

С.Н. Проценко, канд. техн. наук

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Доля энергопотребления конвейерного транспорта на угольных шахтах составляет от 8 до 15% общешахтного потребления электроэнергии [1]. При этом конвейерная линия, длина которой доходит до 5 – 7 км и более, практически работает полную смену с нагрузкой, не превышающей 30 – 40% от номинальной.

Основные пути снижения энергопотребления конвейерного транспорта:

1. Повышение эффективности времени работы конвейера. Это достигается введением автоматического управления загрузкой конвейерной сети, что сводит к минимуму холостой пробег конвейерного транспорта.

2. Снижение холостого пробега при пуске и останове конвейерных линий. Для этого необходимо обеспечить мониторинг грузопотока на конвейерной линии, что позволит отключать конвейерные установки по мере освобождения их от груза в процессе останова всей сети, а также включать конвейерные установки по мере появления грузопотока от источников его поступления.

3. Исключение "тяжелых" пусков конвейерных установок. Как показывает опыт, отключение конвейеров под грузом происходит в основном из-за переполнения сборного околоствольного бункера, а также участковых бункеров. Применение уровнемеров для контроля уровня заполнения бункеров позволит заблаговременно определить время прекращения подачи грузопотока от его источников, а мероприятия по п.2 позволят экономично отключить разгруженные конвейерные установки. Кроме этого пуск останов разгруженных конвейеров позволит существенно повысить время эксплуатации конвейерной ленты и долговечность стыков ленты, а также повысить безопасность эксплуатации конвейерного транспорта.

4. Снижением установленных мощностей конвейерных установок путем усредняющих или аккумулялирующих бункеров на добычных участках для сглаживания пиковых нагрузок на конвейерную сеть.

В настоящее время есть все предпосылки для выполнения поставленной задачи. Большинство шахт отрасли оборудованы участковыми бункерами. Их применение позволяет управлять распределением грузопотока на сборных, магистральных конвейерах. Однако эффективность бункеризации недостаточна вследствие отсутствия общешахтной системы координации управления грузопотоками в целом. Кроме того, применение усредняющих бункеров без централизованного управления выгрузкой увеличивает вероятность "тяжелого" пуска конвейерных установок и увеличивает нагрузку на конвейерную ленту. Неуправляемое поступление грузопотока на конвейерные линии увеличивает вероятность пересыпа в местах объединения грузопотока. Управление питателя-

ми бункеров по принципу "разгрузки на пустую ленту" ставит в худшие условия бункеры, расположенные ближе к околоствольному бункеру. Отсутствие мониторинга грузопотока ухудшает возможности транспортной системы по раздельному транспортированию угля и породы, что в конечном итоге ведет к снижению качества добываемого угля. Кроме этого, управление конвейерным транспортом производится диспетчером "в слепую", так как отсутствует информация об уровнях в бункерах и работе добычных участков.

В последнее время для управления подземным оборудованием все чаще применяются современные микропроцессорные системы управления [2]. Они обеспечивают не только функции блокировок и телемеханического управления, но и сбор, и обработку информации от сопутствующего оборудования, передачи ее на поверхность. В качестве пультов управления технологическим процессом здесь используются высокопроизводительные компьютеры. Использование современного программного обеспечения, SCADA систем для программирования таких пультов управления решает задачи не только визуализации технологических процессов, но и задачи управления технологическими процессами горных предприятий.

При разработке алгоритма управления грузопотоками основным критерием функционирования транспортной системы является обеспечение ритмичной работы добычных комплексов.

Для большинства угольных шахт типичной является следующая технологическая схема добычи и транспортирования угля. Выемка угля осуществляется механизированными комплексами. В состав комплекса входит очистной комбайн, скребковый конвейер и щитовая механизированная крепь. По лаве отбитый уголь транспортируется скребковым конвейером до сборного штрека, где перегружается на скребковый перегружатель, а затем на ленточный конвейер (сборный штрек). Уголь со сборного штрека по участковым ленточным конвейерам поступает в участковый накопительный бункер, оборудованный питателем. С участковых бункеров с помощью питателей уголь поступает на магистральную конвейерную линию, которая транспортирует его к загрузочным устройствам ствола.

В угольных шахтах на участковые конвейерные линии, как правило, работает одна, в отдельных случаях две лавы. Поэтому для управления грузопотоком участковых конвейеров достаточно синхронизировать время работы участковых конвейеров с работой лавы.

Участковые накопительные угольные бункера используются, чтобы сгладить неритмичность поступления грузопотока от лав и устранить простои лав по вине отказов транспортной системы шахты. Кроме этого, в последнее время они используются с целью снижения затрат на электроэнергию, давая возможность не включать конвейера в моменты часа "пик".

При такой структуре конвейерной сети для исследования возможности управления грузопотоками достаточно смоделировать участок магистральной конвейерной линии совместно с работой бункеров и питателей. Как будет показано ниже, рациональной будет настройка каждого питателя таким образом, чтобы один или два питателя обеспечивали максимальную производительность

конвейера. При этом исключается недогруз конвейерной линии по причине останова одной из лав и отсутствия материала в бункере. Дополнительным условием для включения питателя будет наличие под питателем свободного пространства на конвейере.

В качестве критерия управления питателями бункеров предлагается использовать рациональный уровень, относительно которого осуществлять двухпозиционное управление. Рациональный уровень определялся из следующих рассуждений. При останове конвейерного транспорта участки должны иметь приблизительно одинаковый запас по времени работы на бункер. Рациональный уровень для бункера вычислялся по формуле

$$h_{jb} = h_{j \max} - \frac{Q_{jl} \cdot \sum_{i=1}^k [(h_{i \max} - h_{ib}) \cdot S_{ib}]}{S_{jb} \cdot \sum_{i=1}^k [Q_{il}]}, \quad (1)$$

где Q_{jl} – производительность j -й лавы; $h_{i \max}$ – максимальная высота бункера; h_{ib} – текущий уровень в бункере; S_{ib} – сечение бункера.

При работе на магистральную линию нескольких бункеров с питателями задача управления заключается в определении производительности и времени включения каждого питателя при условии обеспечения максимальной производительности конвейерной линии.

$$\sum Q_{Pi} \leq Q_{M \max}. \quad (2)$$

Качающиеся питатели, устанавливаемые на бункерах, настраиваются на заданную производительность амплитудой качания лотка. Это ограничивает возможность применения управления производительностью.

При таком подходе в задаче управления необходимо определить: последовательность включения питателей; рациональные средние уровни в бункерах; значения уровней, при которых осуществляется включение и выключение питателей по каждому бункеру; максимально допустимое отклонение от среднего значения уровня в бункере при скачивании материала с бункеров.

Для обеспечения требований к системе управления, описанных в п.3, предлагается управление системой конвейерного транспорта осуществлять по имитационной модели конвейерной сети. Это позволит осуществлять учет грузопотока в транспортной сети, контролировать продвижение грузопотока от различных источников вдоль конвейерной сети, прогнозировать и избегать наложения грузопотоков, приводящих к перегрузке конвейерной ленты.

Так как управлять поступлением грузопотока от добычных участков к накопительным бункерам можно только, приостанавливая работу лавы, что недопустимо, при моделировании ограничимся участками сети от аккумулирующих участков бункеров до околоствольного бункера.

Любую разветвленную конвейерную сеть можно привести к линейной структуре. При этом каждый источник грузопотока будет характеризоваться двумя параметрами: средней производительностью и транспортным запаздыванием относительно околоствольного бункера. Поступление грузопотока от бункеров предполагается порционно, пакетом фиксированной длины. Вся конвейерная сеть разбивается на фрагменты, равные длине пакета. Так как скорость движения конвейеров постоянна, положение фрагмента в сети будет определяться начальным транспортным запаздыванием и временем работы конвейерной сети.

Предлагаемый алгоритм управления питателями бункеров основывается на предварительном распределении всего конвейерного пространства и закреплении отдельных фрагментов конвейерной сети за пакетами от конкретных бункеров. Вычисление условия закрепления пакета производится следующим образом. Определяется время движения фрагмента сети до бункера. Для каждого вычисленного времени определяются прогнозируемые уровни и разность его и рационального. Пакет закрепляется за тем бункером, для которого превышение над рациональным максимально. Если производительность питателей выбирается равной половине производительности конвейера, то из значений разностей строится массив, который сортируется по убыванию значений, и фрагмент фиксируется за первыми двумя бункерами из этого массива. Прогноз значения уровня выполняется на основании плановой производительности лавы.

Распределение конвейерного пространства производится в начале работы исходя из текущих начальных уровней в бункерах и сменного заданию каждого участка на время равное:

$$T_{рас.макс} = E' (T_{зап.макс} / T_{пак}) \cdot T_{пак} + T_{пак}, \quad (3)$$

где $T_{зап.макс}$ – максимальное транспортное запаздывание в системе; $T_{пак}$ – длительность пакета.

После предварительного распределения система запускается в работу. Шаг работы системы – 1 минута. На каждом шаге производится выгрузка части пакета на конвейерную линию и движение груза по конвейерной сети.

Процесс выгрузки пакета с бункера имитируется записью в элемент массива сети значения, равного минутной производительности питателя. Значение записывается в ячейку массива с транспортным запаздыванием, равным транспортному запаздыванию бункера и только в том случае, если в массиве предварительного распределения ячейка закреплена за этим бункером. Уровни в бункерах вычисляются с учетом работы питателя и плановой производительности лавы. Параллельно движению грузопотока производится продвижение и распределенных ячеек в массиве распределенного конвейерного пространства.

$$H_{ibunk} = H_{ibunk} + (Q_{ilav} - Q_{pit}) / S_{ib}, \quad (4)$$

где Q_{ilav} – текущая производительность лавы; Q_{pit} – производительность питателя.

После продвижения грузопотока на время, равное длине пакета, производится распределение последнего участка в массиве предварительно распределенного конвейерного пространства. Для этого последовательно рассчитываются рациональные уровни для каждого бункера. Прогнозируемый уровень рассчитывается на момент, когда фрагмент который будет находиться под питателем. При этом учитывается планируемая производительность участка и груз, для которого уже распределено место на конвейерной сети. Участок распределяется за тем бункером, у которого будет максимальное превышение прогнозируемого расчетного уровня над рациональным.

$$H_{i\text{prog}} = H_{ibunk} + ((T_{\text{рас.макс}} - T_{izap}) \cdot Q_{ilav} - V_{iotgr}) / S_{ib}, \quad (5)$$

где T_k – текущее время; T_{izap} – транспортное запаздывание i -го бункера; V_{iotgr} – количество груза которое будет выгружен на зарезервированное пространство.

Так как на каждом шаге при вычислении рациональных уровней в уравнениях участвует текущее значение уровней в бункерах, то происходит коррекция модели, связанная с погрешностью, вызванной отклонением мгновенного значения производительности добычного участка от планового.

Проверка алгоритма управления производилась на программной модели. При этом неравномерность грузопотоков производительности лав задавалась с помощью файлов реальных реализаций токов двигателей очистных комбайнов, снятых экспериментально, с учетом того, что мгновенная производительность участка пропорциональна току потребления комбайном. Тогда, зная количество угля, добытого за смену, можно перейти к секундным и минутным значениям производительности комбайна. Графики минутных производительностей приведены на рис. 1. Как видно, грузопотоки из лавы имеют случайный характер. Оценка результатов моделирования производилась по дисперсии отклонения текущих значений от рациональных уровней в бункерах.

Исследование алгоритма управления на модели конвейерной сети угольной шахты показали, что алгоритм управления обеспечивает заданные показатели управления при различных значениях и распределениях производительностей добычных участков. Диапазон регулирования длины пакета позволяет подобрать необходимую длину пакета для различных технологических задач.

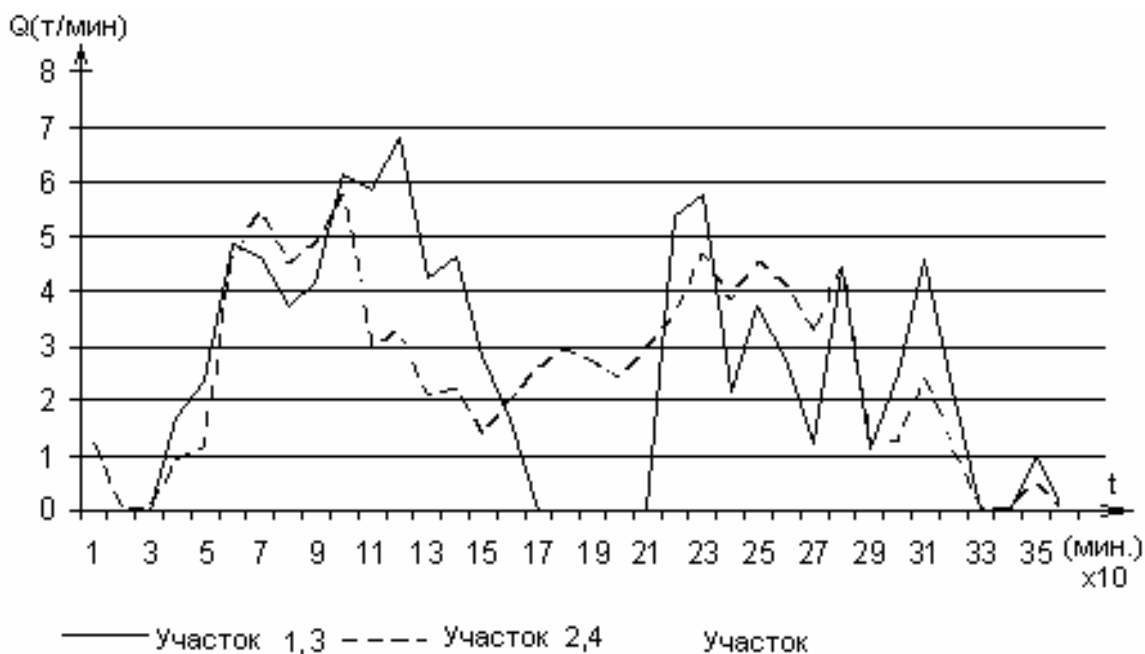


Рис. 1. Изменение интенсивности грузопотока от участков в течение смены

Пространственное расположение бункеров незначительно влияет на колебания ошибки поддержания заданного уровня в бункерах и не влияет на эффективность использования конвейерного транспорта. Исследования модели с применением ранее записанных реализаций токов добычных комбайнов для моделирования грузопотоков показали возможность применения алгоритма управления на угольных шахтах, однако при прогнозировании уровней в бункерах необходимо использование плановой производительности лавы, а не мгновенной, при этом дисперсия отклонения текущих уровней в бункерах от рациональных меньше.

Заданный алгоритм управления предполагает наличие в системе управления конвейерным транспортом информационной линии связи, обеспечивающей обмен данными между контроллерами, установленных для управления конвейерными установками и питателями. Кроме этого предполагается, что бункеры оснащены измерителями уровня непрерывного действия, и пульт управления позволяет, кроме задач дистанционного управления конвейерными установками, решать прикладные задачи формирования грузопотока.

Рассмотрим требования, предъявляемые к контроллеру управления грузопотоками при пакетной отгрузке. Контроллер должен иметь: двухстороннюю информационную связь с пультом управления; контроллер должен иметь возможность получать информацию о плановой производительности добычного комплекса; контроллер должен управлять аппаратами загрузки конвейерной линии или выдавать сигналы управления светофором загрузки; контроллер должен иметь возможность фиксировать моменты прохождения начала и конца пакетов на конвейерной линии. Для этого в контроллере предусмотрены часы текущего (или реального) времени, сигнальный вход с датчика наличия грузопотока и канал ввода информации об уровне угля в бункере.

Структурная схема контроллера системы управления нижнего уровня для одного пункта загрузки представлена на рис. 2. Для подключения к линии связи САУКЛ, в контроллере предусматривается гальваническая развязка линии связи. Линия связи в САУКЛ представляет собой токовую петлю.

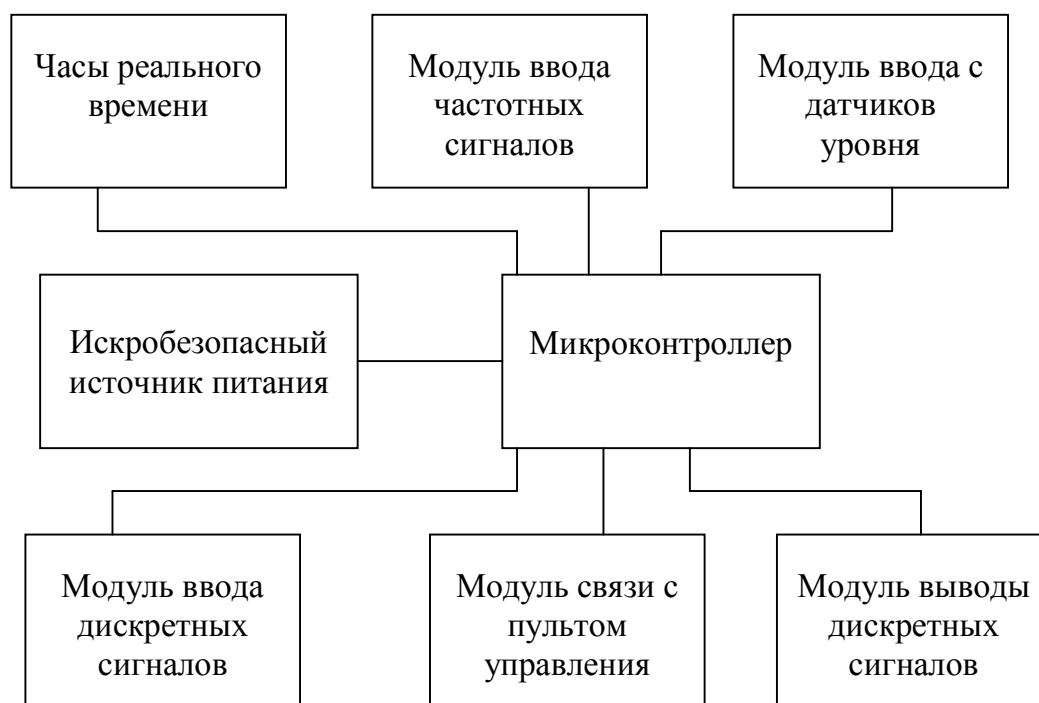


Рис. 2. Структурная схема контроллера системы управления нижнего уровня

В качестве датчика наличия груза на ленте используется ролик, закрепленный на 20-30 мм ниже соседних. При отсутствии груза на ленте ролик не вращается. Появление грузопотока приводит к прогибу ленты, она опирается на ролик и он начинает вращаться.

Датчиком вращения служит датчик типа ДМ или УПДС. Эти датчики являются генераторными и не требуют питания.

В контроллере управления нижнего уровня системы управления грузопотоком кроме функций управления питателем и блокировок, добавлена функция ввода информации с измерителя уровня. В случае непрерывного измерения уровня во всем диапазоне высоты бункера – это простое считывание информации с измерительного устройства и передача его в центральный вычислитель с фиксацией времени измерения. В последнее время на рынке средств автоматизации появились бесконтактные измерители уровней сыпучих веществ, работающие на радиолокационном принципе и позволяющие измерять уровни в бункерах с высотой до 60 метров с точностью 30 – 150 мм. Этого вполне достаточно для получения информации о грузопотоке, поступающего от добычных участков. Эти уровнемеры, как правило, имеют аналоговый или цифровой выход, что позволяет использовать их практически с любой микропроцессорной системой управления. На рынке эти уровнемеры представлены следующими моделями: РДУ-Х2 фирмы "Исток" производства Россия, VEGAPULS 68 фирмы Vega Grieshaber KG производства Германия, Rosemount серии 5400 производства Швеции.

Если уровень измеряется дискретными датчиками, контроллер производит прогнозирование значения уровня на момент опроса по времени перехода уровня, границ срабатывания датчика с учетом производительности питателя в момент выгрузки.

Формирование сообщений в пульт производится сохранением значений переменных уровня и времени измерения в специально отведенных страницах ОЗУ. При циклическом опросе эти значения отсылаются в пульт.

Программа управления грузопотоками для угольных шахт с накопительными бункерами является приложением Windows. Она написана на языке C++. Программа обеспечивает выполнение алгоритма управления грузопотоками, а также визуализацию распределения уровней в бункерах и грузопотока на магистрали. Оперативную информацию о работе объекта управления программа получает из таблицы "Буфер Результатов" базы данных пульта управления САУКЛ, а передачу команды управления, записью в таблицу "Быстрая Очередь Команд".

База данных пульта управления состоит из нескольких таблиц [2]. Для задачи управления грузопотоком мы используем такие таблицы: "Быстрая Очередь Команд", "Доступные Команды", "Буфер Результатов".

В таблице "Быстрая Очередь Команд" временно хранятся команды, поступающие от пульта к контроллерам. Это "Код Пульта" – уникальный код пульта, отдавшего команду, "Контроллер" – номер контроллера, "Код Команды" – одна из допустимых команд. Описанные в таблице "Доступные Команды", "Параметр" – номер страницы ОЗУ, "Строка Параметров" – дамп страницы (8 байт), т.е. параметры, передаваемые от пульта контроллеру и от контроллера пулту.

В таблице "Буфер Результатов" отображаются результаты выполнения команд, описанных в таблице "Быстрая Очередь Команд".

Для организации связи между пультом управления и БУК управляющая программа имеет доступ к базе данных пульта с использованием ODBC.

Программа пульта отслеживает состояние бункера и состояние конвейера. На основании этих данных принимается решение начать/завершить отгрузку, нужно ли резервировать место на конвейере для бункера.

Перед началом работы конвейера подсчитывается рациональный уровень для бункеров.

По текущему уровню в бункерах определяем последовательность, в которой бункеры будут резервировать для себя место на конвейере. Первым резервирует место тот бункер, у которого наибольшее превышение уровня над рациональным.

Минимальное количество пакетов, резервируемое для бункера, 30. Поэтому анализируется свободное место на конвейере и, если места достаточно, для того чтобы отгрузить все 30 пакетов, место резервируется. Если места недостаточно, право резервирования ячеек переходит к следующему бункеру.

Резервировать ячейки бункеру необходимо тогда, когда уровень в бункере превысит рациональный на уровень одного пакета.

В тот момент времени, когда у каждого бункера текущий уровень будет меньше рационального на уровень одного пакета, рациональный уровень бункеров пересчитывается и устанавливается меньше расчетного на уровень равный одному пакету.

Далее алгоритм распределения ячеек между бункерами повторяется.

При работе системы управления грузопотоками используется канал связи САУКЛ, при этом контроллерам нижнего уровня системы управления грузопотоков присваиваются номера из возможных номеров конвейеров, и используются две команды из протокола работы с блоками управления конвейерами "Чтение страницы ОЗУ" и "Запись страницы ОЗУ". Как было сказано выше, передача команд обмена информацией с контроллерами нижнего уровня производится записью их в буфер "Очередь Команд" пульта управления САУКЛ. Программа "Ядро пульта управления" последовательно вычитывает команды из "Очереди команд" и выталкивает в линию связи. Принятые ответы складываются в таблицу "Буфер Результатов" откуда вычитываются программой управления грузопотоком.

Таким образом, для управления грузопотоками на конвейерном транспорте, при наличии накопительных бункеров, используется серийно выпускаемая система автоматизированного управления конвейерным транспортом САУКЛ. При этом используется канал связи САУКЛ и пульт управления. Кроме этого система дополняется контроллерами управления питателями.

Список литературы

1. Компьютерная система автоматизированного управления конвейерным транспортом / В.В. Ткачев, Н.В. Козарь, С.Н. Проценко, В.И. Шевченко // Горн. журн. – 1999. – № 6. – С. 48-51.
2. АОЗТ "Инстройсервис". Руководство по эксплуатации САУКЛ4.00.000 РЭ. – Д.: 2003. – С. 9-18.
3. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 80 с.