уровень груза в бункере достигает максимального значения объема защитного слоя груза в бункере V_2 , то сигнал от датчика D_2 поступает на контроллер K , который включает питатель или изменяет его скорость, размеры выпускного отверстия или угол открытия заслонки.

В случае изменения средней производительности поступающего в бункер грузопотока m_Q контроллер будет давать команду на отключение питателя при другом максимальном уровне объема защитного слоя груза V_2 .

Выводы.

На основании анализа условий эксплуатации и режимов работы усредняющих бункеров систем конвейерного транспорта угольных шахт предложен метод адаптивного управления защитным слоем груза в усредняющем бункере, основанный на применении контроллеров и датчиков уровня груза.

Разработаны алгоритмы управления защитным слоем груза в усредняющем бункере для случая разгрузки с помощью питателя и заслонки, которые позволяют поддерживать минимальный средний объем груза в бункере при минимальной производительности разгрузки.



1 – усредняющий бункер; 2 – защитный слой груза, 3 – качающийся питатель; 4 – надбункерный конвейер; 5 – подбункерный конвейер; К – контроллер; Д – датчик максимального количества груза в бункере; Д₁ – датчик контроля минимального уровня защитного слоя груза в бункере; Д₂ – датчик контроля максимального уровня защитного слоя груза в бункере.

Рис. 1– Схема адаптивного управления усредняющим бункером.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие. / Д.П. Ким. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 464 с.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 712 с.
3. Кирия Р.В. Определение оптимальной производительности разгрузки усредняющего бункера для поддержания в нем защитного слоя груза / Р.В. Кирия, Г.И. Ларионов, Д.Д. Брагинец // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2010 – Вып 89. - С. 55-62.
4. Кирия Р.В. Адаптивное управление усредняющим бункером, работающим в условиях угольных шахт / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. №13. – Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – С. 75-81.
5. Кирия Р.В. Определение расхода сыпучего груза из бункера с регулируемой заслонкой / Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Д.Д. Брагинец, Б.И. Мостовой // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2009 – Вып 81. - С. 107-113.
6. Кирия Р.В. Задачи истечения сыпучего груза из бункера при управлении грузопотоками конвейерных линий угольных шахт / Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Д.Д. Брагинец // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2010» - Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2010. - С. 31-38.