

УДК 622.64

Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УСРЕДНЯЮЩИМ БУНКЕРОМ, РАБОТАЮЩИМ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Поставлена и решена задача адаптивного управления усредняющим бункером, работающим в режиме поддержания защитного слоя груза в бункере. Получен алгоритм адаптивного управления усредняющим бункером, работающим в условиях горных предприятий.

Ключевые слова: бункер, адаптивное управление, ленточный конвейер угольной шахты.

Поставлено та розв'язано задачу адаптивного управління усереднюючим бункером, що працює в режимі підтримки захисного шару вантажу в бункері. Одержано алгоритм адаптивного управління усереднюючим бункером, що працює в умовах гірничих підприємств.

Ключові слова: бункер, адаптивне управління, стрічковий конвеєр вугільної шахти.

The task of adaptive control by an usrednyayushim bunker working in the mode of maintenance of protective layer of load in a bunker is put and decided. The algorithm of adaptive control by an usrednyayushim bunker working in the conditions of mountain enterprises is got.

Keywords: bunker, adaptive control, conveyor coal mine.

В работе подземного конвейерного транспорта угольных шахт важную роль играют усредняющие бункеры. Усредняющие бункеры применяются для сглаживания неравномерности грузопотоков, поступающих на конвейерные линии.

Для этого, а так же для предотвращения разрушения транспортного оборудования в усредняющем бункере необходимо поддерживать защитный слой груза.

Для поддержания минимального объема V_1 (м^3) защитного слоя груза в бункере необходимо уменьшить производительность грузопотока из бункера с помощью изменения скорости питателя или высоты выпускного отверстия.

На угольных шахтах широкое распространение получил способ разгрузки бункеров с помощью питателя (рис. 1), в этом случае производительность разгрузки может регулироваться путем изменения скорости питателя v_n или высоты выпускного отверстия h .

Однако в условиях угольных шахт из-за существенной неравномерности поступающего в бункер грузопотока и низкой надежности управляющего оборудования непрерывное поддержание минимального объема защитного слоя груза в бункере с помощью изменения скорости питателя или высоты выпускного отверстия невозможно.

Поэтому на практике для поддержания защитного слоя груза в усредняющем бункере при достижении минимального объема защитного слоя груза V_1 питатель отключается и разгрузка из бункера прекращается.

При этом поступающий в бункер грузопоток не выключается, а при достижении объема защитного слоя груза в бункере некоторого значения V_2 (м^3) питатель включается.

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

Поэтому для нормальной работы питателя, с одной стороны, необходимо, чтобы количество выключений питателя было минимально. С другой стороны, среднее количество груза в бункере V_c (м^3) должно быть также минимально. Для этого необходимо знать, при каком минимальном значении Q_n средний объем груза в бункере V_c будет минимальным.

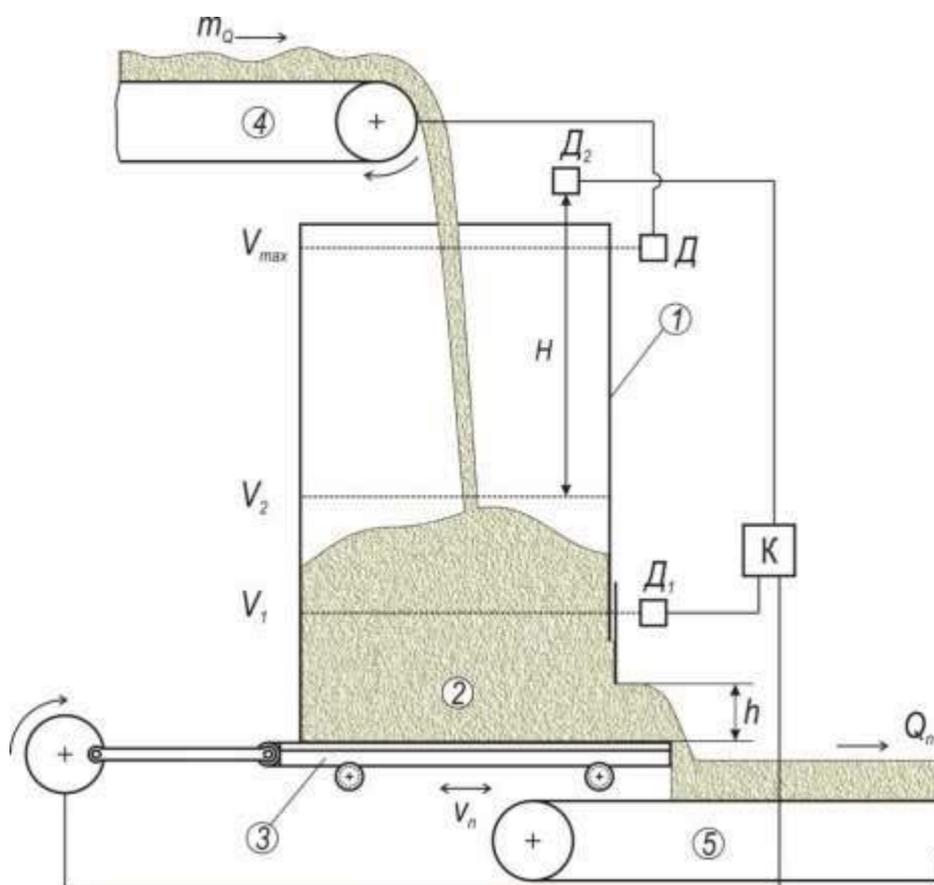


Рис. 1. Схема адаптивного управления усредняющим бункером:

- 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

В работе [1] на основании теории непрерывных марковских процессов получена математическая модель функционирования усредняющего бункера, работающего в режиме поддержания защитного слоя груза.

При этом предполагалось, что поступающий в бункер грузопоток является непрерывным марковским нормальным случайным процессом с математическим ожиданием m_Q (т/мин), средним квадратическим отклонением σ_Q (т/мин) и корреляционной функцией, равной [2]

$$R_Q(\tau - t) = \sigma_Q^2 e^{-\alpha(\tau - t)},$$

где t, τ – начальный и конечный моменты времени соответственно, мин; α – параметр корреляционной функции, 1/мин.

Анализ решения этой задачи показал, что минимальный средний объем груза в бункере $V_{c \min}$ приблизительно равняется полусумме максимального и минимального объемов защитного слоя груза в бункере, т.е.

$$V_{c \min} = \frac{V_1 + V_2}{2}. \quad (1)$$

При этом минимальная производительность разгружаемого грузопотока $Q_{n \min}$ определялась из уравнения

$$\frac{V_1 t_s + V_2 t_p}{t_c} + \frac{m_Q t_s^2 - (Q_{n \min} - m_Q) t_p^2}{2\gamma t_c} = \frac{V_2 + V_1}{2}, \quad (2)$$

где $t_c = t_s + t_p$.

Здесь t_s – среднее время загрузки бункера от V_1 до V_2 при неработающей разгрузке ($Q_n = 0$), мин; t_p – среднее время разгрузки бункера от V_2 до V_1 при работающей разгрузке ($Q_n > 0$), мин; t_c – среднее время цикла работы бункера, мин; γ – объемный вес материала, т/м³.

В формуле (1) t_s, t_p являются функциями от параметров $m_Q, Q_{n \min}, V_1, V_2, \alpha, \sigma_Q$ и γ [1].

На практике производительность разгрузки устанавливается равной максимальной производительности подбункерного конвейера. Поэтому $Q_{n \min}$ должна быть заданной величиной, которая не изменяется даже, если изменяется максимальная средняя величина загружаемого в бункер грузопотока m_Q , т.е.

$$Q_{n \min} = Q_k = \text{const}, \quad (3)$$

где Q_k – максимальная производительность подбункерного конвейера, т/мин.

Кроме этого, минимальное значение объема защитного слоя груза V_1 задается.

Подставляя (3) в (2), получим уравнение, из которого по заданным значениям $m_Q, \sigma_Q, \alpha, V_1, Q_k$ можно определить V_2 , при котором средний объем груза в бункере V_c и производительность разгрузки Q_n принимают минимальные значения, при $Q_{n \min} = Q_k$. Величина m_Q в процессе

функционирования бункера может существенно изменяться, в то же время параметры σ_Q , α , V_1 , Q_k не изменяются.

Следовательно, задачу оптимального управления усредняющим бункером можно сформулировать в следующем виде: при изменении среднего значения поступающего грузопотока m_Q и заданных значениях σ_Q , α , V_1 , Q_k определить V_2 , при котором среднее значение объема груза в бункере V_c будет минимальным, а Q_n принимает минимальное значение, равное Q_k , т.е. $V_c \rightarrow V_{c \min}$, $Q_n \min = Q_k$.

При этом возмущающим параметром оптимального управления является средняя производительность загружаемого в бункер грузопотока m_Q , управляющим параметром является максимальный объем защитного слоя груза в бункере V_2 , а выходным параметром является средний объем груза в бункере V_c , который совпадает с критерием эффективности управления.

Решением поставленной задачи является значение параметра V_2 , которое определяется из трансцендентного уравнения (2) с учетом (3).

Реализовать на практике поставленную задачу оптимального управления очень сложно, это связано, с одной стороны, с математическими трудностями решения уравнения (2), с другой стороны, с невозможностью определения в шахтных условиях среднего значения поступающего в бункер грузопотока m_Q .

В этом случае мы приходим к задаче оптимального управления усредняющим бункером в режиме поддержания защитного слоя груза при неизвестном параметре поступающего грузопотока m_Q (σ_Q , α , V_1 , Q_k – нам известны), которая, согласно [3,4], является задачей адаптивного автоматического управления.

В нашем случае недостающую априорную информацию о среднем значении поступающего в бункер грузопотока m_Q можно получить, если в процессе работы бункера определять время загрузки бункера T_z в период работающей разгрузки, т.е. когда питатель не работает ($Q_n = 0$), и время разгрузки бункера T_p при неработающем питателе ($Q_n > 0$). Затем по полученным значениям T_z , T_p оценивается текущее значение параметра m_Q . Согласно [3-5], эта система автоматического управления называется самонастраивающейся системой адаптивного управления с идентификатором.

При этом текущее значение параметра m_{Qi} на каждом i -м шаге цикла загрузки и разгрузки бункера оценивается по формуле

$$\bar{m}_{Qi} = \frac{\gamma(V_2 - V_1)}{T_i} + Q_n, \quad (4)$$

где

$$T_i = \begin{cases} T_{zi} \text{ при } V_1 \rightarrow V_2 & (\text{загрузка бункера}) \\ T_{pi} \text{ при } V_2 \rightarrow V_1 & (\text{разгрузка бункера}) \end{cases};$$

$$Q_n = \begin{cases} 0, & \text{если } V_1 \rightarrow V_2 \\ Q_k, & \text{если } V_2 \rightarrow V_1 \end{cases}.$$

Здесь \bar{m}_{Qi} – оценка параметра m_Q на i -м шаге цикла загрузки или разгрузки бункера, т/мин; T_{zi} – интервал времени загрузки бункера на i -м шаге, мин; T_{pi} – интервал времени разгрузки бункера на i -м шаге, мин;

Целью адаптивного управления усредняющим бункером является минимальное значение среднего объема груза в бункере $V_{c \min}$ при минимальном значении разгружаемого грузопотока $Q_{n \min}$, равного заданной минутной производительности подбункерного конвейера Q_k т.е.

$$V_c \rightarrow V_{c \min} \text{ при } Q_{n \min} = Q_k.$$

Для определения управляющего параметра V_2 необходимо в уравнении (2) подставить вместо t_z , t_p , и m_Q текущие значения T_{zi} , T_{pi} , а так же оценку \bar{m}_{Qi} , определенную по формулам (4).

В результате получим равенство

$$\frac{V_1 T_{zi} + V_2 T_{pi}}{T_{ci}} + \frac{\bar{m}_{Qi} T_{zi}^2 - (Q_{n \min} - \bar{m}_{Qi}) T_{pi}^2}{2\gamma T_{ci}} = \frac{V_2 + V_1}{2}, \quad (5)$$

где $T_{ci} = T_{zi} + T_{pi}$.

Из последнего равенства после преобразования получим

$$Q_{n \min} = \bar{m}_{Qi} \left(1 + \frac{T_{zi}^2}{T_{pi}^2} \right) + \frac{\gamma (V_2 - V_1) (T_{pi} - T_{zi})}{T_{pi}^2}. \quad (6)$$

Полагая в равенстве (6) $Q_{n \min} = Q_k$ и разрешая последнее уравнение относительно V_2 , получим

$$V_2 = V_1 + \frac{\bar{m}_{Qi} (T_{pi}^2 + T_{zi}^2) + Q_k T_{pi}^2}{\gamma (T_{pi} - T_{zi})}. \quad (7)$$

Следовательно, определяя на каждом i -м шаге цикла загрузки и разгрузки бункера текущие значения времени T_{zi} , T_{pi} , по формуле (4) вычисляется текущая оценка значения \bar{m}_{Qi} , а по формуле (7) 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, при этом $Q_{n \min} = Q_k$.

На практике в процессе функционирования усредняющего бункера средняя величина поступающего в бункер грузопотока m_Q в зависимости от количества одновременно работающих очистных забоев изменяется ступенчато. Поэтому, если m_Q принимает больше одного значения, то, согласно формуле (7), управляющий параметр V_2 будет принимать несколько значений.

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 или выключение питателя, 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. 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 дает команду на включение питателя.

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 .

В результате выше изложенного алгоритм адаптивного управления усредняющим бункером можно представить следующим образом.

Исходными данными для адаптивного управления усредняющим бункером являются: Q_k, V_1, γ .

1) С помощью датчиков на i -ом шаге работы программы определяется время заполнения бункера T_{zi} от V_1 до V_2 при закрытом выпускном отверстии ($Q_n = 0$) и время разгрузки бункера T_{pi} от V_2 до V_1 при открытом выпускном отверстии ($Q_n > 0$).

2) По значениям времени заполнения T_{zi} и времени разгрузки T_{pi} бункера на i -ом шаге оценивается величина поступающего в бункер грузопотока \bar{m}_{Qi} по формуле (4).

3) По значению \bar{m}_{Qi} , согласно (7), определяем новое максимальное значение защитного слоя груза в бункере V_2 .

Выводы

Следовательно, на основании анализа математической модели процесса функционирования усредняющего бункера, работающего в режиме поддержания защитного слоя груза в условиях угольных шахт, поставлена и решена задача его адаптивного управления.

Разработан алгоритм адаптивного управления усредняющим бункером, позволяющий минимизировать среднее количество груза в бункере и количество включений и выключений питателя.

Предложена схема адаптивного управления усредняющим бункером в условиях угольных шахт, основанная на применении контроллера.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. 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. - С. 55-62.
2. Шахмейстер Л.Г. Подземные конвейерные установки / Л.Г. Шахмейстер, Г.И. Солод. - М.: Недра, 1976. - 432 с.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие. / Д.П. Ким. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 464 с.
4. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 712 с.
5. Борцов Ю.А. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением / Ю.А. Борцов, Н.Д. Поляхов, В.В. Путов. - Л.: Энергия, 1984. - 216 с.