

РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНУТНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ю.Т. Разумный, В.Н. Прокуда, НГУ, Украина

Получены регрессионные зависимости для определения минутных значений угольного потока из очистного забоя, что будет использовано в дальнейшем для определения энергоэффективности конвейерных линий.

Описание проблемы. Получить данные об энергопотреблении конвейерных установок до сих пор является проблематичным, так как в шахтной подземной сети серийно не устанавливаются системы учета электроэнергии. Соответственно оценка энергоэффективности по прямым показателям на данном этапе невозможна. В докладе предложен способ получения данных о минутных значениях потока угля из очистных забоев по данным энергопотребления работающего оборудования для определения энергоэффективности магистрального конвейерного транспорта по косвенным показателям.

Целью исследования является определения величины минутных значений потока угля, что поступает из очистного забоя, по данным энергопотребления электрооборудования очистного участка, учет которого осуществляется в КРУВ 6 кВ.

Основной материал. В работе [1] 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 найти интервалы поступления и отсутствия груза на скребковом конвейере. Но для нахождения времени наличия и отсутствия грузопотока в месте выгрузки его из лавы и его минутных значений необходимо применить доработанную модель, предлагаемую авторами статьи в виде следующего алгоритма:

1. Определение уровня активной мощности и величины ее нарастания (как показано в работе [1]) осуществляется программным способом по существующим ГЭН лавы: имея минутные значения скорости подачи добычного комбайна либо состав и мощность электрооборудования определяется 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, найденной по существующему ГЭН очистного комплекса и замерам соответствующих значений скорости подачи либо данных о добыче. Гипотетически, скорость подачи является прямо пропорциональной корреляционной зависимостью от мощности, что 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. Зная скорость перемещения скребкового конвейера, определяется время перемещения отбитого угля до начала лавы.

5. Так как скорость подачи однозначно определяет объем добытого угля, то с учетом времени его доставки скребковым конвейером находятся минутные значения потока угля из очистного забоя.

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

Покажем, как работает приведенный алгоритм на примере, используя экспериментальные данные, полученные на шахте им. Сташкова группой ученых ДГИ. 1-й пункт алгоритма реализован до нас и не является предметом исследования. Считаем, что времена наличия/отсутствия грузопотока найдены.

Для определения местоположения комбайна найдем 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). Для рассматриваемого случая линейная регрессия имеет вид $v(P) = 0,376 + 0,011 \cdot P$

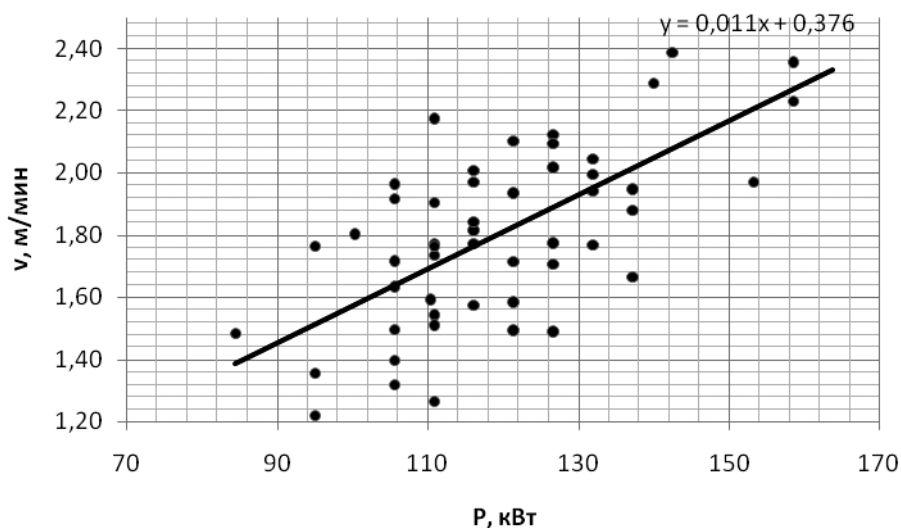


Рисунок 1. Экспериментальные данные с линией регрессии $v = a_1 + a_2 P$

Оценка отклонения эмпирической регрессии $\tilde{v} = \tilde{a}_1 + \tilde{a}_2 P$ от истинной $v = a_1 + a_2 P$ может быть построена для любого заданного значения $P = P_x$ по выражению

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

где $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$ – остаточная дисперсия; $d_i = v_i - \tilde{a}_1 - \tilde{a}_2 P$ – отклонение наблюдаемой 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.

Анализ выражения и рисунка 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 другу при $P_x = \bar{P}$. Надежность предсказания, 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 $\pm 8 \dots \pm 12\%$. Для средних значений этот показатель снижается до $\pm 4\%$.

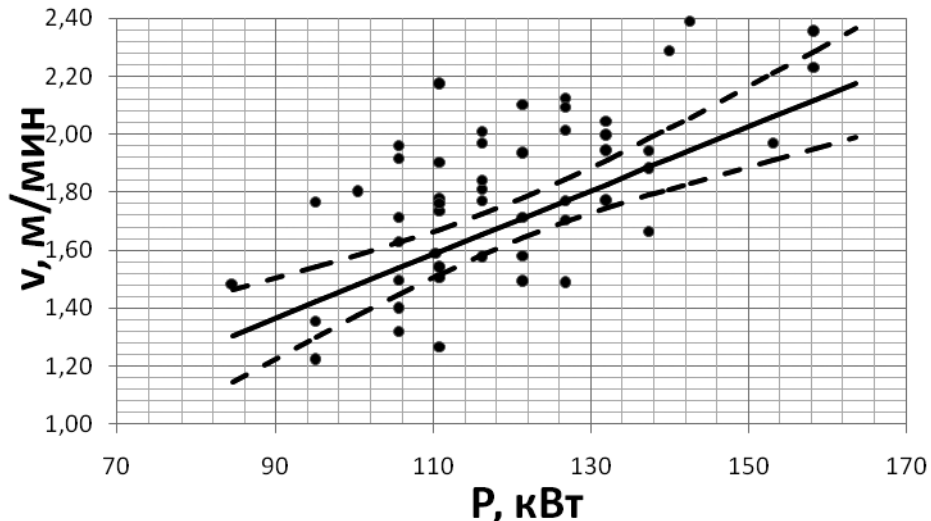


Рисунок 2. Экспериментальные данные с линией регрессии и 95 %-ными доверительными интервалами

При отсутствующих экспериментальных данных о скорости подачи комбайна и известной сменной добычи предлагается использовать следующий способ. Объем добытого угля однозначно определяется зависимостью:

$$Q_i = \gamma m \beta v_i, \quad (3)$$

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.

Равенство между сменным объемом добычи и энергопотреблением запишем в следующей форме:

$$Q_{см} = \sum(\gamma m \beta v_i) = \sum[(\gamma m \beta)(a_1 + a_2 \cdot P_i)] \quad (4)$$

По нескольким известным $Q_{см}$, достаточным для достоверного результата, определяются коэффициенты модели a_1, a_2 .

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

$$L_k = \int_{t_1}^{t_2} v_i dt, \quad (5)$$

где v_i – минутные значения скорости подачи добычного комбайна за время его работы, вычисленные по уравнению регрессии.

При проведении эксперимента за время 50 мин в добычную смену комбайн прошел 75,3 м $\pm 5,6$ % с доверительной вероятностью 95 %, что было определено по регрессионной модели. Естественно, при увеличении пройденного комбайном пути абсолютная ошибка определения его местоположения растет, но при достижении комбайном конца лавы ошибка обнуляется, а максимальное ее значения 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 в задержке доставки угля на подлавный конвейер до 26,4 с в конечном положении комбайна. Значение времени

доставки угля до подлавного конвейера определяется выражением:

$$t_{доств} = L_k / v_{скр}, \quad (6)$$

где $v_{скр}$ – 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, находим величину минутных значений потока угля из очистного забоя:

$$Q_i = \gamma m \beta v_{i-t_{доств}} (P_{i-t_{доств}}), \quad (7)$$

Учитывая доверительные интервалы определения скорости подачи, переносим их на определение величины минутных значений потока угля из очистного забоя. Ошибка при определении 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 значения времени доставки угольной массы до подлавного конвейера и блоки алгоритма повторяются вновь.

Пример реализации алгоритма – полученные минутные значения по мощности потребления очистным комплексом – приведен на рисунке.

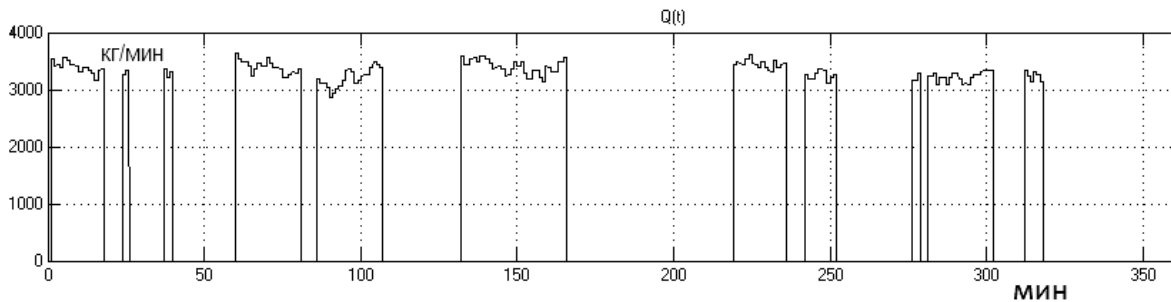


Рисунок 3. Минутные значения угля при работе очистного забоя

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

Расход электроэнергии приводом магистрального ленточного конвейера в зависимости от его режимов функционирования рассчитывается, учитывая технологические особенности ленточного конвейера. Согласно литературе [18] усилие на перемещение конвейера с грузом:

$$F_{полн} = F_{1-2} + F_{3-4} = l \cdot g \cdot (q_{zp} + q_l) (c' \cdot \omega \cdot \cos \beta + \sin \beta) + l \cdot g \cdot q'_p \cdot \omega + \\ + l \cdot g \cdot q_l \cdot (c' \cdot \omega \cdot \cos \beta - \sin \beta) + l \cdot g \cdot q''_p \cdot \omega = \underbrace{l \cdot g \cdot q_{zp} \cdot (c' \cdot \omega \cdot \cos \beta + \sin \beta)}_{\text{транспортирование груза}} + \\ + \underbrace{2 \cdot l \cdot g \cdot q_l \cdot c' \cdot \omega \cdot \cos \beta + l \cdot g \cdot \omega \cdot (q'_p + q''_p)}_{\text{транспортирование частей конвейера}} = F_{zp} + F_{xx}, \quad (8)$$

где q''_p, q'_p, q_l - погонная масса нижних, верхних роlikоопор и ленты, т/км; c' - коэффициент, учитывающий дополнительные сопротивления; ω - коэффициент сопротивления продольному

движению конвейера; β - угол установки конвейера, °, $F_{полн}$ - сила, необходимая для перемещения конвейера с грузом, Н, F_{3-4} - сила, необходимая для перемещения верхней ветви, Н, F_{1-2} - сила, необходимая для перемещения нижней ветви, Н, F_{zp} - сила, необходимая для транспортирования груза на ленте, Н, F_{xx} - сила, необходимая для перемещения частей самого конвейера, Н.

Для допустимых углов установки $-18^\circ \dots +18^\circ$, $\cos \beta$ меняется в пределах $0,95 \dots 1$, что с точностью в 5%, достаточной для инженерных расчетов, можно считать неизменной величиной. С учетом этого из (8):

$$F_{xx} = 2 \cdot l \cdot g \cdot q_l \cdot c' \cdot \omega + l \cdot g \cdot \omega \cdot (q'_p + q''_p) \quad (9)$$

$$F_{zp} = l \cdot g \cdot q_{zp} \cdot (c' \cdot \omega \cdot \cos \beta + \sin \beta) \quad (10)$$

Исходя из равенств (10) и (11), можно сделать вывод, что усилие, необходимое для перемещения движущихся частей конвейера без груза, которое считаем холостым ходом конвейера, не зависит от угла установки.

Энергия, необходимая для перемещения соответственно движущихся частей конвейера и груза:

$$W_{xx} = \frac{F_{xx} \cdot v \cdot t}{\eta}, \quad (11)$$

$$W_{zp} = \frac{F_{zp} \cdot v \cdot t}{\eta}, \quad (12)$$

где v - скорость движения ленты конвейера, м/с; t - период определения энергии W_{zp} и W_{xx} , с; η - КПД привода.

Задавшись значениями параметров установки конвейеров, определяем расход электроэнергии за интересующий промежуток времени.

Выводы. Предложен алгоритм и обоснована возможность получения минутных значений грузопотока из очистного забоя путем использования данных о минутном энергопотреблении очистного комплекса, скорости подачи комбайна и сменной добычи.

Список литературы

1. Створення новітніх систем енергозабезпечення, методу поглибленого непрямого енергомоніторингу вугледобувних комплексів та технології діагностики стану дільничних вибухозахищених трансформаторних підстанцій (КТПВ)/Звіт по темі ГП-454, – Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2012. – 139 с.

2. Транспорт на горных предприятиях: учеб. /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.