

УДК 622.6: 66.012.37

Ю.Т. Разумный, В.Т. Заика, д-ра техн. наук. **В.Н. Прокуда**
(Украина, Днепропетровск, ГВУЗ "Национальный горный университет")

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ РАСПОЗНАВАНИЯ ВЕЛИЧИН МИНУТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УГОЛЬНОГО ПОТОКА

Вступление. Известно, что при сплошной конвейеризации доставки угля из забоев, магистральные конвейеры на шахтах, в том числе и Западного Донбасса, работают при неравномерных грузопотоках и соответственно с завышенным в 2 – 5 раз удельным расходом электроэнергии[1].

Описание проблемы. Получить данные об энергопотреблении конвейерных установок до сих пор является проблематичной задачей, поскольку шахтной подземной сети серийно не устанавливаются системы учета электроэнергии. Поэтому оценить энергоэффективность по прямым показателям на данном этапе невозможно. В статье предложен способ получения минутных значений потока угля из очистных забоев в соответствии энергопотребления работающего оборудования.

Анализ предыдущих исследований. Проблеме изучения и анализа расхода электроэнергии шахтным конвейерным транспортом посвящено много работ [2-4], где энергетическая эффективность определялась либо с помощью приборов учета, датчики которых были установлены в высоковольтных взрывозащищенных ячейках, либо расчетным путем по ранее экспериментально полученным регрессионным моделям. Исследований в области определения минутных значений грузопотока по каким-либо косвенным показателям, не было обнаружено.

Цель исследования – определение величины минутных значений потока угля, что поступает из забоя, по данным энергопотребления электрооборудования очистного участка, учет которого осуществляется в ячейках КРУВ 6 кВ, для определения энергоэффективности конвейерных установок.

Основной материал. В работе [5] определяется время работы очистного комбайна в режиме выемки полезного ископаемого по уровню и скорости нарастания активной мощности, что потребляет очистной комплекс. Данные по энергопотреблению комплекса снимаются в ячейках КРУ 6 кВ. Описанный способ позволяет рассчитать интервалы времени поступления и отсутствия груза на скребковом конвейере, но для определения времени наличия и отсутствия грузопотока в месте выгрузки из лавы и его минутных значений необходимо применить доработанный алгоритм, представленный на рис 1.

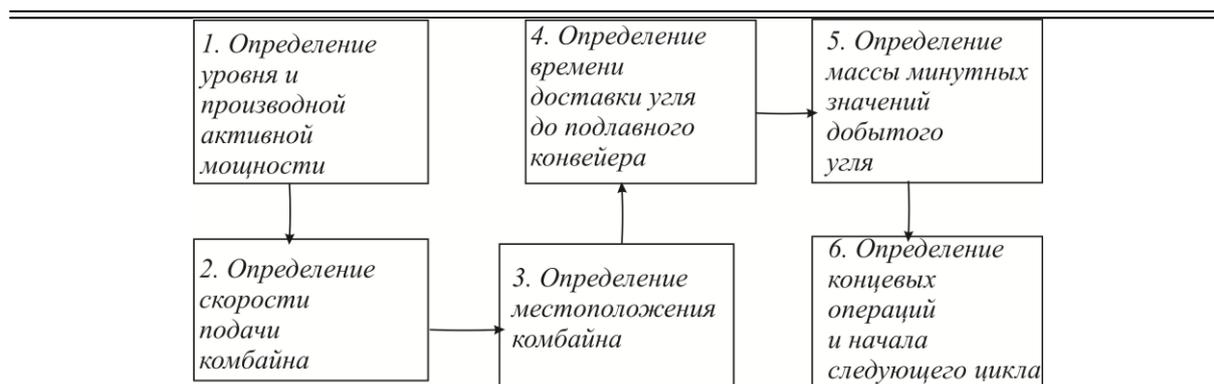


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения минутных значений величины грузопотока из очистного забоя

Блок-схема включает:

1. Определение уровня активной мощности и величины ее нарастания (как показано в работе [5]) осуществляется программным способом по существующим графикам электрических нагрузок (ГЭН) лавы: зная минутные значения скорости подачи добычного комбайна либо состав и мощность электрооборудования, рассчитываются нижний и верхний порог мощности при выемке угля и модуль величины знакопеременной производной, выше которого осуществляется процесс выемки. Эти данные используются для получения информации в текущем времени по ГЭН.

2. Определение скорости подачи комбайна осуществляется по регрессионной модели, построенной согласно ГЭН очистного комплекса и замерам соответствующих значений скорости подачи либо данным о добыче. Гипотетически скорость подачи является прямо пропорциональной корреляционной зависимостью от мощности, которую потребляет очистной комплекс во время выемки полезного ископаемого, что будет обосновано ниже.

3. Местоположение комбайна в лаве находится путем интегрирования значений скорости подачи за время выемки и отсчитывается от начала лавы.

4. Рассчитывается время перемещения отбитого угля до начала лавы по значениям скорости движения скребкового конвейера.

5. Скорость подачи однозначно определяет объем добытого угля: с учетом времени его доставки скребковым конвейером находятся минутные значения потока угля из очистного забоя.

6. Используя ГЭН, определяется время, затрачиваемое на конечные операции и следующего цикла.

Рассмотрим работу приведенного алгоритма на примере, используя экспериментальные данные, полученные на шахте им. Сташкова группой ученых ГВУЗ «НГУ».

В ходе эксперимента было установлено, что потребляемая комплексом активная мощность при выемке превышает 81 кВт, а модуль производной мощности превышает значение 60 кВт/мин во время пуска/останова комбайна. Графики активной мощности и ее производной представлены на рисунках 2 и 3.

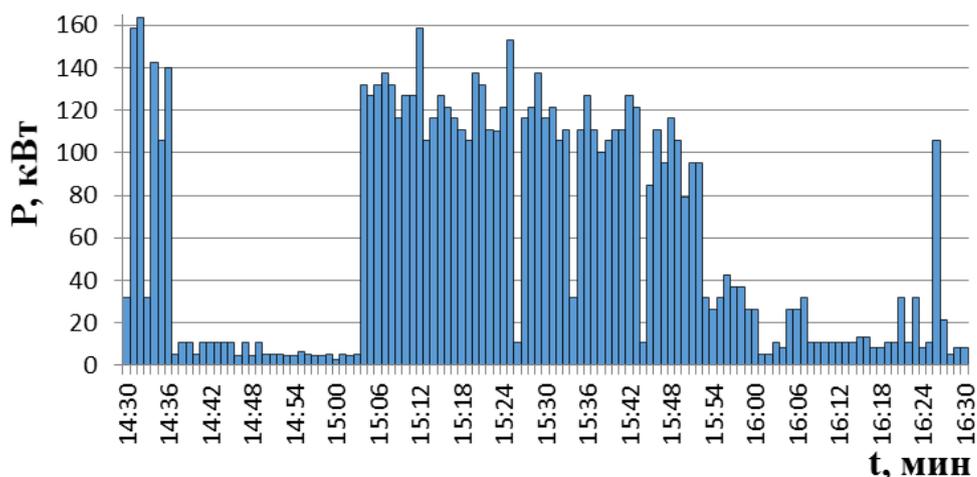


Рис. 2. График зависимости активной мощности очистного комплекса от времени

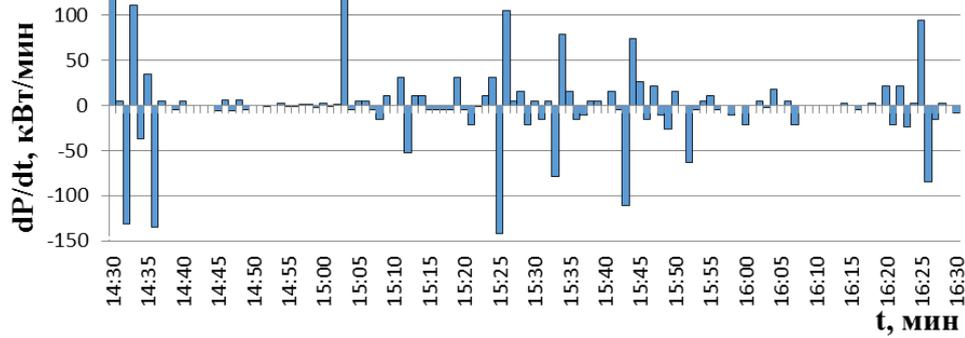


Рис. 3. График зависимости производной активной мощности очистного комплекса от времени

Для определения местоположения комбайна необходимо знать корреляционную зависимость скорости подачи комбайна от мощности в периоды его работы по выбранным значениям мощности, что потребляется во время добычи полезного ископаемого. Зависимость ищем в виде полинома:

$$v(P) = a_1 + a_2 \cdot P, \quad (1)$$

где v – скорость подачи комбайна, м/с; P – мощность, что потребляется добычным комплексом, кВт; a_1, a_2 – коэффициенты модели.

Для выбранной модели аппроксимацию эмпирических данных будем осуществлять с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Предварительно найдем корреляционное отношение, которое является мерой зависимости (тесноты связи) между искомыми величинами и записываются так:

$$\eta_{w/v} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{v}_{P_i} - \bar{v})^2}{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}}, \quad (2)$$

где \tilde{v}_{P_i} – скорость подачи очистного комбайна, определяемая по уравнению регрессии $\tilde{v} = f(P)$ для i -го значения потребляемой мощности; \bar{v} – среднее выборочное значение скорости подачи очистного комбайна; v_i – i -е значение скорости подачи очистного комбайна в рассматриваемой выборке. Для рассматриваемого случая корреляционное отношение численно равно 0,68. Полученные данные указывают, что в условиях эксплуатации связь между скоростью подачи угольных комбайнов и потребляемой мощностью проявляется достаточно.

Очередность определения параметров теоретической линии регрессии рассмотрим на примере сглаживания экспериментальных данных с помощью линейной модели. Коэффициенты a_1, a_2 найдем с помощью метода наименьших квадратов (МНК) по экспериментальным данным, полученным для нормального процесса работы угледобывающих комплексов. Для рассматриваемого случая линейная регрессия имеет следующий вид $v(P) = 0,376 + 0,011 \cdot P$ (рис 4)

Величина отклонения эмпирической регрессии $\tilde{v} = \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2 P$ от истинной $v = a_1 + a_2 P$ может быть оценена для любого заданного значения $P = P_x$ выражением

$$\tilde{v} \pm \frac{t_{q,n-2}s}{\sqrt{n-2}} \sqrt{1 + \frac{n^2(P_x - \bar{P})^2}{n \sum_{i=1}^n P_i - (\sum_{i=1}^n P_i)^2}}, \quad (3)$$

где $s = \sqrt{\sum_{i=1}^n d_i^2 / n}$ – остаточная дисперсия; $d_i = v_i - \tilde{a}_1 - \tilde{a}_2 P$ – отклонение действительной скорости подачи комбайна от вычисленной по уравнению регрессии $\tilde{v} = a_1 + a_2 P$; $t_{q,n-2}$ – t -критерий для 95%-го доверительного интервала; \bar{P} – математическое ожидание мощности; P_i – i -е значения мощности, P_x – значение мощности, для которого строится доверительный интервал.

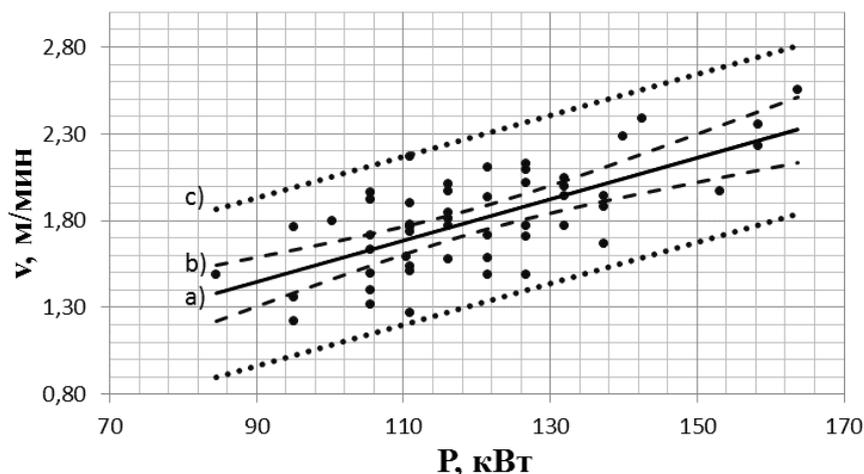


Рис. 4. Линия регрессии (а) а так же 95 %-е доверительные интервалы (b) и (с) для средних и индивидуальных значений соответственно

Анализ выражения (3) и рис. 4 показывает, что доверительные интервалы для условного среднего $M(v/P_x)$ зависят от того, для какого значения v_x они строятся. Эти границы наиболее близки друг к другу при $P_x = \bar{P}$. Точность предположения, основанного на регрессионных моделях, снижается по мере удаления P_x от среднего значения \bar{P} . Для крайних значений P , имевших место в промышленном эксперименте с угледобывающими комплексами, точность определения условных средних $M(v/P)$ при принятой доверительной вероятности $p=0,95$, как это следует из расчетов, лежит в пределах $\pm 8... \pm 12\%$. Для средних значений этот показатель уменьшается до $\pm 4\%$.

Местоположение комбайна в лаве определяем путем интегрирования значений скорости подачи за время работы $t_k = t_2 - t_1$.

Для представленных на рис. 2 данных за время работы с 15:03 до 15:51 комбайн прошел $75,3 \pm 5,6\%$ с доверительной вероятностью 95 %. Естественно, при увеличении пройденного комбайном пути абсолютная ошибка определения его местоположения растет, но при достижении комбайном конца лавы ошибка обнуляется, а максимальное ее значение при длине лавы 220 м составит $\pm 26,4$ м с доверительной вероятностью 95 %.

При скорости скребкового конвейера 1 м/с это повлечет за собой ошибку во времени задержки доставки угля на подлавный конвейер до 26,4 с в конечном положении комбайна. Значение времени доставки угля до подлавного конвейера определяется как

$$t_{\text{досм}} = L_k / v_{\text{скр}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{скр}}$ – постоянная скорость движения скребкового конвейера.

Для принятых условий, определяя по регрессионной зависимости минутные значения скорости подачи комбайна и учитывая время задержки доставки угольной массы скребковым конвейером, величина минутных значений потока угля из очистного забоя:

$$Q_i = \gamma m \beta v_{i-t_{\text{досм}}} (P_{i-t_{\text{досм}}}), \quad (5)$$

где m – вынимаемая мощность пласта, м; β – ширина захвата исполнительного органа, м; γ – плотность угля в массе, т/м³; v_i – скорость подачи комбайна, м/мин.

Учитывая доверительные интервалы определения скорости подачи, рассчитываем величину минутных значений потока угля из очистного забоя. Ошибка при идентификации времени транспортирования груза до конвейера при этом не существенна в задаче определения массы минутного значения груза.

Концевые операции, во время которых не происходит выемка полезного ископаемого, так же определяется по уровню мощности и ее первой производной. В это же время обнуляется значение времени доставки угольной массы до подлавного конвейера и расчёт повторяется вновь.

После определения минутных значений потока угля из очистного забоя используя упрощенный тяговый расчет конвейера [6], находим соответственно минутные значения энергопотребления ленточных магистральных конвейеров.

Выводы. Предложенный алгоритм с точностью $\pm 12\%$ для крайних значений и $\pm 4\%$ для средних с доверительной вероятностью 0,95 позволяет получить математическое ожидание минутных значений грузопотока из очистного забоя. При этом точность определения индивидуальных значений составляет $\pm 34\%$ с доверительной вероятностью 0,95. Разработанный алгоритм является основой метода определения энергоэффективности магистрального конвейерного транспорта угольных шахт.

Список литературы

1. Прокуда В.Н. Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО ДТЭК «Павлоградуголь» / В.Н. Прокуда, Ю.А. Мишанский, С.Н. Проценко // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Д., 2012. – Вип. 88. – С. 107–111.
2. Заика В.Т. Модели для контроля энергетической эффективности шахтных магистральных конвейерных установок / В.Т. Заика // Науковий вісник Національного гірничого університету – 2000. – № 2. С. 72 – 77.
3. Шахмейстер. Л.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин / Л.Г. Шахмейстер. М., –1983. – 312 с.
4. Снижение энергозатрат при транспортировании насыпных грузов с помощью управления скоростью ленты конвейера / В. Ф. Монастырский, В. Ю. Максютенко, Р. В. Кирия, И. А. Бужинский // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2007. – №10. – С. 35 – 37.
5. Створення новітніх систем енергозабезпечення, методу поглибленого непрямого енергомоніторингу вугледобувних комплексів та технології діагностики стану дільничних вибухозахищених трансформаторних підстанцій (КТПВ): звіт по НДР (пром.ж.): ГП-454/ ДВНЗ «Національний гірничий університет»; кер. С.І. Випанасенко; викон.: Ю.Т.Разумний, В.Т.Заїка, О.І. Хованська, Н.С.Дрешпак, А.В.Рухлов, Я.Г.Куваєв, О.Р. Ковальов, І.Б.Кольцов, А.С.Румянцев, П.В. Камишанський, Є.В.Кошеленко, І.М.Луценко, Д.О.Кошовий, Н.В.Іванова. – Д., 2012. – 241 с., 54 рис., 51 табл., 3 додатки, 51 джерел. – Бібліогр.: с. 132 – 139. – № ДР 0112U000873.
6. Транспорт на горных предприятиях: учебник / Б.А. Кузнецов, А.А. Ренгевич, В.Г. Шорин, Н.Я. Биличенко, В.А. Пономаренко, К.И. Бахурин, А.М. Варшавский, С.Ю. Кравчинский; под общ. ред. Б.А. Кузнецова. – М.: Недра, 1969. – 655 с.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Випанасенко С.І.