

УДК 621.314.26:622.647.2

В.П. Кондрахин (д-р техн. наук, проф.),

Н.И. Стадник (д-р техн. наук, проф.),

П.В. Белицкий (аспирант),

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ИЗМЕРЕНИЕ ГРУЗОПОТОКА НА ЛЕНТОЧНОМ КОНВЕЙЕРЕ С ПОМОЩЬЮ СЪЕМНОГО ТЕНЗОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА С УЧЕТОМ НАТЯЖЕНИЯ ЛЕНТЫ

Представлена методика и результаты оперативного измерения грузопотока на ленточном конвейере в условиях шахты с помощью легко монтируемого тензоизмерительного устройства с учетом записей потребляемой мощности приводных двигателей.

Ключевые слова: ленточный конвейер, грузопоток, тензоизмерительное устройство, натяжение ленты, мощность привода.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Учет перевезенного груза в системах конвейерного транспорта необходим не только для мониторинга грузопотока, но и для определения режима работы транспортных средств, оценки энергоэффективности транспортирования и построения мехатронных систем оптимизации [1]. В большинстве случаев, на конвейерном транспорте горных предприятий для учета количества перевезенного груза используются конвейерные весы, чувствительным элементом которых является тензодатчик. Однако конвейерные весы являются узлом стационарным, требующим длительной настройки, и дорогостоящим, что в ряде случаев исключает их применение при оперативном измерении величины грузопотока в научных и инженерных исследованиях.

Для решения последней задачи целесообразно использовать более простые, легко монтируемые и демонтируемые тензоизмерительные устройства, принцип действия которых заключается в измерении вертикальных усилий, действующих на подвешенную к кровле выработки роlikоопору. Такие измерители могут быть установлены на любом конвейере с любым типом рамы и могут быть предварительно протарированы в лабораторных условиях, что существенно сокращает простой конвейера, связанные с подготовкой измерений грузопотока. Однако они могут давать искаженную оценку грузопотока, так как на их показания влияет не только масса груза и ленты, но и вели-

чина ее натяжения, причем прямое измерение натяжения не менее сложная задача, чем измерение грузопотока. Для снижения погрешности измерения грузопотока такими устройствами необходимо разработать соответствующую методику проведения измерений и обработки их результатов.

Анализ исследований и публикаций. Для конвейерных весов разработаны методики настройки их измерительной системы, позволяющих получить удовлетворительные оценки массы груза на измерительных роликоопорах. Однако, конвейерные весы при их достаточно сложной калибровке непосредственно на месте установки требуют применения специальных имитаторов линейной нагрузки, не учитывающих характеристик сыпучего груза. При монтаже конвейерных весов требуется установка на одном уровне с измерительной роликоопорой трех роликоопор до нее и трех – после нее, чего в шахтных условиях добиться весьма сложно [2].

Все способы калибровки измерительной системы конвейерных весов не учитывают влияния натяжения ленты на показания тензодатчика. Для оперативного измерения грузопотока нестационарным устройством такие методики реализовать практически сложно. Анализ публикаций по данной тематике показал отсутствие обоснования способа измерения грузопотока и описания методики учета влияния натяжения ленты на показания тензодатчиков [1, 2, 3].

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка методики измерения массы груза на нестационарной подвесной измерительной роликоопоре, оборудованной тензодатчиком, для оперативного измерения грузопотока на ленточном конвейере с учетом влияния натяжения ленты на показания тензодатчика.

Изложение материала и результаты. Схема тензоизмерительного устройства приведена на рисунке 1. При составлении расчетной схемы приняты следующие допущения: на роликоопору воздействует груз, расположенный симметрично роликоопоре на участке длиной, равной шагу роликоопор на верхней ветви; поскольку натяжение ленты в месте установки измерительной роликоопоры достигает значений порядка $10^4 \dots 10^5$ Н, то провисанием ленты можно пренебречь; контакт ленты с соседними опорами не нарушается. Расчетная схема измерительной роликоопоры приведена на рисунке 2.

Из условия равновесия измерительной опоры:

$$mg = (F_{изм} \pm 2S \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta), \quad (1)$$

где m – масса, приходящаяся на измерительную роликоопору, кг;

g – ускорение свободного падения;

$F_{изм}$ – усилие, возникающее в измерительном устройстве, Н;

S – натяжение ленты, Н;

β – угол транспортирования;

α – угол, обусловленный смещением δ роликоопоры от своего номинального положения при регулировке измерительного устройства в процессе его монтажа (см. рис. 2). Поскольку значение коэффициента жесткости измерительного механизма, в условиях применения достаточно жесткой системы подвеса, имеет порядок $c_{изм}=10^6 \dots 10^7$ Н/м, то смещением роликоопоры в вертикальном направлении при изменении нагрузки на ленту в процессе работы конвейера можно пренебречь, то есть $\alpha \approx \text{const}$. Знак «+» в (1) соответствует положению измерительной роликоопоры ниже уровня остальных роликоопор в зоне измерения грузопотока (условия рисунка 2).

Натяжение ленты в зоне измерения грузопотока, в случае установки датчика в голове конвейера (см. рисунок 1), можно определить из показаний потребляемой мощности привода. Поскольку расстояние от приводного барабана до места установки измерительной опоры составляет 20-25 м, при скорости распространения упругой волны в ленте, достигающей нескольких сот метров в секунду [4], натяжение ленты в точке установки измерительной роликоопоры достигнет значения натяжения ленты в точке набегания на привод за сотые доли секунды, и поэтому [5]:

$$S = 0,95 \frac{N\eta}{v} + S_1, \quad (2)$$

где N – потребляемая мощность в данный момент времени, кВт;

η – коэффициент полезного действия привода;

v – скорость ленты, м/с;

S_1 – натяжение ленты в точке сбегания с привода, поддерживаемое автоматическим натяжным устройством, Н.

Выражение (1) для режима холостого хода конвейера можно переписать следующим образом:

$$m_0 g = (F_{изм.0} \pm 2S_0 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta), \quad \text{кг}, \quad (3)$$

где m_0 – масса ленты, приходящаяся на измерительную роликоопору;

$F_{изм.0}$ – усилие, возникающее в измерительном устройстве в режиме холостого хода конвейера, Н;

S_0 – натяжение ленты в зоне измерения грузопотока в режиме холостого хода конвейера, Н,

$$S_0 = 0,95 \frac{N_0 \eta}{v} + S_1, \text{ Н}, \quad (4)$$

N_0 – мощность холостого хода, кВт.

Таким образом, масса груза (кг) на измерительной роликоопоре,

$$m_{zp} = \frac{1}{g} \left[(F_{изм} - F_{изм.0}) \pm 1,9(N - N_0) \frac{\eta}{v} \sin \alpha \cdot \cos \beta \right]. \quad (5)$$

Значение грузопотока на ленточном конвейере, при известной массе груза, приходящейся на измерительную роликоопору, определяется из выражения:

$$Q(t) = \frac{3,6v}{l_p} m_{zp}(t), \text{ кг/с}, \quad (6)$$

где l_p – шаг верхних роликоопор, м.

Таким образом, приведенная методика позволяет определять массу груза на измерительной роликоопоре и грузопоток на ленточном конвейере с учетом влияния на показания тензоизмерительного устройства натяжения ленты и погрешности монтажа измерительного устройства. При жесткой подвеске измерительной опоры, когда $\alpha \approx \text{const}$, для оценки погрешности монтажа (угол α) можно использовать измеренные значения мощности и реакции на измерительную роликоопору в режиме холостого хода.

При достаточно податливой подвеске угол α в процессе измерений может изменяться в некоторых пределах. В этом случае его оценку можно выполнить по результатам сравнения количества зарегистрированной измерительным устройством горной массы (без учета влияния натяжения ленты) за некоторый промежуток времени с данными диспетчерской службы предприятия:

$$K = \frac{\int_0^T m_{zp}(t) dt}{\int_0^T \frac{1}{g} [F_{изм} - F_{изм.0}](t) dt}, \quad (7)$$

где K – поправочный коэффициент, полученный в результате такого сравнения;

T – продолжительность измерения.

Для повышения точности измерений можно рекомендовать максимально возможное увеличение жесткости подвеса измерительной опоры, что обеспечит уменьшение диапазона изменения угла α в процессе измерений грузопотока.

Институт комплексной механизации шахт «Донгипроуглемаш» в 2011 г. производил измерение величин грузопотока и мощности привода магистрального ленточного конвейера 2ЛУ120 на ОП «Шахта «Должанская-Капитальная» ООО ДТЭК «Свердловантрацит». Измерения производились непрерывно в течение 20 часов в сутки на протяжении шести суток с помощью разработанной специалистами института «Донгипроуглемаш» тензоизмерительной подвесной системы для роlikоопоры. Тензодатчики монтировались в подвесные роlikоопоры конвейера на разгрузочной стреле, на расстоянии 8-10 м от оси разгрузочного барабана. Наряду с реакцией на тензоизмерительную опору, в соответствии с приведенной выше методикой измерялась потребляемая мощность привода конвейера. Необходимые для обработки результатов измерений параметры конвейера 2ЛУ120 приведены в таблице.

Таблица – Параметры ленточного конвейера 2ЛУ120

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Длина конвейера, м	730
2	Угол транспортирования β , град.	3
3	Скорость ленты, м/с	2,0
4	Конвейерная лента	2РТЛТВ2500НП
5	Ширина ленты, м	1,2
6	Максимальная масса груза, воздействующая на измерительную роlikоопору, кг: - при насыпной плотности груза 0,8 т/м ³ , - при насыпной плотности груза 1,0 т/м ³	200 250
7	Количество и тип электродвигателей	2×ВАОК450-S6
8	Номинальная мощность привода, кВт	2×250
9	Синхронная частота вращения, об/мин.	1000
10	Шаг верхних роlikоопор, м	1,25

При обработке экспериментальных данных по приведенной выше методике угол α определялся путем сравнения результатов измерений грузопотока в течение суток с информацией диспетчерской службы шахты. По результатам такого сравнения, в среднем за сутки, $K \approx 3$, при этом, $\alpha = 1,115^\circ$, - измерительная роlikоопора расположена ниже уровня соседних рядовых роlikоопор конвейера.

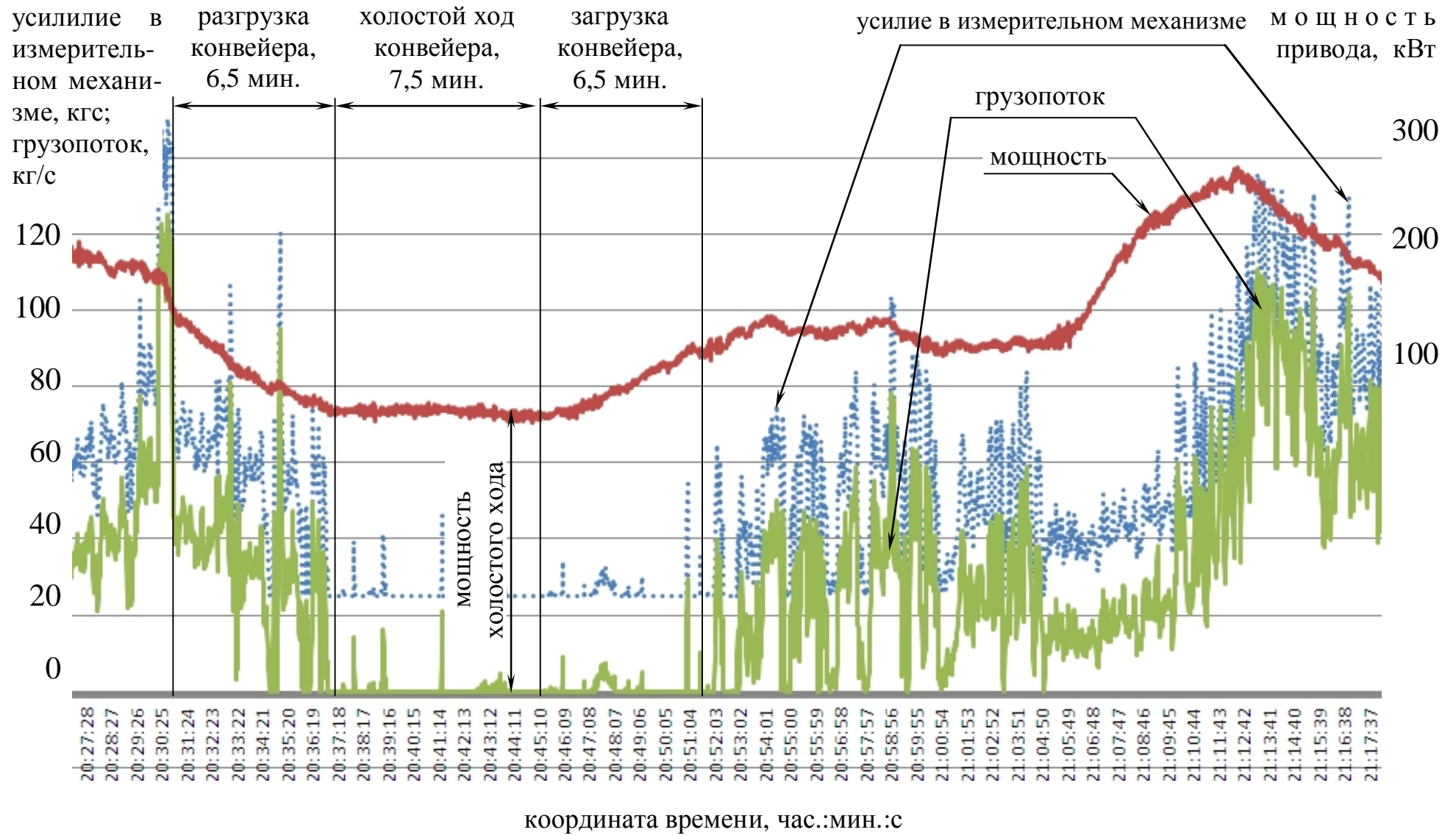


Рисунок 3 – Фрагмент записи показаний мощности и усилия в измерительном механизме с результатами обработки

Таким образом, $-0,1 \leq \alpha \leq -0,7^0$, - измерительная роликоопора расположена ниже уровня соседних рядовых роликоопор конвейера.

Обрабатывая по вышеприведенной методике полученные с помощью съемного тензоизмерительного устройства данные, можно находить значения грузопотока за требуемый промежуток времени без использования стационарных конвейерных весов. Пример представления грузопотока как функции времени с использованием данных оперативного измерения массы груза на роликоопоре и мощности привода представлен на рисунке 3. На графике представлены кривые изменения нагрузки на измерительную роликоопору и мощности приводных двигателей с дискретностью 1 с, а также полученная в результате обработки по приведенному алгоритму (5)...(6) кривая изменения грузопотока. На приведенном фрагменте осциллограммы видны периоды разгрузки, загрузки и холостого хода конвейера. Учет влияния натяжения ленты и фактического угла α позволяет избежать ошибки при измерении грузопотока, которая в рассматриваемом случае приводит к заниженным примерно в 3 раза значениям грузопотока.

Выводы и направления дальнейших исследований.

Разработанная методика позволяет получить мгновенные значения грузопотока на ленточном конвейере, используя результаты оперативных измерений, с учетом влияния натяжения ленты и погрешности монтажа роликоопоры тензоизмерительного устройства. Наиболее точные результаты использования данной методики будут иметь место при достаточной жесткости системы подвеса, а также наличии жесткой рамы поддерживающего става конвейера.

Методика реализована при измерении грузопотока и мощности привода магистрального ленточного конвейера 2ЛУ120В съемным тензоизмерительным устройством, проведенных Донецким научно-исследовательским, проектно-конструкторским и экспериментальным институтом комплексной механизации шахт «Донгипроуглемаш» на ОП «Шахта «Должанская-Капитальная» ООО ДТЭК «Свердловантрацит».

В дальнейшем предполагается использовать полученный уникальный экспериментальный материал для определения статистических характеристик процесса и разработки математической модели грузопотока [6].

Список литературы

1. Прокуда В.М. Исследование и оценка грузопотоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО ДТЭК «Павлоградуголь» / В.М. Прокуда, Ю.А. Мишанский, С.Н. Проценко // Гірничя електромеханіка. - 2012. - № 88. – С. 107-111.
2. Загорулько А.Д. Методика выполнения измерений массы твердого топлива, поступающего на тепловые электростанции, автоматическими конвейерными весами / А.Д.Загорулько, В.А.Кравчук, В.А.Катунин. – М.: СПО «Союзтехэнерго», 1990. – 9 с.
3. Шахмейстер Л.Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточных конвейеров / Л.Г.Шахмейстер, В.Г. Дмитриев, А.К.Лобачева. – М.: Недра, 1972. – 173 с.
4. Шахмейстер Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г.Шахмейстер, В.Г.Дмитриев. - [2-е изд. перераб.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
5. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств / [В.В.Ададунов, В.В.Ариненков, В.А.Будишевский и др.]; под ред. В.А.Будишевского, А.А.Сулимы. – Донецк, 1999. – 216 с.
6. Технология, организация и экономика подземного транспорта / [В.А. Пономаренко, Е.В. Макарова, Е.Л. Креймер и др.]; под общ. ред. В.А. Пономаренко. – М.: Недра, 1977. – 221с.

Стаття надійшла до редакції 15.04.2013

В.П. Кондрахін, М.І. Стаднік, П.В. Белицький. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Вимірювання вантажопотоку на стрічковому конвеєрі за допомогою знімного тензовимірювального пристрою з урахуванням натягу стрічки

Наведена методика і результати оперативного вимірювання вантажопотоку на стрічковому конвеєрі в умовах шахти за допомогою тензовимірювального механізму, що легко монтується, з урахуванням записів потужності повідних двигунів, що споживається.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, вантажопотік, тензовимірювальний пристрій, натяг стрічки, потужність приводу.

V. Kondrakhin, N. Stadnik, P. Belitsky. Donetsk National Technical University

Traffic Measurement on the Belt Conveyor through Removable Tensor Device with Belt Tension Accounting

The paper presents the methods and the results of traffic measurements on the belt conveyor in mines with the help of a removable tensor device taking into account drive motor power consumption recording.

Keywords: belt conveyor, traffic, tensor device, belt tension, power of the drive.