

## УПРАВЛЕНИЕ БУНКЕРАМИ, РАБОТАЮЩИМИ В СИСТЕМАХ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

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

Поставлено та вирішено задачу адаптивного управління усереднюючим та акумулюючим бункерами, що працюють в режимі підтримки захисного шару вантажу в бункері. Одержано алгоритм адаптивного управління бункерами, що працюють в умовах гірничих підприємств.

The task of adaptive control of averaging and accumulating bunkers working in the mode of maintenance of protective load layer in a bunker is raised and solved. The algorithm of adaptive control of averaging and accumulating bunkers working in the conditions of mining enterprises is obtained.

Бункеры получили широкое распространение в системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт.

Усредняющие (сглаживающие) бункеры предназначены для уменьшения неравномерности грузопотоков, поступающих на конвейер.

Усредняющие бункеры имеют небольшую вместимость (20-40 м<sup>3</sup>) и обычно оборудуются в участковых выработках при перегрузке забойных грузопотоков на сборный конвейер.

Аккумулирующие бункеры предназначены для накопления груза в случаях, связанных с аварийными, технологическими и организационными простоями системы конвейерного транспорта.

Аккумулирующие бункеры имеют большую вместимость (200-800 м<sup>3</sup>), необходимую для обеспечения работы добункерной конвейерной линии и обычно оборудуются в пределах участковых и капитальных выработок.

Для эффективной работы усредняющих и аккумулирующих бункеров систем конвейерного транспорта угольных шахт, а так же для предотвращения разрушения конвейерного оборудования в бункерах необходимо поддерживать защитный слой груза.

На угольных шахтах широкое распространение получил способ разгрузки бункеров с помощью питателей (рис. 1). В этом случае производительность разгрузки может регулироваться путем изменения скорости питателя  $v_n$  или размеров 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 размеров выпускного отверстия невозможно.

Поэтому на практике поддержание защитного слоя груза осуществляется путем включения и выключения питателя. В этом случае при достижении грузом в бункере минимального объема защитного слоя груза  $V_1$  (м<sup>3</sup>) питатель от-

ключается и происходит заполнение бункера, а при достижении грузом максимального объема защитного слоя груза  $V_2$  ( $\text{м}^3$ ) питатель снова включается и происходит разгрузка бункера до  $V_1$  и т.д. При этом поступающий в бункер грузопоток выключается только в случае аварийного переполнения бункера, контролируемого отдельным датчиком.

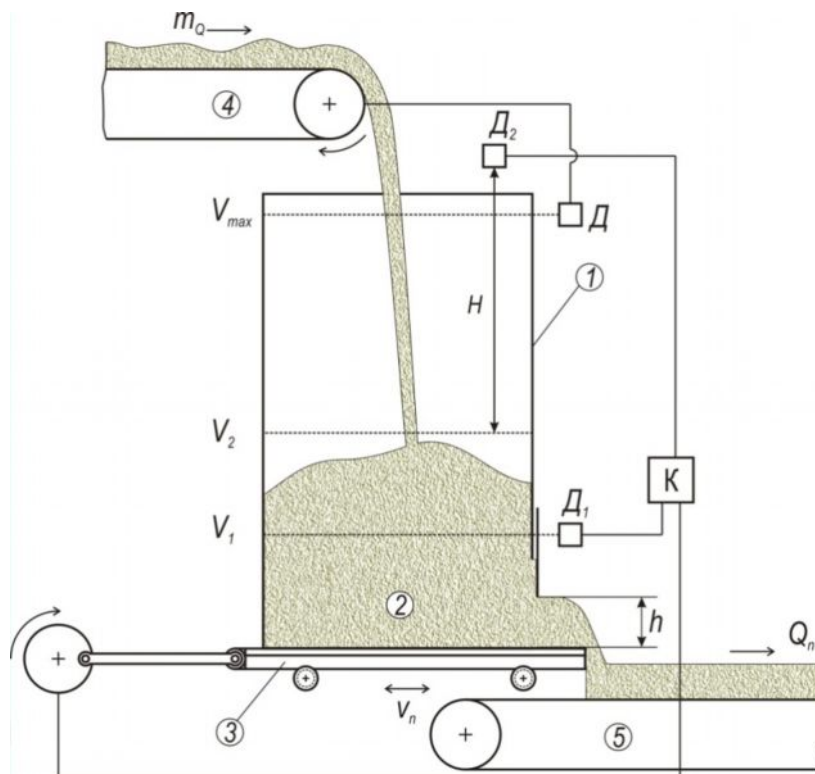


Рис. 1. Схема управления бункером:

1 – бункер; 2 – защитный слой груза, 3 – качающийся питатель; 4 – добункерный 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

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.  $m_Q < Q_n$ .

**Целью статьи** является создание алгоритма управления бункером при котором средний объем груза в бункере  $V_c$  ( $\text{м}^3$ ) и количество включений и выключений питателя должно быть минимальным.

**Постановка задачи.** Для этого необходимо определить, при каком значении разгружаемого грузопотока  $Q_n$  средний объем груза в бункере  $V_c$  будет минимальным.

Определим средний объем груза в бункере в стационарном режиме поддержания защитного слоя груза, в предположении об эргодичности случайного процесса [1], по формуле

$$V_c = \frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} V(t) dt, \quad (1)$$

$$\text{где } V(t) = \begin{cases} V_1 + m_Q t, & \text{при } 0 \leq t < t_3; \\ V_2 - (Q_n - m_Q)(t - t_3), & \text{при } t_3 \leq t \leq t_c; \end{cases}$$

$t_c = t_3 + t_p$  – среднее время одного цикла работы бункера;  $t_3$  – среднее время заполнения бункера при неработающем питателе ( $Q_n = 0$ );  $t_p$  – среднее время разгрузки бункера при работающем питателе ( $Q_n > 0$ ).

В результате интегрирования выражение (1) примет вид

$$V_c = \frac{V_1 t_3 + V_2 t_p}{t_c} + \frac{m_Q t_3^2 - (Q_n - m_Q) t_p^2}{2\gamma t_c}, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – объемный вес материала, т/м<sup>3</sup>.

В формуле (2)  $t_3, t_p$  являются функциями от параметров  $m_Q, Q_n, V_1, V_2$ , и  $\gamma$  [1].

Анализ формулы (2) показал, что средний объем груза в бункере в режиме поддержания защитного слоя груза существенно зависит от среднего значения поступающего в бункер грузопотока  $m_Q$ , минимального  $V_1$  и максимального  $V_2$  объемов защитного слоя груза в бункере, производительности разгружаемого грузопотока  $Q_n$ .

На рисунке 2 показан график зависимости среднего объема груза в бункере  $V_c$  в зависимости от производительности разгрузки  $Q_n$ , построенный согласно формуле (2).



Рис. 2. График зависимости среднего объема в бункере от производительности разгрузки

Из графика (см. рис. 2) видно, что при увеличении производительности разгрузки  $Q_n$  средний объем груза в бункере  $V_c$  сначала резко уменьшается, достигая минимального значения, а затем при дальнейшем увеличении  $Q_n$  средний объем  $V_c$  стремится к предельному значению, равному полусумме максимального и минимального объемов груза в бункере, т.е.  $V_c \approx (V_1 + V_2)/2$  при  $Q_n \rightarrow \infty$ .

Исследования показали [1,2], что для бункеров, работающих в режиме поддержания защитного слоя, минимальное значение среднего объема груза в бункере  $V_{c \min}$  мало отличается от полусуммы максимального и минимального объемов защитного слоя груза в бункере, т.е.

$$V_{c \min} \approx \frac{V_1 + V_2}{2}. \quad (3)$$

В связи с этим за минимальную производительность разгрузки  $Q_{n \min}$  бункера принимается производительность, при которой средний объем груза в бункере, работающем в режиме поддержания защитного слоя груза, равняется полусумме максимального и минимального объемов груза в бункере.

Подставляя (3) в (2), получим уравнение, из которого можно определить минимальную производительность разгружаемого грузопотока  $Q_{n \min}$ :

$$\frac{V_1 t_3 + V_2 t_p}{t_c} + \frac{m_Q t_3^2 - (Q_{n \min} - m_Q) t_p^2}{2 \gamma t_c} = \frac{V_2 + V_1}{2}. \quad (4)$$

На практике производительность разгрузки устанавливается равной технической производительности подбункерного конвейера  $Q_k$  (т/мин). 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.

$$Q_{n \min} = Q_k = \text{const}, \quad (5)$$

Кроме этого, минимальное значение объема защитного слоя груза  $V_1$ , предотвращающее разрушение питателя и дна бункера кусками загружаемого материала задается и является величиной постоянной для каждого бункера.

Следовательно, задачу оптимального управления усредняющим и аккумулирующим бункерами можно сформулировать в следующем виде: при изменении среднего значения поступающего грузопотока  $m_Q$  и заданных значениях  $V_1$ ,  $Q_k$  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 бункером в режиме поддержания защитного слоя груза но при неизвестном параметре поступающего грузопотока  $m_Q$  ( $V_1, Q_k$  – нам известны), которая является задачей адаптивного управления [3,4].

В нашем случае недостающую априорную информацию о среднем значении поступающего в бункер грузопотока  $m_Q$  можно получить, если в процессе работы бункера на каждом  $i$ -ом цикле загрузки-разгрузки определять время загрузки бункера  $T_{zi}$  при неработающем питателе ( $Q_n = 0$ ) и время разгрузки бункера  $T_{pi}$  при работающем питателе ( $Q_n > 0$ ). Затем по полученному значению  $T_{zi}$  оценивается текущее значение параметра  $m_Q$ . Согласно [3,4], такая система автоматического управления называется самонастраивающейся системой адаптивного управления с идентификатором.

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

$$\bar{m}_{Qi} = \frac{\gamma(V_2 - V_1)}{T_{zi}}, \quad (6)$$

где  $\bar{m}_{Qi}$  – оценка параметра  $m_Q$  на  $i$ -м цикле загрузки, т/мин;  $T_{zi}$  – интервал времени загрузки бункера на  $i$ -м цикле загрузки-разгрузки, 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 формуле (6).

В результате получим равенство

$$\frac{V_1 T_{zi} + V_2 T_{pi}}{T_{ci}} + \frac{\bar{m}_{Qi} T_{zi}^2 - (Q_{n \min} - \bar{m}_{Qi}) T_{pi}^2}{2\gamma T_{ci}} = \frac{V_2 + V_1}{2}, \quad (7)$$

где  $T_{ci} = T_{zi} + T_{pi}$  – длительность  $i$ -го цикла загрузки-разгрузки бункера, мин.

Из последнего равенства после преобразования получим

$$Q_{n \min} = \bar{m}_{Qi} \left( 1 + \frac{T_{zi}^2}{T_{pi}^2} \right) + \frac{\gamma(V_2 - V_1)(T_{pi} - T_{zi})}{T_{pi}^2}. \quad (8)$$

Полагая в равенстве (8)  $Q_{n \min} = Q_{\kappa}$  и разрешая последнее уравнение относительно  $V_2$ , получим

$$V_2 = V_1 + \frac{Q_{\kappa} T_{\delta i}^2 - \bar{m}_{Qi} (T_{\delta i}^2 + T_{\zeta i}^2)}{\gamma(T_{\delta i} - T_{\zeta i})}. \quad (9)$$

Следовательно, определяя на каждом  $i$ -м шаге цикла загрузки и разгрузки бункера текущие значения времени  $T_{zi}$ ,  $T_{pi}$ , по формуле (6) вычисляется текущая оценка значения  $\bar{m}_{Qi}$ , а по формуле (9) 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  $Q_{n \min} = Q_{\kappa}$ .

На практике в процессе функционирования усредняющего и аккумулирующего бункеров 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 (9), управляющий параметр  $V_2$  будет принимать несколько значений.

На рис. 1 показана схема управления усредняющим и аккумулирующим бункерами 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 добункерный конвейер.

Контроллер  $K$  перерабатывает поступающую информацию от датчиков уровня и выдает сигнал на включение или выключение питателя.

Если уровень груза в бункере достигает минимального значения объема защитного слоя груза  $V_1$ , 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 и аккумулирующим бункерами можно представить следующим образом.

Исходными данными для адаптивного управления бункерами являются:  $Q_k, V_1, \gamma$ .

1) С помощью датчиков на  $i$ -ом шаге цикла загрузки и разгрузки определяется время заполнения бункера  $T_{zi}$  от  $V_1$  до  $V_2$  при неработающем питателе ( $Q_n = 0$ ) и время разгрузки бункера  $T_{pi}$  от  $V_2$  до  $V_1$  при работающем питателе ( $Q_n > 0$ ).

2) По значению  $T_{zi}$  бункера на  $i$ -ом шаге цикла загрузки и разгрузки оценивается величина поступающего в бункер грузопотока  $\bar{m}_{Qi}$  по формуле (6).

3) По значению  $\bar{m}_{Qi}$ , согласно (9), определяется новое максимальное значение защитного слоя груза в бункере  $V_2$ .

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

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

Предложена схема адаптивного управления усредняющим и аккумулирующим бункерами в условиях угольных шахт, основанная на применении контроллера.

#### Список литературы

1. Кирия Р.В. Математическая модель функционирования усредняющего бункера в условиях угольных шахт / Р.В. Кирия // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4(75). - Дніпропетровськ, 2011. - С. 159-168.

2. Кирия Р.В. Имитационные модели функционирования усредняющих и аккумулирующих бункеров конвейерных линий угольных шахт / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец, Т.Ф. Мищенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2008 – Вып. 77. - С. 100-109.

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.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Ширінім Л.Н.  
Поступила в редакцію 14.04.2012*