

## ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ ДИАГРАММЫ НАТЯЖЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Е. Коровяка<sup>1\*</sup>, Т. Лубенец<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра транспортных систем и технологий, Национальный горный университет, Днепр, Украина

\*Ответственный автор: e-mail [koroviakaye@gmail.com](mailto:koroviakaye@gmail.com), тел. +380567560042

## SUBSTANTIATION OF THE METHOD FOR CONSTRUCTING THE DIAGRAM OF THE HORIZONTAL BELT CONVEYOR TIGHTNESS

Ye. Koroviaka<sup>1\*</sup>, T. Lubenets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Transport Systems and Technologies Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail [koroviakaye@gmail.com](mailto:koroviakaye@gmail.com), tel. +380567560042

### ABSTRACT

**Purpose.** The method for constructing the diagram of the conveyor belt tightness, which satisfies the fundamental conditions of the mechanical system equilibrium and takes into account the influence of its centrifugal forces has been substantiated.

**Methods.** The horizontal conveyor belt tightness was determined experimentally, which allowed to draw the corresponding diagram.

**Findings.** Regularities of the conveyor belt tightness distribution in a belt conveyor are established and a method for constructing a tightness diagram taking into account the influence of its centrifugal forces is developed.

**Originality.** It is established that in a conveyor belt:

- transmission of the traction force to the conveyor belt is carried out with a constant reaction on the drive station;
- the tightness of the conveyor belt in the points of contact with the drive unit changes reciprocally;
- the extension of the conveyor belt does not change.

**Practical implications.** The method for constructing the diagram of conveyor belt tightness helps to increase efficiency of exploitation of the conveyor transportation-technological charts at mining enterprises.

**Keywords:** conveyor, conveyor belt, tightness, diagram, friction, block, equilibrium conditions, centrifugal forces

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Основные грузопотоки угольных шахт Западного Донбасса реализуются производительными транспортно-технологическими схемами с использованием ленточных конвейеров (Simon, Javad, & Abbas, 2014; Sdvyzhkova & Patyńska, 2016). Конвейеризация предприятий обеспечивает непрерывность грузопотока, высокую производительность и значительную экономическую эффективность по сравнению с циклическим транспортом. Эффективная работа конвейеров, предполагает прогнозирование их тяговой способности и обоснование рациональных режимов эксплуатации (Mcneary, 2000; Huanzhong & Jing-xia, 2011).

Ленточный конвейер – перспективный и широко применяемый способ транспортирования насыпных грузов во всех отраслях промышленности, в том числе и в горнодобывающей. Эксплуатационные (проверочные) расчеты обычно выполняются для: выбора типа конвейера или проверки известного конвейера на заданную производительность и длину; расчета и

выбора ленты – основного дорогостоящего, подвергающегося интенсивному износу элемента конвейера; проверки привода на тяговую способность и мощность; в отдельных случаях – для выбора средств создания натяжения ленты и др. (Bilichenko, Koroviaka, Diachkov, & Rastsvietaiev, 2007).

Чем больше производительность (десятки тысяч кубических метров в час) и меньше длина, тем эффективнее является применение ленточных конвейеров (Zhao & Zhu, 2014; Gorai, Kumar, & Patel, 2017).

Основным методом расчета натяжений ленты по всему контуру является применение диаграммы ее натяжения (Yu, Wang, & Zhang, 2014; Nurbanasari, 2015), где дается наглядное представление о распределении натяжений, а также появляется возможность (если диаграмма выполнена в масштабе) определять натяжения в любом сечении, без дополнительных расчетов выбрать место расположения привода и натяжной станции и т.п. (Wang, Xie, & Wang, 2014; Zhu, Ding, & Xue, 2014).

Исследованиями кафедры транспортных систем и технологий установлено, что на формирование грузопотоков угля и породы из лав и подготовительных забоев стохастически воздействуют множество горно-геологических, технических, технологических и организационных факторов, оказывающих влияние на характер и величины грузопотоков. Поэтому современные системы подземного транспорта должны учитывать любые изменения технологических процессов добычи угля, быть высокоадаптивными и ориентированными на снижение энергозатрат и сохранение качества транспортируемых по горным выработкам грузов.

Достигается это путем оптимизации параметров существующих подземных транспортных установок, исследования процессов формирования шахтных грузопотоков, разработки адаптивных транспортно-технологических схем основного и вспомогательного грузопотоков на базе создания транспортного оборудования высокого технического уровня и технико-экономического обоснования целесообразности его применения в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса (Shirin, Korovyaka, & D'yachkov, 2007).

С удалением горных работ к границам шахтных полей значительно снижается надежность технологических схем транспорта угля по участковым и магистральным конвейерным линиям. При сплошной конвейеризации основного грузопотока выход из строя одного из цепи конвейеров приводит к остановке всей линии и очистного забоя. Более того, в процессе технической диагностики было выявлено несоответствие паспортным данным характеристик узлов шахтных конвейеров (мощность двигателя, типы привода, редуктора, турбомуфт, тип и место установки натяжной станции), которые вызывают износ конвейерных лент, роликов, что в итоге повышает энергозатраты на транспортировку угля и его себестоимость (Korovyaka, D'yachkov, Tokar', & Osipova, 2010).

Параметры транспортно-технологических схем определяются горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки полезных ископаемых, техническими характеристиками и параметрами эксплуатации ленточных конвейеров (Mcnearyn, 2000).

Рациональные транспортно-технологические схемы способствуют повышению эффективности горных работ, уменьшению себестоимости, повышению производительности и безопасности транспортирования (Yu, Zhang, & Wang, 2014).

Эффективность использования транспортно-технологических схем невозможна без определения и прогнозирования тяговой способности ленточных конвейеров, которая обосновывается эксплуатационным расчетом, методика которого помимо прочего включает определение натяжения конвейерной ленты графоаналитическим методом путем построения диаграммы натяжения гибкого тягового органа (SOU..., 2006; Bilichenko & Denyshchenko, 2008). При этом используется действующий закон трения гибких тел – уравнения Эйлера 1775 года (Targ, 1998; Galkin, Dmitriev, D'yachenko, Zapenin, & Sheshko, 2005).

Однако существующий метод определения и прогнозирования тяговой способности ленточных кон-

вейеров, вызывает ряд вопросов, связанных с его несоответствием условиям равновесия механической системы и использованием уравнения трения гибких тел Эйлера, которое не учитывает влияния веса и скорости движения гибкого тела.

Часто прогнозируемые режимы эксплуатации конвейеров не подтверждаются практикой и уже в производственных условиях эмпирическим путем исправляются. Указанное негативно сказывается на эффективности и безопасности эксплуатации конвейерных транспортно-технологических схем.

Целью работы является обоснование метода построения диаграммы натяжения горизонтального ленточного конвейера, который бы отвечал фундаментальным условиям равновесия механической системы и учитывал влияние центробежных сил конвейерной ленты.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для достижения поставленной цели в работе использован комплексный метод, который включает в себя проведение лабораторного эксперимента на испытательном стенде – коротком ленточном конвейере, статистическую обработку полученных результатов и теоретические исследования в области передачи тягового усилия трением, включающие анализ нового решения классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку.

Эксперимент проводится на специальном стенде (Рис. 1), который представляет собой короткий ленточный конвейер, оснащенный приспособлением 1 (ленточный тормоз) для затормаживания концевой барабана 2 (блок натяжной станции) и динамометров, закрепленных на рычагах 3 и 4, для измерения усилий  $P_1$  и  $P_2$ . Блок натяжной станции 2 установлен на шарнире  $O_1$  рычага с осью поворота  $O_2$ . Динамометры предназначены для измерения силы трения между конвейерной лентой и блоком и силы предварительного натяжения конвейерной ленты. Следовательно, сила предварительного натяжения конвейерной ленты поддерживается и контролируется упругим элементом – динамометром.

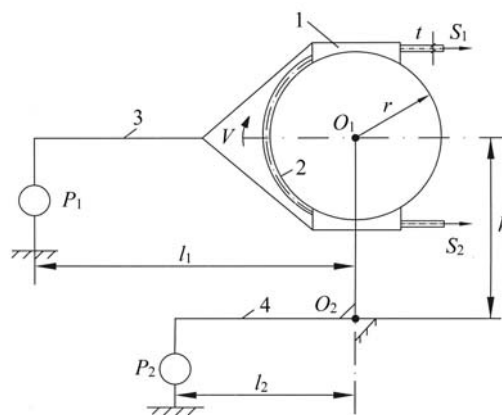


Рисунок 1. Кинематическая схема испытательного стенда: 1 – ленточный тормоз; 2 – блок натяжной станции короткого конвейера; 3, 4 – рычаги;  $P_1$ ,  $P_2$  – динамометры;  $S_1$ ,  $S_2$  – натяжение конвейерной ленты в точках набегающей и сбегания на барабан

В расчетной схеме блок приводной станции конвейера и устройство натяжения конвейерной ленты не показаны. Эти части конвейера в расчетной схеме испытательного стенда заменены действием сил тяги  $S_1$  и  $S_2$ .

Задачей эксперимента является определение натяжений в набегающей  $S_2$  и сбегающей  $S_1$  ветвях конвейерной ленты в момент срыва сцепления (остановка барабана) при различных условиях: лента и барабан сухие, лента и барабан влажные.

Рассмотрим методику проведения эксперимента, сущность испытаний которой состоит в уравнивании момента силы тяги конвейерной ленты  $S_1$  и  $S_2$  и момента силы трения  $F$  ленты о блок при их трении.

Испытания проводят следующим образом:

1) устройством натяжения конвейерной ленты приводной станции стенда создают предварительное натяжение, контролируемое динамометром  $P_2$ ;

2) запускают конвейер – блок приводной станции приводится во вращение, а за счет силы сцепления с приводным блоком конвейерная лента поступательно перемещается по замкнутой траектории и силами тяги  $S_1$  и  $S_2$  приводит во вращение блок 2 натяжной станции;

3) ленточным тормозом 1 создают тормозной момент на оси блока 2 натяжной станции и увеличивают его до значения, при котором блок останавливается – происходит срыв сцепления между конвейерной лентой и блоком 2. При этом лента начинает скользить по блоку с заданной скоростью, а моменты силы тяги  $S_1$  и  $S_2$  и силы трения  $F$  между конвейерной лентой и блоком уравниваются.

Определение сил тяги  $S_2$  и  $S_1$  на участках набегающей конвейерной ленты на блок 2 и сбегающей с него осуществляют методами теоретической механики. Силы тяги  $S_1$  и  $S_2$  являются корнями системы линейных уравнений равновесия механической системы:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n M_{O_1} = S_1 \cdot r - S_2 \cdot r - P_1 \cdot l_1 = 0; \\ \sum_{i=1}^k M_{O_2} = S_1(h+r) + S_2(h-r) - P_2 \cdot l_2 - P_1 \cdot l_1 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где:

$\sum_{i=1}^n M_{O_1}$  – сумма моментов сил механической системы относительно шарнира  $O_1$ ;

$\sum_{i=1}^k M_{O_2}$  – сумма моментов сил механической системы относительно шарнира  $O_2$ ;

$S_1$  – натяжение в сбегающей с блока гибкого тела;

$S_2$  – натяжение в набегающей на блок ветви гибкого тела;

$l_1, l_2$  – длины рычагов;

$P_1, P_2$  – показания динамометров;

$r$  – радиус блока;

$h$  – расстояние между шарнирами.

Откуда, силы тяги  $S_1$  и  $S_2$  равняются:

$$S_1 = \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot r + P_1 \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot r \cdot h}; \quad (2)$$

$$S_2 = \frac{P_2 \cdot l_2 \cdot r - P_1 \cdot l_1 \cdot h}{2 \cdot r \cdot h}. \quad (3)$$

В Таблице 1 приведены результаты экспериментальных исследований. Условия испытаний: ширина конвейерной ленты – 490 мм; суммарное усилие натяжения конвейерной ленты ( $S_1 + S_2$ ) – 286.8 кГ; угол обхвата барабана конвейерной лентой ( $\varphi$ ) – 3.14 рад; радиус барабана ( $r$ ) – 0.112 м; длина рычага ( $l_1$ ) – 0.923 м; длина рычага ( $l_2$ ) – 1.526 м; расстояние между шарнирами ( $h$ ) – 0.394 м;  $F_1$  – усилие натяжения гибкого тела в точке сбегающей ленты с приводного блока ленточного конвейера;  $F_4$  – усилие натяжения гибкого тела в точке набегающей ленты на приводной блок ленточного конвейера.

Таблица 1. Результаты экспериментальных исследований

№	Условия испытаний		Результаты испытаний		Расчетное натяжение	
	трение	лента	$P_1$ , кГ	$P_2$ , кГ	$S_1 = F_4$ , кГ	$S_2 = F_1$ , кГ
1	сцепления	сухая	0.0	74.0	143.4	143.4
2	сцепления	сухая	8.8	74.0	179.6	107.2
3	сцепления	сухая	11.9	74.0	192.4	94.4
4	сцепления	влажная	0.0	74.0	143.4	143.4
5	сцепления	влажная	3.3	74.0	157.0	129.8
6	скольжения	сухая	16.5	74.0	211.4	75.4
7	скольжения	влажная	5.7	74.0	166.9	119.9

Экспериментом подтверждено, что при различных значениях тормозной силы  $P_1$  ленточного тормоза показания динамометра  $P_2$  постоянные и для наших условий испытаний составляет 74 кГ. Это соответствует усилию предварительного натяжения конвейерной ленты, которое равно:

$$P = \left( P_2 \cdot \frac{l_2}{h} \right) = 74 \cdot \frac{1.526}{0.394} = 286.8 \text{ кГ}. \quad (4)$$

Т.е. усилие предварительного натяжения конвейерной ленты при испытаниях не зависят ни от коэффициента трения-скольжения, ни от значения неполного коэффициента трения-сцепления между телами. Варьирование коэффициента трения-скольжения в эксперименте достигалось смачиванием конвейерной ленты. Кроме того, рассчитанные усилия тяги на блоке натяжной станции  $S_1$  и  $S_2$  или усилия натяжения гибкого тела на приводном блоке  $F_1$  и  $F_4$  при испытаниях изменялись симметрично “зеркально” относительно половины усилия предварительного натяжения конвейерной ленты, которое было равно  $P = 143.4$  кГ.

При испытаниях с заданными предварительным усилием ее натяжения  $P$  и скоростью движения, равной 1.0 м/с, результаты эксперимента свидетельствуют о неизменности удлинения замкнутой конвейерной ленты. Т.е. полная и потенциальная механическая энергия конвейерной ленты при испытании не изменяется, что свидетельствует о соблюдении закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе.

Следовательно, результаты экспериментальных исследований на испытательном стенде подтверждают их соответствие фундаментальным классическим условиям равновесия механической системы:

– при испытаниях реакция  $R$  и предварительное усилие натяжения  $P$  на осях приводного и натяжного блоков не изменяются и равны между собой;

– передача конвейерной ленте различного тягового усилия на приводном блоке  $F_0$  осуществляется при неизменной реакции  $R$  на его оси;

– натяжения конвейерной ленты на обоих контактах с приводным блоком при передаче различного тягового усилия изменяются зеркально;

– при различных режимах испытаний удлинение замкнутой натянутой конвейерной ленты не изменяется, что свидетельствует о сохранении ее механической в том числе и потенциальной энергии (или ее графической оценки – площади действительной диаграммы натяжения), соблюдении закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе.

Проведенный анализ действующего метода построения диаграммы натяжения конвейерной ленты ленточного конвейера показал, что он не отвечает полученным экспериментальным данным и фундаментальным условиям равновесия механической системы, что указывает на необходимости разработки нового метода построения диаграммы натяжения.

Кроме того, нами в рамках анализа нового решения классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку, учитывающего законы трения тел Кулона и сохранения механической энергии в замкнутой механической системе (Lubenets, 2008), было учтено влияние центробежных сил гибкого тела. Центробежные силы конвейерной ленты ленточных конвейеров на столько же уменьшают нормальную реакцию между телами, которые для больших скоростей движения конвейерной ленты, достигающих 3.15 м/с, весьма значительны.

Полученное уравнение трения гибких тел опосредованно содержит общепризнанную “нормальную реакцию” и “силу трения”, которые линейно связаны между собой с помощью коэффициента трения, что отвечает общепризнанным представлениям о трении, сложившимся на протяжении столетий:

$$F = f \cdot N = f \cdot \left( \varphi \cdot \frac{S_1 + S_2 - 2 \cdot q \cdot v^2}{2} \right), \quad (5)$$

где:

$F$  – сила трения;

$N$  – нормальная реакция между телами;

$S_1, S_2$  – натяжения в сбегавшей и набегающей на блок ветвях гибкого тела;

$\varphi$  – угол обхвата блока гибким телом;

$f$  – коэффициент трения скольжения между гибким телом и блоком;

$v$  – скорость движения;

$q$  – линейная масса тела.

Следовательно, для реализации блоком заданного тягового усилия по новому условию сцепления достаточно обеспечить необходимую нормальную реакцию  $N$  между телами или суммарное усилие натяжения тела на обох контактах с приводным блоком ( $S_1 + S_2$ ):

$$F_{px} = (F_1 + F_4) \geq \frac{2(N + C)}{\varphi} \geq \frac{2F_0}{\varphi \cdot f} + 2qv^2, \quad (6)$$

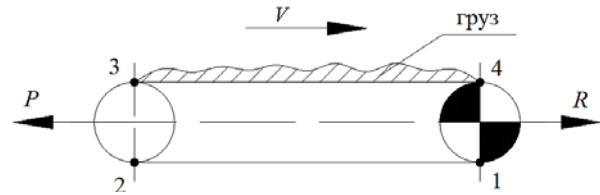
где:

$F_0$  – окружное тяговое усилие;

$C$  – центробежная сила гибкого тела.

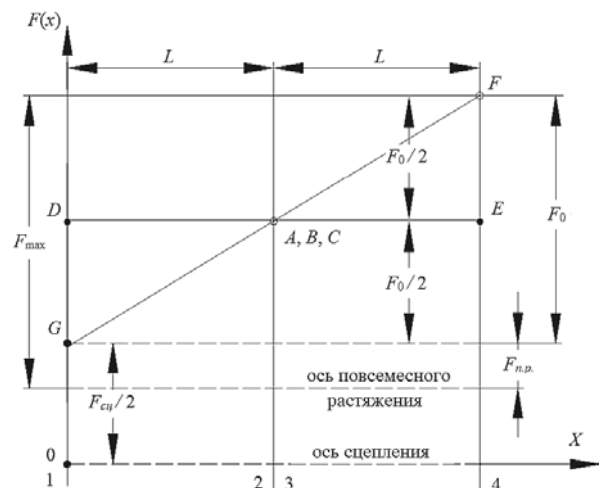
Разработанный нами графоаналитический метод расчета ленточного конвейера с построением диаграммы натяжения конвейерной ленты реализуется следующим образом.

На Рисунке 2 представлена расчетная схема горизонтального ленточного конвейера.



**Рисунок 2.** Расчетная схема горизонтального ленточного конвейера:  $P$  – усилия натяжения конвейерной ленты на блоке натяжной станции;  $R$  – реакция на блоке приводной станции;  $v$  – скорость движения конвейерной ленты; 1, 2, 3, 4 – контакты конвейерной ленты с блоками натяжной и приводной станций

На Рисунке 3 представлена одна из диаграмм натяжения ленты горизонтального ленточного конвейера.



**Рисунок 3.** Диаграмма натяжения горизонтального ленточного конвейера:  $F(x)$  – зависимость силы натяжения ленты от ее сечения; линии 1, 2, 3, 4 – контакты ленты с блоками натяжной и приводной станции;  $F_0$  – круговое тяговое усилие конвейера;  $F_{ци}$  – необходимая сила натяжения ленты за условием сцепления с приводным блоком;  $F_{н.п.}$  – нормативная сила натяжения ленты за условием провисания

На диаграмме Рисунка 3 точки  $A, B$  и  $C$  сливаются, так как сила тяги участка  $F_{2-3}$  определяется из выражения  $F_3 = 1.02 \cdot F_2$ , а потому она  $\approx 0$ .

Приводим новый порядок построения диаграммы натяжения конвейерной ленты горизонтального ленточного конвейера с учетом ее центробежных сил.

1. По известной методике вычисляют силы тяги отдельных звеньев конвейерной ленты  $F_{1-2}, F_{2-3}, F_{3-4}$  и общее круговое тяговое усилие ленточного конвейера  $F_0 = F_{1-2} + F_{2-3} + F_{3-4}$ .

2. В дальнейшем руководствуются нормативным натяжением ленты по условию повсеместного растяжения (провисания)  $F_{н.п.}$ .



Вычисляют необходимое натяжение ленты на обеих контактах с блоком приводной станции с учетом ее центробежных сил  $F_{cu} = (F_1 + F_4)$  по условию ее сцепления. Потому, что от него зависит нормальная реакция между телами, которая связана с общим круговым тяговым усилием  $F_0$  посредством коэффициента трения  $f$ :

$$F_{px} = (F_1 + F_4) \geq \frac{2 \cdot 0}{\varphi \cdot f} + 2qv^2. \quad (7)$$

3. Выполняют построение диаграммы натяжения конвейерной ленты:

– на вертикальных линиях 2, 3 произвольно откладывают силу тяги звена блока натяжной станции  $F_{2-3}$  (точки  $A$  и  $B$ ), если эта сила тяги не пренебрегается;

– по середине между ними отмечают точку  $C$ , которая характеризует натяжение ленты на натяжном блоке в состоянии “покоя” и сносят ее на вертикальные линии 1 и 4 (точки  $D$  и  $E$ ), что есть средним натяжением на контактах с блоком;

– на вертикальных линиях 1, 4 от точек  $D$  и  $E$  вниз и вверх откладывают 1/2 общего кругового тягового усилия  $F_0/2$  (точки  $F$  и  $G$ ), которые отвечают силе натяжения ленты на контактах с приводным блоком в состоянии движения;

– отрезками прямой линии соединяют точки  $F, A, B$  и  $G$ , что есть диаграммой натяжения ленты, которая не характеризует ее количественно – нет оси абсцисс;

– находить положение ось абсцисс:

1 ось – откладывают силу  $F_{cu}/2$  от нижней точки  $F$  или  $G$  на линиях 1, 4 за условием отсутствия пробуксовки и проводят ось сцепления;

2 ось – откладывают силу  $F_{np}$  от самой нижней точки  $F, A, B$  или  $G$  на линиях 1, 2, 3 или 4 за условием провисания и проводят ось повсеместного растяжения;

– в качестве оси абсцисс выбирают нижнюю из проведенных осей.

Построение диаграммы натяжения конвейерной ленты завершено. Ордината диаграммы характеризует натяжение конвейерной ленты в любом сечении замкнутого контура в выбранном масштабе.

Новый метод, в частности, отвечает установленным закономерностям перемещения замкнутой натянутой на блоки ленты условиям равновесия моментов и сил механической системы. Натяжение ленты ( $F$ ) на ее контактах 1, 2, 3 и 4 с блоками отвечает условиям:  $P = R$  или  $(F_1 + F_4) = (F_2 + F_3)$ , а  $(F_4 - F_1) = F_0$  и  $(F_3 - F_2) = F_{2-3}$  (Рис. 3). Метод обеспечивает достоверное определение прогнозируемых параметров работы конвейера – максимальное натяжение конвейерной ленты  $F_{max}$  (по нему выбирают тип ленты) и усилие предварительного натяжения ленты  $P$ , которые влияют на тяговую способность и надежность работы ленточного конвейера, а также способствует увеличению ресурса эксплуатации конвейерной ленты.

### 3. ВЫВОДЫ

В результате работы предлагается новый метод построения диаграммы натяжения горизонтального ленточного конвейера, критерием которого является соблюдение условия равновесия механической системы, соответствие закономерностям перемещения замкнутой натянутой ленте на блоках и представлениям о транспортировании распределенных грузов.

В сравнении с действующим методом построения диаграммы натяжения, новый метод способствует повышению достоверности определения усилия натяжения конвейерной ленты, что позволит более точно выбирать тип конвейерной ленты и обосновывать рациональные параметры эксплуатации ленточных конвейеров, в том числе определять и прогнозировать тяговую способность.

Таким образом, предлагаемая методика построения способствует повышению эффективности эксплуатации ленточных конвейеров, уменьшению себестоимости транспортирования, повышению производительности, надежности и безопасности работы конвейерных транспортно-технологических схем.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена на лабораторной базе кафедры транспортных систем и технологий Национального горного университета и посвящена внесению изменений в методику построения диаграммы натяжения конвейерной ленты, в частности учета влияния ее центробежных сил, зависящих от скорости движения.

Отдельно авторы признательны основателям кафедры за созданную ими испытательную базу, без которой проведение работ было бы невозможным.

### REFERENCES

- Bilichenko, M.Ia., & Denyshchenko, O.V. (2008). *Osnovy teorii ta rozrakhunky zasobiv transportuvannia vantazhiv shakht*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi Hirnychiy Universytet.
- Bilichenko, M.Ia., Koroviaka, Ie.A., Diachkov, P.A., & Rastsvietaiev, V.O. (2007). *Osnovy teorii transportu*. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi Hirnychiy Universytet.
- Galkin, V.I., Dmitriev, V.G., D'yachenko, V.P., Zapenin, I.V., & Sheshko, E.E. (2005). *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy*. Moskva: Izdatelstvo Moskovskogo gosudarstvennogo gornogo universiteta.
- Gorai, A.K., Kumar, P., & Patel, A.K. (2017). Reliability Analysis of the Main Conveyor System in Underground Coal Mine to Determine the Maintenance Schedules. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 8(3), 207. <https://doi.org/10.1504/ijmme.2017.085838>
- Huanzhong, W., & Jing-xia, D. (2011). Research on the Reliability of Underground Coal Mine Belt Conveyor System. In *2011 Second International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*. Wuhan, China: Wuhan Institute of Technology. <https://doi.org/10.1109/mace.2011.5988818>
- Korovyaka, E.A., D'yachkov, P.A., Tokar', L.A., & Osipova, T.V. (2010). Oblast' effektivnogo primeneniya trubchatykh lentochnykh konveyerov v usloviyakh Zapadnogo Donbassa. In *Shkola Pidzemnoi Rozrobky* (pp. 201 – 210). Dnipropetrovsk: Natsionalnyi Hirnychiy Universytet.
- Lubenets, N.A. (2008). Al'ternativnyy formuly Eylera zakon realizatsii tyagovogo usiliya treniem. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (11), 67-70.
- Mcneary, R. (2000). Simulation of a Conveyor Belt Network at an Underground Coal Mine. *Mineral Resources Engineering*, 9(3), 343-355. [https://doi.org/10.1016/s0950-6098\(00\)00029-9](https://doi.org/10.1016/s0950-6098(00)00029-9)
- Nurbanasari, M. (2015). In Situ Damage Assessment on Supporting Structure of Coal Conveyor. *Applied Mechanics and Materials*, (763), 129-133. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.763.129>
- Sdvyzhkova, O., & Patyńska, R. (2016). Effect of Increasing Mining Rate on Longwall Coal Mining – Western Donbass Case Study. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 38(1). <https://doi.org/10.1515/sgem-2016-0010>

- Shirin, L.N., Korovyaka, E.A., & D'yachkov, P.A. (2007). Obosnovanie oblasti effektivnogo primeneniya krutona-klonnykh konveyerov v usloviyakh shakht Zapadnogo Donbassa. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (6), 73-78.
- Simon, F., Javad, B., & Abbas, B. (2014). Availability Analysis of the Main Conveyor in the Svea Coal Mine. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(5), 587-591. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2014.07.004>
- SOU 10.1.00185790.004-2006. (2006). *Standart minvuhlepromu Ukrainy. Konveiry shakhtni strichkovi. Vymohy do proektuvannia, montazhu, tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu*. Kyiv: Ministerstvo vuhilnoi promyslovosti Ukrainy.
- Targ, S.M. (1998). *Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki*. Moskva: Vysshaya shkola.
- Wang, J.X., Xie, H.D., & Wang, Z.D. (2014). Research on Real Time Monitoring System for Coal Mine Belt Conveyor. *Advanced Materials Research*, (1030-1032), 1527-1532. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1030-1032.1527>
- Yu, L., Wang, F., & Zhang, X.L. (2014). Design of Coal Mine Belt Conveyor Control System Based on OPC Technology. *Applied Mechanics and Materials*, (614), 191-194. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.614.191>
- Yu, L., Zhang, X.L., & Wang, F. (2014). Simulation of PID Control of Belt Conveyor System in Coal Mine by an Improved Adaptive Genetic Algorithm. *Applied Mechanics and Materials*, (614), 215-218. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.614.215>
- Zhao, P.J., & Zhu, Y. (2014). Design and Application Analysis of Coal Mine Belt Conveyor Automation System. *Advanced Materials Research*, (1044-1045), 759-762. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1044-1045.759>
- Zhu, S.G., Ding, W.J., & Xue, G.H. (2014). Vibration Fault Diagnosis on Gearbox of Belt Conveyor in Coal Mine. *Applied Mechanics and Materials*, (543-547), 1145-1148. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.543-547.1145>

## ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Обоснование метода построения диаграммы натяжения конвейерной ленты, который отвечает фундаментальным условиям равновесия механической системы и учитывает влияние ее центробежных сил.

**Методика.** Экспериментальное определение натяжения конвейерной ленты горизонтального ленточного конвейера и построение диаграммы ее натяжения.

**Результаты.** Установлены закономерности распределения натяжений конвейерной ленты в ленточном конвейере и разработан метод построения диаграммы натяжения, учитывающий влияние ее центробежных сил.

**Научная новизна.** Установлено, что в ленточном конвейере:

- передача конвейерной ленте тягового усилия осуществляется при неизменной реакции на приводной станции;
- натяжения конвейерной ленты на контактах с приводным блоком изменяются “зеркально”;
- удлинение конвейерной ленты не изменяется.

**Практическая значимость.** Метод построения диаграммы натяжения ленточного конвейера способствует повышению эффективности эксплуатации конвейерных транспортно-технологических схем горных предприятий.

**Ключевые слова:** конвейер, конвейерная лента, натяжение, диаграмма, трение, блок, условия равновесия, центробежные силы

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Обґрунтування методу побудови діаграми натягу конвеєрної стрічки, який відповідає фундаментальним умовам рівноваги механічної системи і враховує вплив її відцентрових сил.

**Методика.** Експериментальне визначення натягу конвеєрної стрічки горизонтального стрічкового конвеєра та побудова діаграми її натягу.

**Результати.** Встановлено закономірності розподілу натягу конвеєрної стрічки у стрічковому конвеєрі та розроблено метод побудови діаграми натягу, що враховує вплив її відцентрових сил.

**Наукова новизна.** Встановлено, що в стрічковому конвеєрі:

- передача конвеєрній стрічці тягового зусилля здійснюється при незмінній реакції на привідній станції;
- натяг конвеєрної стрічки на контактах з привідним блоком змінюються “дзеркально”;
- подовження конвеєрної стрічки не змінюється.

**Практична значимість.** Метод побудови діаграми натягу стрічкового конвеєра сприяє підвищенню ефективності експлуатації конвеєрних транспортно-технологічних схем гірничих підприємств.

**Ключові слова:** конвеєр, конвеєрна стрічка, натяг, діаграма, тертя, блок, умови рівноваги, відцентрові сили

## ARTICLE INFO

Received: 22 July 2017

Accepted: 26 September 2017

Available online: 30 September 2017

## ABOUT AUTHORS

Yevhenii Koroviaka, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Transport Systems and Technologies Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/502, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [koroviakaye@gmail.com](mailto:koroviakaye@gmail.com)

Tetiana Lubenets, PhD Student of the Transport Systems and Technologies Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/501, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [lubenets\\_tatyana@ukr.net](mailto:lubenets_tatyana@ukr.net)