

В. В. ТКАЧЕВ, С. Н. ПРОЦЕНКО (Национальный горный университет Украины, Днепропетровск)

УПРАВЛЕНИЕ ГРУЗОПОТОКАМИ НА КОНВЕЙЕРНОМ ТРАНСПОРТЕ

Проведено аналіз можливості керування вантажопотоками вугільних шахт, що використовують накопичувальні бункери для усереднення потоку від добувальних ділянок, на основі імітаційної моделі конвеєрної мережі з використанням попереднього розподілу конвеєрного простору, на базі апаратури САУКЛ з метою стабілізації вантажопотоку та виключення просипу матеріалу при транспортуванні.

Проведен анализ возможности управления грузопотоками угольных шахт, использующих накопительные бункеры для усреднения потока от добычных участков, на основе имитационной модели конвейерной сети с использованием предварительного распределения конвейерного пространства, на базе аппаратуры САУКЛ с целью стабилизации грузопотока и исключения потерь при транспортировании.

The analysis of control capability of the freight traffic volumes in coal mines, which use storage bunkers for averaging a flow from the mining sections, is carried out on the basis of imitation model of conveyor network with the use of predistribution of conveyor space, on the base of equipment SAUKL for the purpose of stabilizing the freight traffic volume and avoiding the losses during transportation.

Увеличение производительности добычных комплексов на угольных шахтах повышает требования к надежности технологических процессов шахты. Одной из актуальных проблем является обеспечение бесперебойной работы транспорта. Наиболее перспективным видом транспорта на угольных шахтах является конвейерный транспорт. Но по-настоящему эффективным конвейерный транспорт станет, если его работа будет увязана со всем технологическим комплексом: добычным комплексом, участковыми конвейерами, накопительными бункерами, магистральными конвейерами.

В последнее время для управления подземным оборудованием все чаще применяются современные микропроцессорные системы управления. Они обеспечивают не только функции блокировок и телемеханического управления, но и сбор и обработку информации от сопутствующего оборудования, передачу 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 новые задачи управления технологическими процессами горных предприятий.

В Национальном горном университете Украины разработана система автоматизированного управления конвейерными линиями

(САУКЛ) [1]. Помимо основной функции управления конвейерными механизмами, она позволяет осуществлять сбор информации о технологических процессах, а также осуществлять дискретное управление оборудованием. Архитектура пульта управления САУКЛ позволяет, кроме задач управления конвейерами, решать параллельно другие задачи, обеспечивает обмен технологической информацией и передачу команд управления. На этой основе появилась возможность создания единой системы управления грузопотоком.

При конвейерной доставке угля вся конвейерная линия от забоя до ствола должна работать практически непрерывно всю смену. При проектировании конвейерного транспорта горных предприятий исходят из максимальной суммарной производительности добычных участков. При этом происходит существенное завышение мощностей и пропускных способностей конвейерных линий [3]. При анализе реальных среднесуточных грузопотоков необходимая пропускная способность получается в полтора-два раза ниже расчетной. Такой запас был необходим при отсутствии управления грузопотоками. Важным шагом в этом направлении является бункеризация грузопотоков.

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 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:

$$\sum Q_{Pi} \leq Q_{M \max} \quad (1)$$

Качающиеся питатели, устанавливаемые на бункерах, настраиваются на заданную производительность конструктивно, амплитудой качания лотка. Это ограничивает возможность применения управления производительностью. Поэтому настройка нескольких питателей на одновременную работу нежелательна. Отказ или отсутствие материала в одном или нескольких бункерах приведет к тому, что конвейерная сеть будет работать с недогрузкой. Правильнее будет настройка всех питателей на максимальную производительность конвейера и поочередного включения их для скачивания материала.

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

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:

$$h_{jb} = h_{j \max} - \frac{Q_{jl} * \sum_{i=1}^k [(h_{i \max} - h_{ib}) * S_{ib}]}{S_{jb} * \sum_{i=1}^k [Q_{il}]} \quad (2)$$

где Q_{jl} – производительность j -й лавы;

$h_{i \max}$ – максимальная высота бункера;

h_{ib} – текущий уровень в бункере;

S_{jb} – сечение бункера.

Для уменьшения перегрева приводов питателей время их работы во включенном состоянии принимаем не менее 10 минут.

Процесс управления выгрузкой бункеров состоит из двух этапов: переходного, когда

производится вывод бункеров на рациональные уровни, и рабочий, когда в зависимости от производительности лав идет скачивание оставшегося груза или поддержание заданных уровней в бункерах.

На первом этапе определяется количество бункеров, уровни в которых превышают рациональные, и производится последовательное скачивание материала с них.

Скачивание производится следующим образом. Нумерацию производим, начиная с бункера с максимальным транспортным запаздыванием, следующие бункеры получают номера по мере уменьшения их транспортного запаздывания. Скачивание производится пакетами по 10 минут, начиная с бункера с максимальным отклонением уровня от рационального. На следующем шаге опять определяется разница в уровнях бункера с максимальным отклонением. Если отклонение в бункере, что скачивает все равно наибольшее, выгрузка продолжается еще 10 минут. Затем включается питатель следующего бункера с максимальным отклонением. Процесс продолжается, пока все уровни в бункерах станут меньше рационального. При переключении выгрузки с одного питателя на другой необходимо учитывать следующее. Если за питателем с большим номером включается питатель с меньшим номером, время включения питателя с меньшим номером определяется как:

$$T_i = T_{i-1} - T_{pak} + t_{jir} \quad (3)$$

где T_{i-1} – время включения бункера с меньшим номером ($i-1$ шаг);

t_{jir} – транспортное запаздывание бункера с большим номером;

T_{pak} – время выгрузки пакета

Это необходимо для того, чтобы исключить холостой пробег конвейеров на время транспортного запаздывания бункера с максимальным номером.

Если же за питателем с меньшим номером включается питатель с большим номером, то включение питателя с большим номером производится, когда под ним освобождается пространство.

Рабочий режим выполняется по следующим шагам.

1. Производится пересчет рационального уровня.

2. Последовательно включаются питатели бункеров с максимальным отклонением уровня от рационального.

3. Когда в бункерах уровень становится меньше разницы в один пакет, переходим к пункту 1.

4. При достижении во всех бункерах минимального уровня питатели останавливаются, и останавливается вся конвейерная сеть подбункерного пространства.

5. Следующий запуск транспортной системы производится, когда в одном из бункеров уровень достигает половины.

Последовательность включения питателей производится по максимальному отклонению прогнозируемого уровня от расчетного рационального, на момент выгрузки.

Прогнозируемый уровень рассчитывается на момент нахождения фрагмента сети под питателем.

$$H_{i\text{prog}} = H_{ibunk} + ((T_{\text{рас.макс}} - t_{itr}) * Q_{ilav} - V_{ioigr}) / S_{ib}, \quad (4)$$

где $T_{\text{рас.макс}}$ – транспортное запаздывание последнего пакета;

t_{itr} – время транспортного запаздывания для расчетного бункера;

Q_{ilav} – плановая производительность участка.

Проверка возможностей закона регулирования выполнялась на основании данных шахты «Глубокая». Имитационная модель была написана на языке Visual C++. Она состоит из нескольких программных блоков, графической оболочки ввода технологических параметров, графической оболочки визуализации и управления, а также логического или вычислительного модуля формирующего команды управления питателями. На рис. 1 приведен графический интерфейс ввода технологических параметров. С его помощью можно установить: начальные уровни в бункерах; транспортное запаздывание между бункерами; производительность участков подающих уголь в бункер; шаг автоматической работы модели без подтверждения. Здесь же находятся кнопки перехода в режим моделирования и выхода из программы.

На рис. 2 показано окно отображения результатов моделирования. На нем изображено расположение бункеров в соответствии с заданными параметрами, а также отображается движение пакетов угля от питателей и по конвейерной сети. Один шаг движения груза соответствует 30 с. Возле каждого конвейера отображается текущее значение уровня в бункере. Кроме этого имеются индикаторы отгруженных в общешахтный бункер пакетов, а также количества пакетов, находящихся на ленте. На этом же окне установлены кнопки подтверждения очередного шага и кнопка возврата в интерфейс ввода технологических параметров.

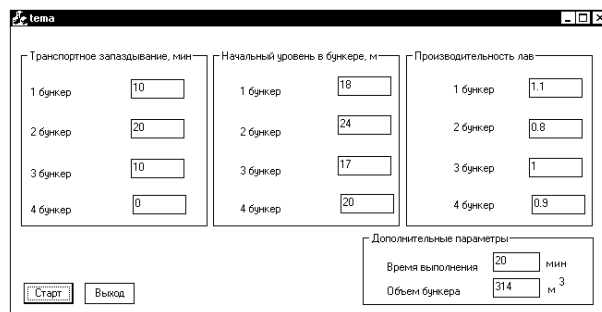


Рис. 1. Графический интерфейс ввода технологических параметров

При исследовании алгоритма управления контролировались и заносились в таблицу следующие данные: текущие значения уровней в бункерах через каждые 30 минут; расчетные рациональные уровни по каждому бункеру; отклонение текущего значения уровней от рациональных. Исследования проводились при трех значениях производительности участков 0.75, 1.0, 1.25. Результаты моделирования приведены в виде графиков рис. 3, 4, 5.

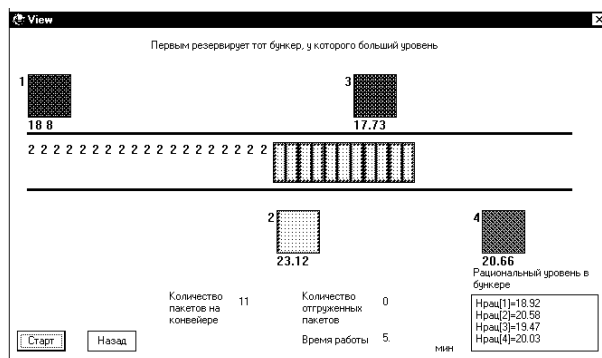


Рис. 2. Окно отображения результатов моделирования

Когда суммарная производительность участков меньше производительности конвейера, на который производится выгрузка, наблюдается снижение уровня в бункерах и выход уровней всех бункеров на расчетный рациональный уровень. Дальнейшее колебание уровней происходит возле границы одного пакета выгрузки и рациональным уровнем.

Когда суммарная производительность участков равна производительности конвейера, на который производится выгрузка, уровень остается стабильным, в допустимых диапазонах колебания. Небольшое снижение общего уровня объясняется аккумулялирующим действием конвейерного участка расположенного между бункерами.

Алгоритм управления, обеспечивающего максимальную загрузку магистральных конвейеров, при поддержании рационального уровня во всех накопительных бункерах, отно-

сится к классу задач ситуационного управления, и одним из вариантов решения подобных задач является имитационное моделирование.

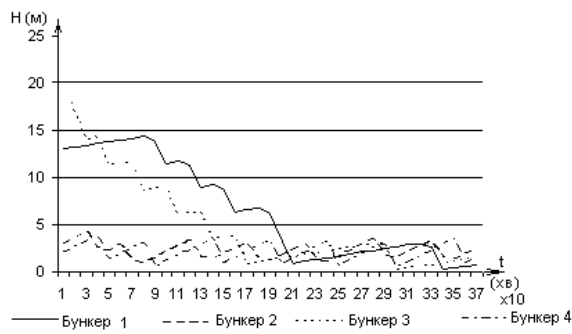


Рис. 3. График изменения разницы текущих уровней в бункерах и рациональных. При суммарной нагрузке 75 %

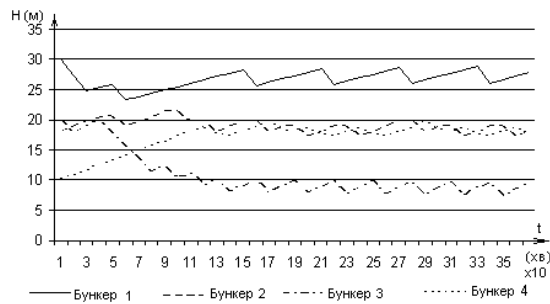


Рис. 4. График изменения разницы текущих уровней в бункерах и рациональных. При суммарной нагрузке 100 %

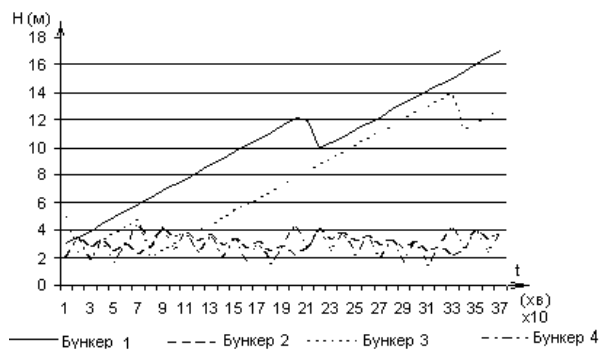


Рис. 5. График изменения разницы текущих уровней в бункерах и рациональных. При суммарной нагрузке 125 %

Т.к. накопительные бункеры работают непосредственно на магистральную конвейерную линию, то для ее имитации достаточно использовать одномерный массив.

Входными сигналами для системы управления будут:

- уровни угля в бункерах;
- производительность лав;
- расположение грузопотока на магистрали.

Выходными сигналами для системы будут:

- время включения отдельных питателей бункеров;
- время опускания и подымания сбрасывающего скребка (при наличии на магистрали породного бункера проходки).

При запуске системы исходными данными являются:

- производительность лав;
- расположение бункеров, т.е. их транспортные запаздывания.

В процессе работы производительность лав корректируется, исходя из реальных скоростей изменения уровней в бункерах. Сам процесс измерения уровня в бункерах можно производить с помощью аналоговых датчиков уровня (например, ультразвуковых, СВЧ) или дискретных. При использовании дискретных датчиков производительность лавы определяется обратно пропорционально времени перехода от одного уровня к другому, и считается неизменной до очередного датчика. Промежуточные значения уровней определяются расчетным путем:

$$h_{\text{бункера } i} = h_{\text{бункера } i} + Q_{\text{лавы } i} * \Delta t / S_{\text{бункера } i}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{лавы } i}$ – производительность лавы, м³/ч;

$S_{\text{бункера } i}$ – сечение бункера;

Δt – период времени, прошедший с момента срабатывания датчика уровня.

Для создания системы управления предполагается использовать канал связи и пульт управления САУКЛ. Это вводит ограничения на оперативность приема данных и передачи команд. В связи с этим при вычислении управляющего воздействия используется прогнозирование состояния отдельных элементов системы. Для компенсации возникающей ошибки, после каждого цикла опроса, производится коррекция состояния имитационной модели по реальным данным, получаемым с контроллеров.

На нижнем уровне управления, возле бункеров, установлены контроллеры, обеспечивающие сбор информации с объекта управления в реальном масштабе времени и исполнение команд с пульта управления в указанное в сообщениях время. Кроме этого, контроллеры обеспечивают блокировку работы питателей в случае, если под питателем на ленте находится грузопоток от соседних бункеров, устраняя возможную перегрузку конвейерной установки или просыпа материала на почву.

Схема алгоритма работы системы управления грузопотоком для угольных шахт с участковыми накопительными бункерами приведена

на рис. 6. В процессе работы системы программа формирует команды циклического опроса, по которым пульт управления посылает запросы и получает ответы от контроллеров. В результате циклического опроса в базе данных пульта управления формируются таблицы данных о расположении грузопотока на магистрали и об уровне материала в бункерах.

Работа системы должна быть синхронизирована с работой конвейерной линии. Система может находиться в двух состояниях – переходном и рабочем.

Переходной режим работы связан с неконтролируемым изменением уровня в бункерах при простое магистральной линии. Это приводит к появлению в бункерах нерационального распределения уровней.

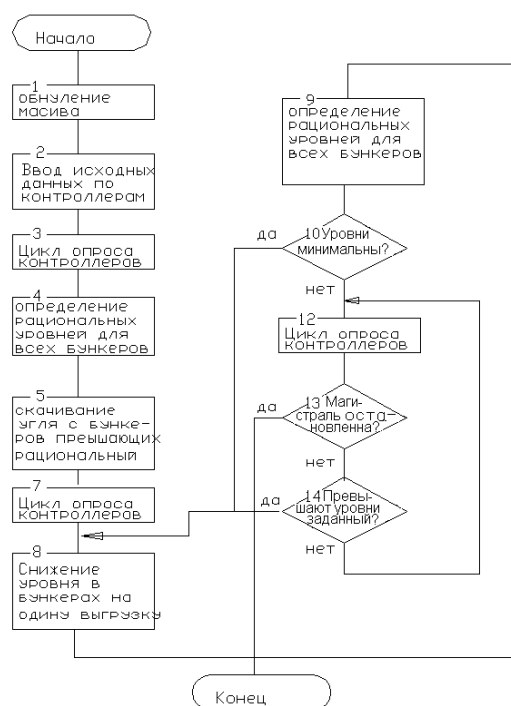


Рис. 6. Схема алгоритма работы системы управления грузопотоком для угольных шахт

Рассмотрим требования, предъявляемые к контроллеру управления грузопотоками при пакетной отгрузке. Контроллер должен иметь двухстороннюю информационную связь с пультом управления. Контроллер имеет возможность получать информацию от 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 ему необходимо иметь часы текущего (или реального) времени и сигнальный вход с датчика

наличия грузопотока, канал ввода информации об уровне угля в бункере.

Основным или ведущим устройством в контроллере является арифметико-логическое устройство (АЛУ). В качестве АЛУ наиболее перспективным является использование микроконтроллеров. Современные микроконтроллеры, кроме АЛУ, в своем составе имеют ряд периферийного оборудования. Одними из наиболее распространенных микроконтроллеров на Украине являются микроконтроллеры фирмы Microchip.

Структурная схема контроллера системы управления нижнего уровня для одного пункта загрузки представлена на рис. 7. Для подключения к линии связи САУКЛ в контроллере предусматривается гальваническая развязка линии связи, входная и выходная. Линия связи в САУКЛ представляет собой токовую петлю. Входная и выходная развязка включаются последовательно.

В качестве датчика наличия груза на ленте предполагается использование ролика, закрепленного 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 может служить датчик типа ДМ или УПДС. Эти датчики являются активными и не требуют питания. Выходной ток у них формируется за счет э.д.с. изменения магнитного поля в рабочей катушке.

Для организации энергонезависимых часов реального времени используется микросхема DS1307 фирмы Dallas Semiconductor, с внешним элементом питания, выполненном на литиевой батарее. DS1307 представляет собой часы реального времени, которые считают секунды, минуты, часы, месяц, день недели, и год с компенсацией високосного года до 2100 года. Обмен информацией с ней производится по двухпроводному интерфейсу типа I²C. Тактирование производится от встроенного генератора, стабилизируемого внешним кварцем с частотой 32.768 кГц. Время и значение календаря получают, читая внутренние регистры микросхемы. Для установки времени и даты записывают информацию в соответствующие внутренние регистры.

В контроллере управления нижнего уровня системы управления грузопотоком кроме функций управления питателем и блокировок, добавлена функция ввода информации с измерителя уровня. В случае устройства непрерыв-

ного измерения уровня во всем диапазоне высоты бункера это простое считывание информации с измерительного устройства и передача его в центральный вычислитель с фиксацией времени измерения. 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.

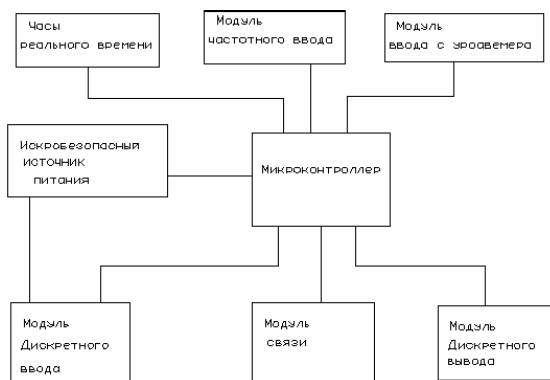


Рис. 7. Структурная схема контроллера системы управления нижнего уровня

Программа управления грузопотоками для угольных шахт с накопительными бункерами является приложением Windows. Программа 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, описанных в таблице «Доступные Команды»; «Параметр» – номер страницы ОЗУ; «Строка Парам-

метров» – дамп страницы (8 байт), т.е. параметры, передаваемые от пульта контроллеру и от контроллера пульта.

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

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

Пульт 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 наиболее 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 используется две команды работы с БУКами «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, наиболее целесообразно использовать систему автоматизированного управления конвейерным транспортом САУКЛ. При этом используется канал связи САУКЛ и пульт управления. Кроме этого, систему необходимо дополнить контролерами управления питателями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Компьютерная система автоматизированного управления конвейерным транспортом [Текст] / В. В. Ткачев и др. // Горный журнал. – 1999. – № 6. – М., 1999. – С. 48-51.
2. АОЗТ «Инстройсервис». Руководство по эксплуатации САУКЛ 4.00.000 РЭ [Текст]. – Д., 2003. – С. 9-18.
3. Шахмейстер, Л. Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин [Текст] / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1983. – С. 67-69.

Поступила в редколлегию 17.12.2007.