

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ШАХТЫ

Гавриленко Б.В., канд. техн. наук., доц., Куксов А.А.
Донецкий государственный технический университет

Исследованы параметры компьютерно-интегрированной системы автоматизированного управления транспортным комплексом шахты, позволяющей повысить ритмичность и эффективность его работы.

The parameters of a computer-federated system of an automation management by a transport complex of mine permitting to increase rhythmically and of effectiveness of its operation are investigated.

Перспективой дальнейшего развития угледобывающей промышленности является повышение эффективности технологических процессов путем применения компьютерно-интегрированных систем автоматизированного управления [1], которые позволяют организовывать технологические процессы на качественно новом уровне, исключая непроизводительные затраты времени и энергоресурсов при изменении динамических параметров объекта.

В данной статье рассматривается транспортный комплекс шахты, который осуществляет доставку полезного ископаемого от очистных забоев на поверхность шахты и включает в себя конвейерный транспорт с аккумулялирующими емкостями и скиповой подъем.

В процессе работы конвейерной линии должно обеспечиваться наиболее выгодное (по условиям экономии электроэнергии) соотношение параметров – «уровень загрузки ленты – величина скорости ленты», не ограничивая при этом производительность забоя. При отсутствии твердого материала на ленте конвейер должен быть остановлен. Это позволит снизить потребление электрической энергии за счёт уменьшения времени работы конвейеров вхолостую, а также повысить срок их службы. Существующие в настоящее время системы управления шахтными конвейерными установками не позволяют достаточно эффективно регулировать скорость движения ленты [2,3]. Поэтому единственным вариантом регулирования ее скорости при непроизводительной работе является останов конвейеров на период

времени, продолжительность которого определяется аккумулярующей способностью конвейерного става. Синхронизация моментов пуска (останова) конвейера с моментами поступления (прекращения поступления) груза на ленту позволяет уменьшить среднюю скорость продвижения груза к точке отказа за счет отключения линии при отсутствии забойного грузопотока, частичного или полного использования аккумулярующей способности свободных участков конвейерных линий.

Автоматическое поддержание в процессе разгрузки аккумулярующего бункера рационального соотношения параметров – «уровень загрузки бункера - уровень загрузки ленты - скорость движения ленты» обеспечит дополнительную экономию электроэнергии.

Эффективность использования подъемной установки за один транспортный цикл повысится, если будет прекращено её функционирование в периоды максимума энергосистемы. Аналогично энергоустановки подземного загрузочного комплекса (приводы питателей, затворов, опрокидывателей) также должны будут прекратить функционирование. С учетом того, что установленная мощность токоприемников скиповых подъемных установок может достигать 40% от общей величины по шахте, данная концепция в организации работы подъема даст возможность угольному предприятию значительно снизить величину заявленной мощности в часы максимума энергосистемы и уменьшить величину денежных расходов на оплату электроэнергии.

Таким образом, критерий комплексного управления транспортом шахты может быть сформулирован следующим образом: обеспечение непрерывной работы шахтного транспорта по выдаче на поверхность суточной добычи угля в условиях отклонения грузопотоков от расчетных значений при минимально необходимом расходе электроэнергии на транспортирование единицы веса груза.

Для реализации критерия управления на рис.1 приведена обобщенная структурная схема системы автоматизированного управления шахтным транспортом.

На нижнем иерархическом уровне системы, средствами локальной автоматизации типа АУК-1м, АГП-61 и др., осуществляется отбор информации с первичных измерительных преобразователей (ПИП), обнаружение отклонений технологических параметров от заданных значений, контроль и прогнозирование предаварийных си-

туаций, защитные и управляющие функции с использованием исполнительных механизмов (ИМ).

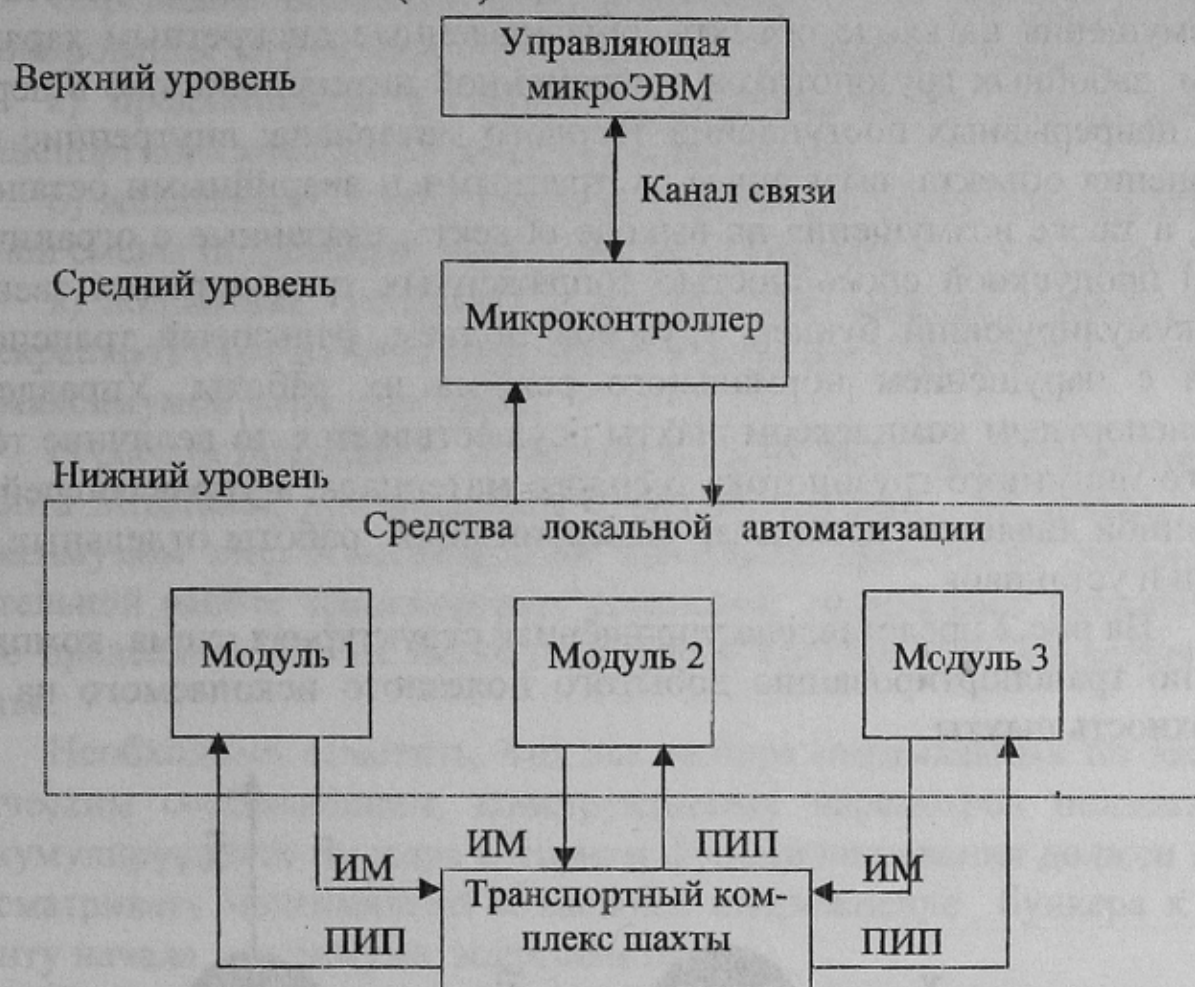


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема трехуровневой системы автоматизированного управления транспортным комплексом шахты

На среднем иерархическом уровне микроконтроллер в соответствии с алгоритмом осуществляет в заданном цикле интервала усреднения данных реализацию управляющих функций по критерию эффективного управления, оптимизирует отдельные технологические участки, а также адаптирует структуру и параметры настройки регуляторов непосредственного цифрового управления к изменениям динамики технологического процесса.

На высшем иерархическом уровне управляющей микроЭВМ (персональным компьютером) производится сбор и итоговая обработка информации с микроконтроллера (или группы микроконтроллеров) среднего уровня, по результатам которой принимаются решения по организации, синхронизации и координации взаимодействия энергомеханического оборудования, входящего в транспортный комплекс шахты.

Следует отметить, что в предлагаемой системе автоматизированного управления конвейерным транспортом шахты действуют возмущения на входе объекта, обусловленные дискретным характером забойных грузопотоков с переменной интенсивностью в периоды непрерывных поступлений твердого материала; внутренние возмущения объекта, вызванные экстренными и аварийными остановками, а также возмущения на выходе объекта, связанные с ограниченной пропускной способностью сопряженных транспортные звеньев (аккумулирующий бункер, грузовой подъем, рельсовый транспорт) или с нарушением нормального режима их работы. Управление транспортным комплексом шахты осуществляется по величине текущего минутного грузопотока твердого материала, а управляющей величиной является временная синхронизация работы отдельных машин и установок.

На рис.2 представлена упрощенная структурная схема комплекса по транспортированию добытого полезного ископаемого на поверхность шахты.

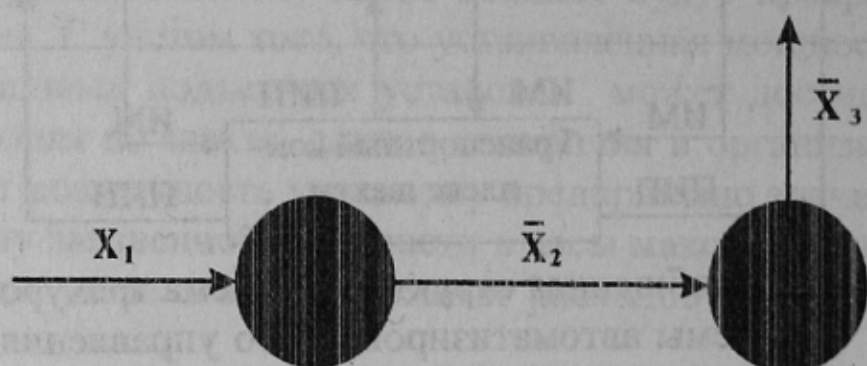


Рисунок 2 – Упрощенная структурная схема транспортной цепочки шахты

X_1 - суммарный минутный грузопоток твердого материала, поступающего в аккумулирующий подземный бункер, $\text{м}^3/\text{мин}$;

\bar{X}_2 - значение величины минутного грузопотока твердого материала из аккумулирующего бункера в дозатор X_2 , полученное путём её усреднения за один цикл работы подъемной установки, $\text{м}^3/\text{мин}$;

\bar{X}_3 - значение величины минутного грузопотока твердого материала из дозатора в поверхностный аккумулирующий бункер X_3 , полученное путём её усреднения за один цикл работы подъемной установки, $\text{м}^3/\text{мин}$;

Q_1 - количество твердого материала в подземном аккумулирующем бункере, м^3 ;

Q_2 - ёмкость дозатора или скипа, м³.

Определим основные принципы построения алгоритма функционирования загрузочного комплекса и подъёмной установки:

а) предлагаемый алгоритм функционирования задает работу транспортного комплекса только на одни сутки;

б) желательно, чтобы к началу первой и к концу последней рабочей смены подземный аккумулирующий бункер был опорожнен;

в) подъёмная установка и загрузочный комплекс обязательно прекращают свое функционирование в периоды утреннего и вечернего максимумов энергосистемы;

г) работа подъёмной установки должна быть приостановлена, а работа питателей прекращена и в других случаях, не связанных с максимумом энергосистемы, если интервалы времени по непроизводительной работе транспортных установок превышают установленные пределы с учётом аккумулирующей способности конвейерного става.

Необходимо отметить, что для выбора оптимальных по экономическим соображениям, конструктивных параметров подземного аккумулирующего бункера алгоритм функционирования должен предусматривать максимально возможное опорожнение бункера к моменту начала максимума энергосистемы.

Определим основные соотношения алгоритма функционирования, связывающего отдельные параметры технологического процесса транспортирования твердого материала:

$$Q_1(t) = Q_{нач} + \sum_{p=1}^t X_{1p} \times 1 - \sum_{i=1}^{n'} \frac{[\pm(-1)^i + 1]}{2} \times \sum_{j=1}^{k'} \bar{X}_2 \times 1 \quad (1)$$

$$T_{алг} \geq t \geq 1; \quad n \geq n' \geq 1; \quad \left[\begin{array}{l} k_i \geq k'_i \geq 1 - \text{для } i = n' \\ k'_i = k_i - \text{для } i < n' \end{array} \right]$$

$$Q_2 = \bar{X}_2 \times t_y \text{ или } Q_2 = \bar{X}_3 \times t_y, \text{ так как для} \quad (2)$$

одного цикла подъёмной установки справедливо равенство:

$$\bar{X}_2 = \bar{X}_3$$

$$\frac{[\pm(-1)^i + 1]}{2} \times \bar{X}_2 \times k_i = Q_2 \times n_{\text{ци}}, \text{ где } i = \overline{1, n},$$

тогда имеем:

$$n_{\text{ци}} = \frac{[\pm(-1)^i + 1] \times \bar{X}_2 \times k_i}{2 \times Q_2} \quad (3)$$

Для вышеприведенных уравнений обязательным является выполнение тождества:

$$T_{\text{алг}} = \sum_{i=1}^n k_i, \quad t = \sum_{i=1}^{n'-1} k_i + k'_{n'}$$

где $\frac{[\pm(-1)^i + 1]}{2}$ - логический оператор, принимающий два значения: «истинно» (1) и «ложно» (0) для соответствующих значений величины i и выбранного знака «+» или «-».

Для логического оператора принят знак «+» если $Q_{\text{нач}} < Q_{1\text{гр}}$, а знак - «-» если $Q_{\text{нач}} \geq Q_{1\text{гр}}$,

где $Q_{\text{нач}}$ - количество твердого материала в подземном аккумуляющем бункере к моменту начала выполнения нового цикла в алгоритме функционирования транспортного комплекса, м^3 ;

$Q_{\text{кон}}$ - количество твердого материала в подземном аккумуляющем бункере к моменту окончания выполнения цикла в алгоритме функционирования транспортного комплекса, м^3 ;

t - длина интервала времени от начала выполнения цикла алгоритма функционирования до момента определения величины Q_1 (текущее время выполнения цикла), мин;

$T_{\text{алг}}$ - продолжительность одного цикла в алгоритме функционирования, мин;

n - общее число интервалов времени в одном текущем цикле алгоритма функционирования;

n' - общее количество интервалов времени в алгоритме, охваченных промежутком времени длительностью t ;

k_i - количество минут в i -ом временном интервале алгоритма, мин;

k'_i - количество рассматриваемых минут в i -ом временном алгоритмическом интервале, мин;

t_y - длительность выполнения подъемной установкой одного транспортного цикла, мин;

n_{ci} - количество циклов по подъему груза подъемной установкой в i -ом алгоритмическом интервале времени.

За алгоритмический временной интервал принят произвольный временной интервал на диаграмме грузопотоков $X_2(X_3)$.

Рассмотрим структуру алгоритма рационального функционирования механизмов транспортного комплекса шахты:

$$T_{алг} \geq t \geq 0$$

τ - множество минут выполнения алгоритмического цикла;

τ_1 - множество минут выполнения алгоритмического цикла в условиях максимума энергосистемы.

$$\tau_2 = \tau_1, \text{ т. е. } \tau_1 \cup \tau_2 = \tau \text{ и } \tau_1 \cap \tau_2 = \emptyset$$

$$X_2 = \begin{cases} \frac{Q_2}{t_y} > 0 \text{ при } Q_1 \geq Q_{гр}, \text{ если транспортные механизмы функционируют} \\ 0 \text{ при } Q_1 \leq Q_1^{\min}, \text{ если механизмы не функционируют} \\ Z \text{ при } Q_{1гр} > Q_1 > Q_1^{\min} \\ [0] \text{ если } t \subset \tau_1 \end{cases} \quad t \subset \tau_2 \quad (4)$$

Параметр Z соответствует значению X_2 , которое определяется последним выполнившимся соотношением.

Условиями свободного протекания процесса добычи и транспортирования твердого материала является:

$$X_1 \geq 0 \text{ при } Q_1 \leq Q_1^{\max} \quad (5)$$

В случае если отсутствует минутный грузопоток твердого материала в аккумулирующий подземный бункер $X_1 = 0$, а значение Q_1 превышает Q_1^{\max} , то работа транспортного комплекса должна быть принудительно прекращена.

На рис. 3 приведена реализация алгоритма функционирования транспортного комплекса для одного из реальных условий работы

шахты, а на рис.4 построена диаграмма изменения его минутного грузопотока $X_2(X_3)$.

В течение времени выполнения алгоритмического цикла $T_{алг}$ (рис.3), непрерывно отслеживаются текущие значения величин Q_1 и $Q_{1гр}$, а затем осуществляется их сравнение.

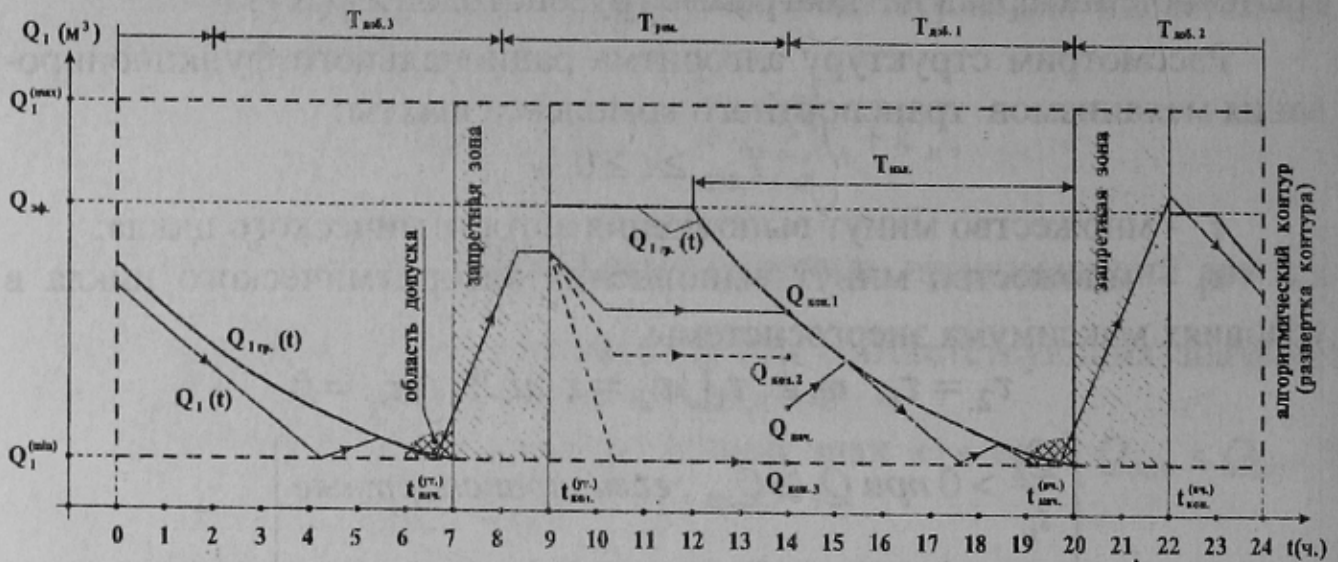


Рисунок 3 – Алгоритм эффективного функционирования транспортного комплекса шахты

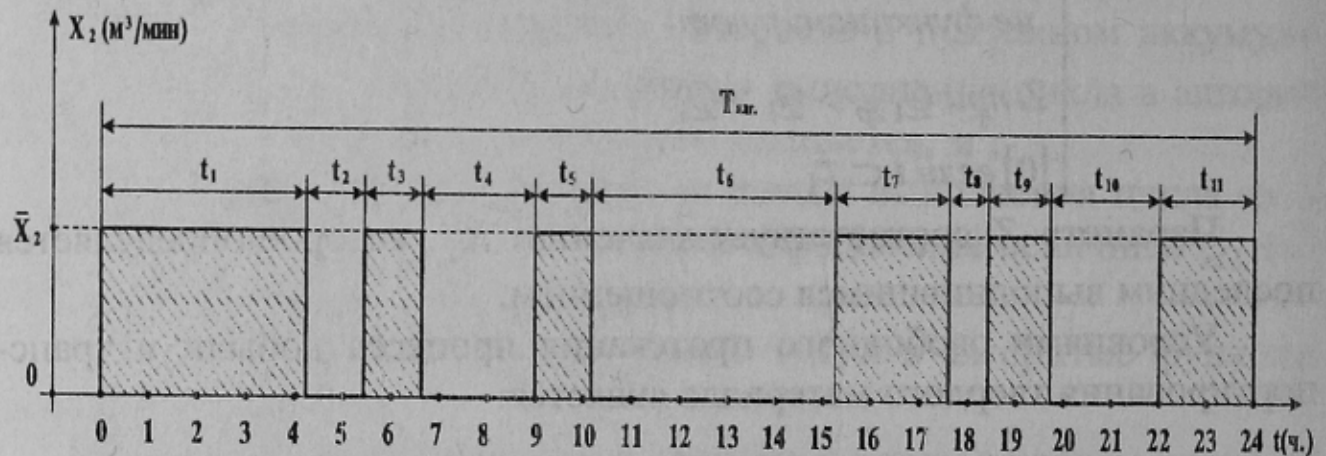


Рисунок 4 – Диаграмма изменения минутного грузопотока

По результатам сопоставления значений этих величин, а также текущему значению времени выполнения алгоритмического цикла t принимается решение о том оставить механизмы грузозачного комплекса и подъемной установки в рабочем состоянии или произвести их отключение. Значение величины Q_1 находится в функциональной зависимости (1) от начального момента времени определения значения этой величины t , статистических ха-

рактик минутного грузопотока X_1 , начального количества материала в аккумулирующем бункере $Q_{нач}$, а также от выбранного вида алгоритма функционирования и реальных условий его реализации.

Величина $Q_{1гр}$ зависит от начального момента времени t определения ее значения, производительности загрузочного комплекса и подъёмной установки \bar{X}_2 , эффективного количества твердого материала в аккумулирующем бункере $Q_{эф}$, а также вида зависимости $\bar{X}_{1(t_{уср})}^{max}$ и её числовых характеристик. Функциональные зависимости для нахождения величины $Q_{1гр}$ имеют вид:

$$Q_{1гр} = Q_{эф} \quad \text{при } t < t_{нач} - T_{изл}$$

$$Q_{1гр} = Q_{эф} - \sum_{d=1}^D \left[\bar{X}_2 - \bar{X}_{1(t_{уср})}^{max} \right] \quad \text{при } t \geq t_{нач} - T_{изл} \quad (6)$$

где $Q_{эф}$ - эффективное количество твердого материала в аккумулирующем бункере, при котором аккумулирующий бункер используется наиболее рационально, м³;

D - количество минут во временном интервале длительностью $T = t - t_{нач} + T_{изл}$, мин;

$\bar{X}_{1(t_{уср})}^{max}$ - максимальное значение из усредненных по времени, минутных грузопотоков $\bar{X}_{1(t_{уср})}$. Оно является функцией времени усреднения $t_{уср} = t_{нач} - t$, вид и числовые характеристики, которой определяются статистически в м³/мин.

Рассмотрим зависимости (6) для нахождения значения величины $Q_{1гр}$. Графически данная зависимость представляет собой ломаную линию, состоящую из двух частей, соединённых изломом. Одна линия описывается уравнением $Q_{1гр} = Q_{эф}$, а вторая уравнением вида:

$$Q_{1гр} = Q_{эф} - \sum_{d=1}^D \left[\bar{X}_2 - \bar{X}_{1(t_{уср})}^{max} \right].$$

Алгоритмический цикл условно разбивается на две части, которые отделены друг от друга временными "запретными зонами" (рис.3). Для обеих частей охранный кривая (граница) $Q_{1гр}$ имеет одинаковый вид и числовые характеристики. Время излома характеристики $T_{изл}$ определяет длительность бесперебойной работы загрузочного комплекса и подъёмной установки для сни-

жения количества материала в аккумулирующем бункере с $Q_{эф}$ до Q_1^{\min} при условии равенства среднего значения минутного грузопотока \bar{X}_1 за время $T_{изл}$ значению $\bar{X}_{1(t_{уср}=T_{изл})}^{\max}$. Из (6) следует, что наклон касательной в каждой точке данной кривой задается разностью величин $\bar{X}_{1(t_{уср})}^{\max}$ и \bar{X}_2 , а значение величины $\bar{X}_{1(t_{уср}=t)}^{\max}$ при этом соответствует текущему времени выполнения алгоритмического цикла:

$$x_1 - x_2 = \frac{dQ_1}{dt} \text{ или } X_1 - X_2 = \frac{\Delta Q_1}{\Delta t} \quad (7)$$

$$\bar{X}_{1(t_{уср})}^{\max} - \bar{X}_2 = \frac{\Delta Q_{1,ф}}{\Delta t} \quad (8)$$

Исходя из определения величины $T_{изл}$, находим:

$$T_{изл} = \frac{Q_{эф} - Q_1^{(\min)}}{X_2 - X_{1(t_{уср}=T_{изл})}^{\max}}$$

Однако, в данном уравнении имеются две неизвестные величины - $T_{изл}$ и $\bar{X}_{1(T_{изл})}^{\max}$. Значение величины $\bar{X}_{1(T_{изл})}^{\max}$ связано не только с параметрами процесса добычи и транспортирования твердого материала, но и с условиями проведения статистического анализа при ее нахождении. При статистическом анализе значение минутного грузопотока существенно зависит от времени усреднения $t_{уср}$, т.е. с ростом размера интервала группирования $t_{уср}$ и постоянном объеме выборки снижается максимальное из усреднённых значений этой величины. На рис.5 приведена зависимость величины $\bar{X}_{1(t_{уср})}^{\max}$ от размеров интервала группирования.

Таким образом, получаем систему уравнений с двумя неизвестными величинами:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_{1(T_{изл})}^{\max} = \bar{X}_2 - \frac{Q_{эф} - Q_1^{\min}}{T_{изл}} = f_1(T_{изл}) \\ \bar{X}_{1(t_{уср})}^{\max} = f_2(t_{уср}) \end{array} \right. \quad (9)$$

Условием решения системы уравнений (9) является равенство времени усреднения $t_{уср}$ времени излома характеристики $T_{изл}$ (рис.3). Для этого необходимо определить такую величину $t_{уср} = T_{изл}$, при которой значения величин $\bar{X}_{1(t_{уср})}^{max}$ и $\bar{X}_{1(T_{изл})}^{max}$ для обеих функциональных зависимостей оставались одинаковыми. Графическим решением системы (9) будет точка пересечения двух зависимостей, а координатами этой точки будут искомые значения величин $\bar{X}_{1(T_{изл})}^{max}$ и $T_{изл}$. Пример решения системы (9) приведен на рис.5.

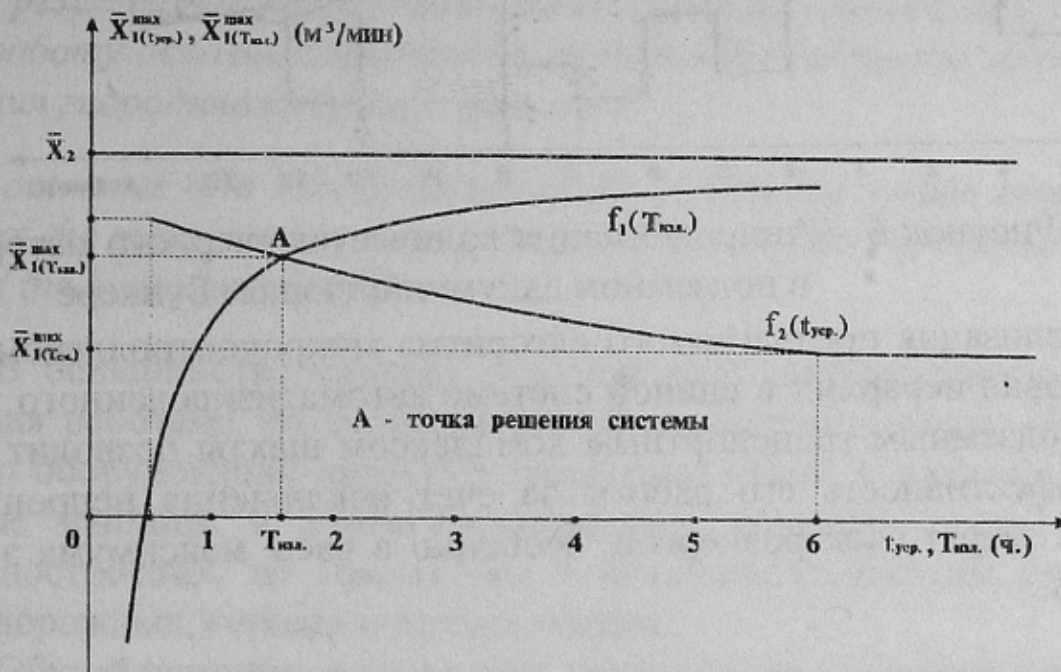


Рисунок 5 – Определение текущего времени эффективной работы транспортного комплекса шахты

При построении алгоритма управления (рис.3) использована упрощённая графическая зависимость $Q_1 = f(t)$, имеющая в действительности более сложный вид. На рис.6 приведена линейная аппроксимация зависимости $Q_1 = f(t)$.

Таким образом, предлагаемый алгоритм управления содержит два алгоритмических блока обработки: текущего значения времени выполнения алгоритмического цикла и мгновенного значения количества твердого материала в подземном аккумулирующем бункере, которые функционируют в соответствии с выражениями (4) и (5).

В состав системы автоматизированного управления также должны входить: устройство формирования функциональной зависимости $\bar{X}_{1(t_{уср})}^{max} = f(t_{уср})$, аппаратура контроля количества твердого материала

ла в аккумуляруючому бункері Q_1 , а також локальні засоби автоматизації вантажної підйомної установки і підземного загрузочного комплексу [3].

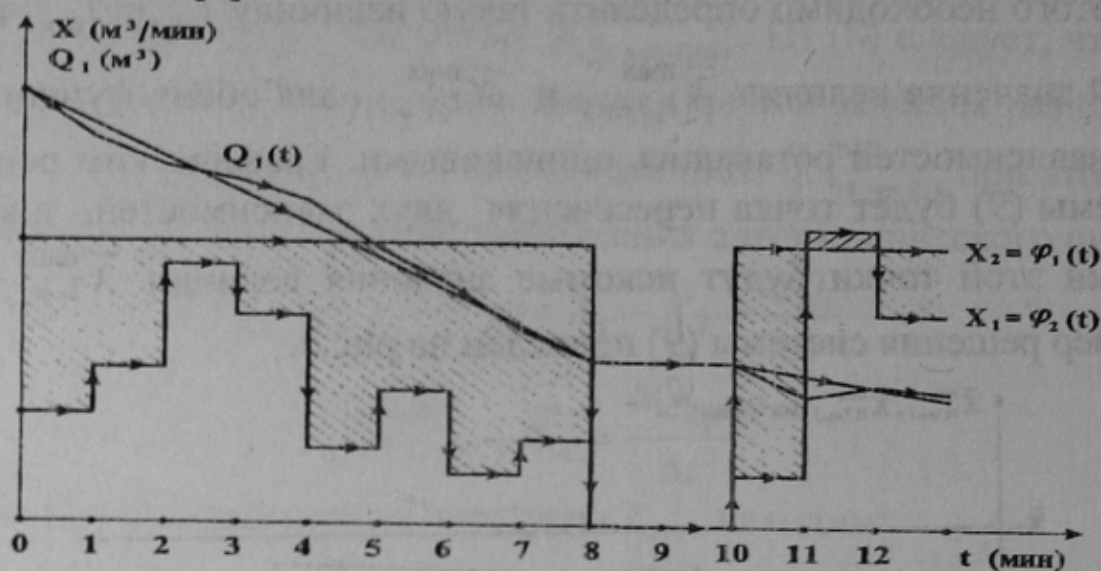


Рисунок 6 – Аппроксимация количества твердого материала в подземном аккумулярующем бункере

Реалізація пропонуваного алгоритму мікроконтролером середнього рівня ієрархії в єдиній системі автоматизованого управління підземним транспортним комплексом шахти дозволить підвищити ефективність його роботи за рахунок виключення непродуктивних витрат електроенергії, особливо в години піку енергосистеми.

Список источников.

1. Романенко В.Д., Игнатенко Б.В. Адаптивное управление технологическими процессами на базе микроЭВМ. Киев: Вища школа, 1990. – 334 с.
2. Справочник по автоматизации шахтного конвейерного транспорта//Н.И. Стадник и др. Киев: Техника, 1992. – 438 с.
3. Автоматизация процессов подземных горных работ/ Под ред. А.А. Иванова. Киев; Донецк: Вища школа, 1987. – 328 с.