

УДК (UDC) 621.86

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУЗОНЕСУЩЕЙ И ТЯГОВОЙ ЛЕНТ  
ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПРИВОДА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРАANALYSIS OF TRACTIVE AND CARRYING BELTS INTERACTION  
OF INTERMEDIATE DRIVE OF BELT CONVEYORГончаров К.А.  
Goncharov K.A.Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)  
Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

**Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментального исследования зоны контакта тяговой и грузонесущей лент промежуточного ленточного привода ленточного конвейера в поперечной ориентации с использованием тепловизионной съемки. Описаны конструкция экспериментального стенда, условия и последовательность проведения исследования. Установлены закономерности взаимодействия лент, в частности неравномерность их сцепления в зоне контакта по ширине, что выражается в проявлении ряда преимущественных продольно ориентированных зон, расположение которых в поперечной ориентации соответствует точкам контакта сечений лент с ребрами роликов поддерживающих роликсопор. На основе результатов проведенных экспериментальных исследований разработана методика расчета приведенного коэффициента сцепления лент, дополнительно учитывающая кусковатость перемещаемых грузов, в частности возможное опирание прилегающего к ленте слоя частиц груза непосредственно через их кромки. Отражены ограничения в рамках предложенной методики, определяемые типами транспортируемых материалов. Показан пример расчета коэффициента сцепления.

**Ключевые слова:** промежуточный привод, тяговая лента, грузонесущая лента, коэффициент сцепления, тепловой контроль, тяговый расчет, ленточный конвейер.

**Дата принятия к публикации:** 12.09.2019  
**Дата публикации:** 25.12.2019

**Сведения об авторах:**

**Гончаров Кирилл Александрович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», e-mail: ptm\_bstu@mail.ru.  
ORCID: 0000-0002-5895-1162

**Abstract.** The paper presents the findings of the investigative study on the contact zone of the tractive and carrying belts of the intermediate belt conveyor drive in cross section using thermal filming. The description of the test bench, conditions and sequence of the study is provided. The regularities of belt interaction are identified; particularly the irregularity of their adhesion in width in the contact zone, resulting in a number of primary longitudinally oriented areas. The location of the areas in cross section corresponds to the contact points of the belt sections with the roller ribs of supporting roller carriages. On the basis of the investigative study, the design procedure of the reduced factor of belt adhesion is developed. The procedure takes into account lumpiness of the loads as well, particularly probable bearing of the load particle layer adjacent to the belt directly through the edges. The paper shows the limitations within the context of the proposed procedure depending on the types of transported materials. The example of traction coefficient calculation is shown.

**Keywords:** intermediate drive, tractive belt, carrying belt, traction coefficient, thermal control, traction calculation, belt conveyor.

**Date of acceptance for publication:** 12.09.2019  
**Date of publication:** 25.12.2019

**Authors' information:**

**Kirill A. Goncharov** – PhD in Technical Sciences, associate Professor, head of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, e-mail: ptm\_bstu@mail.ru.  
ORCID: 0000-0002-5895-1162

## 1. Введение

Проектирование промежуточных ленточных приводов ленточных конвейеров является сложной технической задачей, зависящей от множества факторов, а именно от свойств транспортируемых грузов, стабильности грузопотока, механизма сцепления тяговой и грузонесущей лент, систем управления приводами, в том числе натяжными устройствами, применяемых технических решений роликоопор и многих других.

Механизм взаимодействия тяговой и грузонесущей лент является одним из наиболее сложных для исследования и моделирования, как с теоретической, так и с экспериментальной позиций. К примеру, в работах [1-3] описаны результаты экспериментального теплового исследования взаимодействия лент в продольном направлении, в результате которых установлено, что при прохождении грузонесущей лентой зоны взаимного контакта её температура в этот период незначительно увеличивается. При этом при обработке данных использовалась привязка контрольных точек измерения к прямой линии, которая, в свою очередь, может иметь небольшие отклонения от параллельности в отношении боковой проекции линии контакта лент, что свидетельствует о возможной неравномерности при распределении взаимных контактных усилий по ширине лент.

Экспериментальное определение коэффициентов сцепления лент в промежуточных ленточных приводах проводилось в рамках исследований, описанных в работах [4, 5]. Коэффициенты определялись расчетным способом на основе данных замеров расхода энергии приводами конвейера. Стоит отметить, что полученное авторами фактическое значение коэффициента сцепления неприменимо при процедуре описанного ими же тягового расчета по критерию тяговой способности приводов, т.к. в этом случае два из трех приводов, имеющих абсолютно одинаковую длину, при одинаковом грузопотоке и прочих равных параметрах должны согласно расчету реализовывать одинаковые тяговые усилия, что опровергается опять же результатами замера расхода мощности приводов [5].

В целом, в практике проектирования можно отметить сложившуюся тенденцию принятия при процедуре тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров с промежуточными ленточными приводами единого постоянного значения коэффициента сцепления тяговой и грузонесущей лент, что можно объяснить отсутствием дополнительных исследований в этой области, а также стремлением к упрощению процедур расчета.

## 2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение зоны контакта тяговой и грузонесущей лент промежуточного ленточного привода конвейера в поперечной ориентации с целью установления закономерностей взаимодействия лент, а также разработки обоснованной методики определения расчетного значения коэффициента их сцепления с учетом возможной неравномерности контакта по ширине лент.

## 3. Методика проведения исследования

Для изучения особенностей работы промежуточных ленточных приводов была разработана принципиальная схема и создана натурная конструкция экспериментального стенда (рис. 1), подробное описание которой представлено в работах [3, 6]. Стенд включает два замкнутых контура лент – верхний и нижний. Нижний контур является приводным и моделирует работу промежуточного ленточного привода. Верхний контур является ведомым, при этом его нижняя ветвь взаимодействует с приводным нижним контуром, моделируя работу грузовой ветви грузонесущей ленты конвейера. Прижатие контуров осуществляется посредством вертикальных регулировочных винтов. Привод тягового контура осуществляется с помощью мотор-барабана, установленного в его головной части. В обоих контурах применены винтовые натяжные устройства, причем натяжное устройство верхнего контура выполнено двусторонним.

Тепловая картина взаимодействия лент в поперечном направлении была исследована с



Рис. 1. Экспериментальный стенд

помощью тепловизора Fluke Ti40. Исследование проводилось с учетом рекомендаций [7].

Так, на основе рекомендаций [7] были соблюдены следующие условия теплового контроля:

1. Тепловой контроль проводился для наружных поверхностей двух элементов экспериментального стенда (лент верхнего и нижнего контуров) с учетом их выдержки в теневой части (без воздействия прямых солнечных лучей) неотапливаемого помещения лаборатории в летнее время при начальной температуре окружающей среды 22...24°C более 12 ч.

2. Поверхность ленты верхнего контура представляет собой резиновое покрытие черного цвета с коэффициентом излучения поверхности 0,94. Поверхность ленты нижнего контура с учетом частичного износа представляет собой хлопковую ткань (верхняя прокладка тягового каркаса) с коэффициентом излучения поверхности 0,77.

3. При проведении теплового контроля проводился сравнительный анализ собственных температурных значений отдельно для каждого объекта контроля, в связи с чем, в качестве реперных зон были выбраны непосредственно ленты верхнего и нижнего контуров. В начале проведения контроля температура реперных зон соответствовала температуре окружающей среды и была определена бесконтактным методом в соответствии с [7]. Проводимый сравнительный анализ объ-

ектов исследования исключал необходимость сравнения их абсолютных температурных показателей друг с другом, вследствие чего при представлении результатов обработки данных не производилось приведение температур с использованием коэффициентов излучения поверхностей.

Экспериментальное исследование представляло собой тепловую съемку зоны контакта лент при непрерывной работе стенда (скорость движения лент 2 м/с, без буксования, взаимного проскальзывания и бокового схода) с интервалом выполнения снимков – 10 минут.

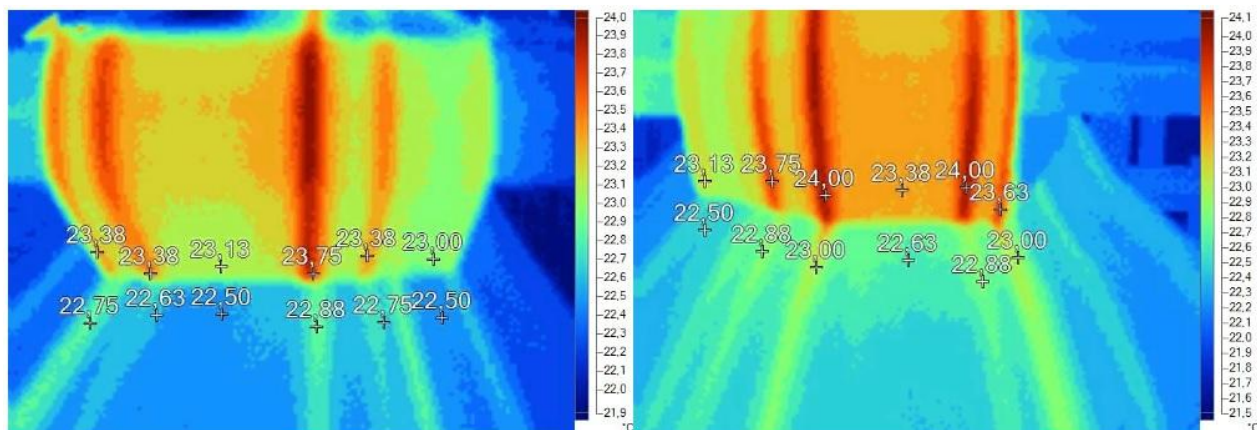
#### 4. Результаты и их анализ

В результате проведенного экспериментального исследования было получено 14 термограмм зоны контакта лент в различные периоды времени работы стенда, часть из которых представлена на рис. 2 – 4.

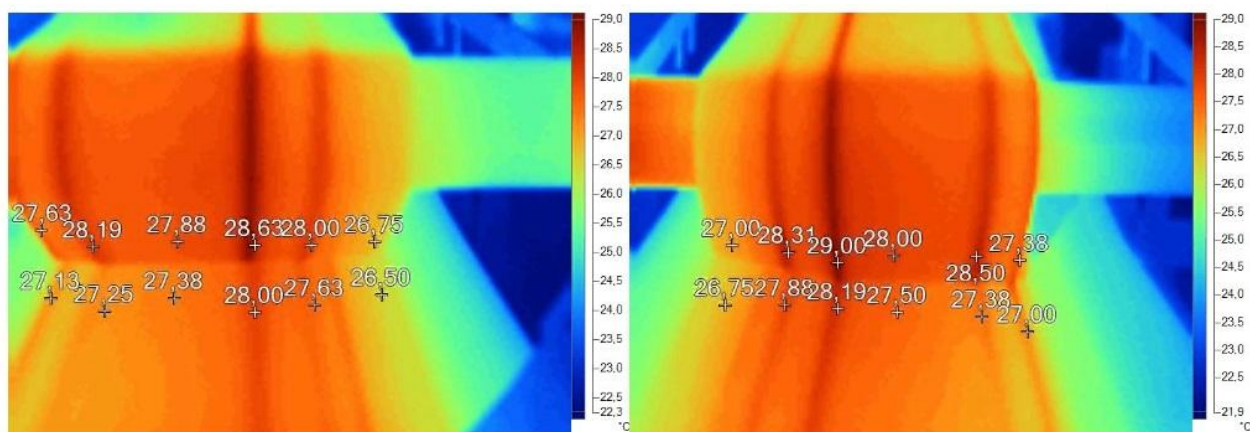
При анализе термограмм можно отметить, что температуры лент верхнего и нижнего контуров за рассматриваемый период работы стенда выросли в среднем на 5°C.

Также однозначно можно установить, что сцепление тяговой и грузонесущей лент в зоне контакта неравномерно по их ширине. Выделяется ряд преимущественных продольно ориентированных зон контакта, расположение которых в поперечной ориентации соответствует точкам контакта сечений лент с ребрами роликов поддерживающих ролико-

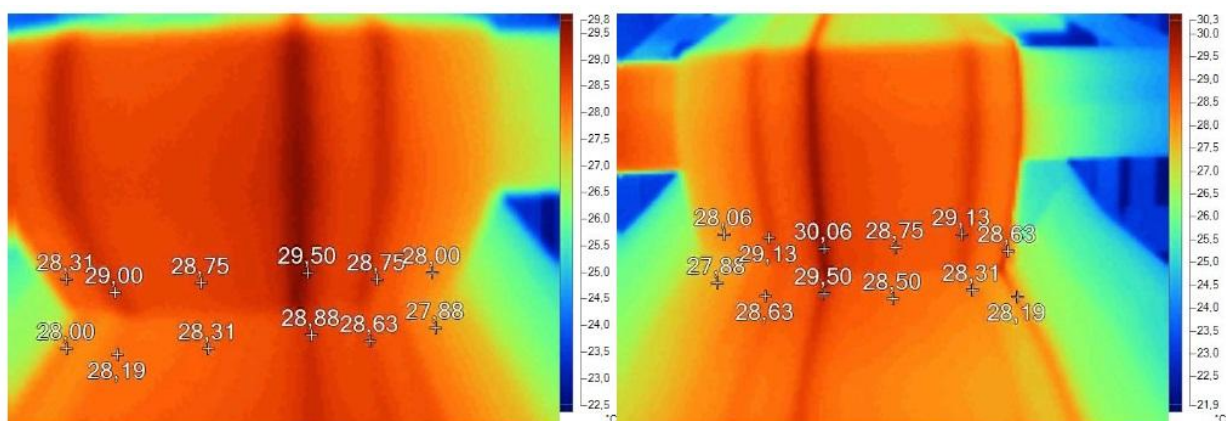




а) б)  
 Рисунок 2 – Термограммы объектов исследования (время работы 10 мин):  
 а – начало зоны контакта лент; б – конец зоны контакта лент



а) б)  
 Рисунок 3 – Термограммы объектов исследования (время работы 100 мин):  
 а – начало зоны контакта лент; б – конец зоны контакта лент



а) б)  
 Рисунок 4 – Термограммы объектов исследования (время работы 140 мин):  
 а – начало зоны контакта лент; б – конец зоны контакта лент

роlikоопор, что свидетельствует о неравномерности распределения тяговой способности промежуточного ленточного привода по ширине лент.

Данный эффект можно учесть при расчетах введением процедуры дифференцирования коэффициента сцепления лент и его приведения к усредненному значению по их ширине. Картину распределения преимущест-

венных зон контакта и соответствующих им значений коэффициента сцепления лент можно представить в виде обобщенной диаграммы (рис. 5), в которой в качестве опорных точек расположения данных зон определены боковые грани роликoв и возможные точки опоры транспортируемых грузов, выстроенные в зависимости от кусковатости последних.

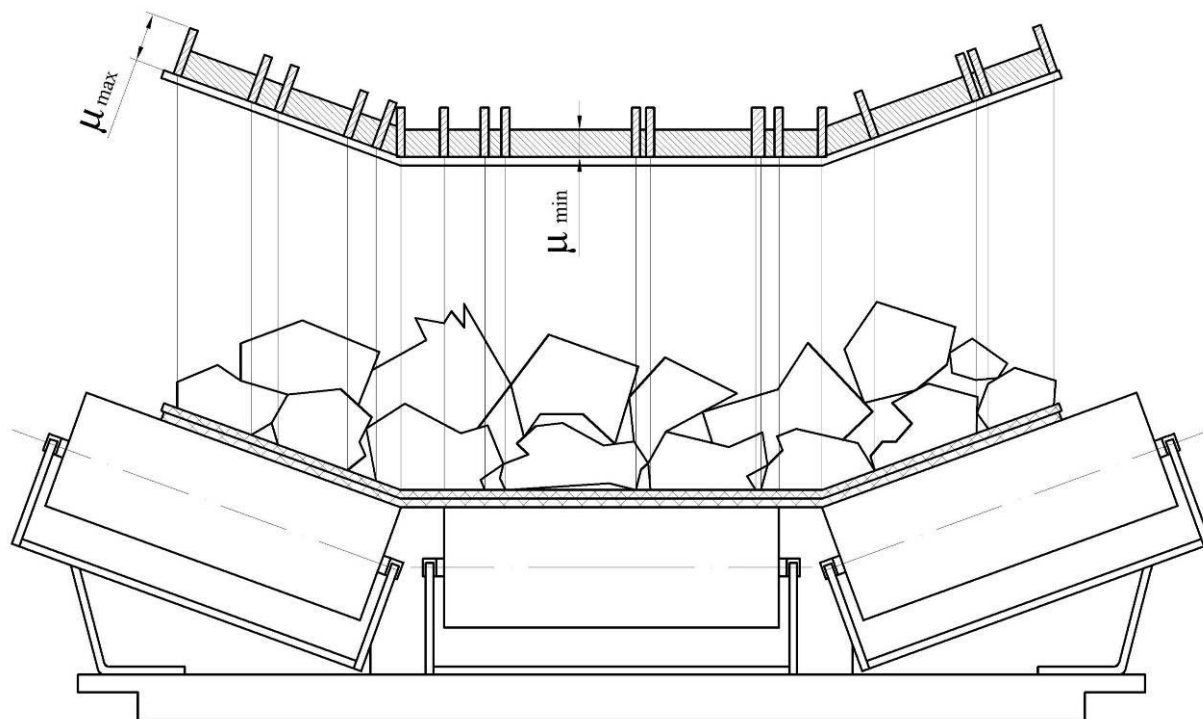


Рис. 5. Обобщенная диаграмма распределения преимущественных зон контакта по ширине лент в привязке к роlikоопоре верхней ветви

В опорных точках вследствие значительного взаимного прижатия лент коэффициент сцепления будет принимать максимально возможное значение  $\mu_{max}$ , задаваемое с учетом других дополнительных условий проектирования. Величину ширины зоны контакта лент, образующейся в опорных точках, можно принимать равной толщине грузонесущей ленты, что согласуется с результатами анализа тепловых картин, полученными в ходе эксперимента.

В зонах контакта лент, находящихся вне опорных точек, коэффициент сцепления будет принимать минимально возможное значение  $\mu_{min}$ , также определяемое с учетом дополнительных условий проектирования. Число опорных точек  $n_{онк}$ , соответствующих

кромкам кусковатых грузов, предлагается приблизительно определять по зависимости

$$n_{онк} = \frac{2B}{a'}, \quad (1)$$

где  $B$  – наименьшая ширина какой-либо ленты в зоне контакта;  $a'$  – средний размер типичного куска транспортируемого груза.

Число опорных точек  $n_{онр}$ , соответствующих боковым граням роликoв, с учетом отсутствия контакта лент и крайних граней концевых роликoв роlikоопоры

$$n_{онр} = 2n_p - 2, \quad (2)$$

где  $n_p$  – количество роликoв в поддерживающей роlikоопоре верхней ветви конвейера.

Общая длина зоны контакта лент  $S_{\Sigma}$ , соответствующая коэффициенту сцепления  $\mu_{max}$

$$S_{\Sigma} = 2b_{\text{л}} \left( \frac{B}{a'} + n_p - 1 \right), \quad (3)$$

где  $b_{\text{л}}$  – толщина грузонесущей ленты.

Приведенный коэффициент сцепления лент в соответствии с обобщенной диаграммой распределения преимущественных зон контакта по ширине лент определяется зависимостью

$$\mu_{np} = \frac{S_{\Sigma} \mu_{max} + (B - S_{\Sigma}) \mu_{min}}{B}. \quad (4)$$

В результате преобразования выражения (4) получим

$$\mu_{np} = 2b_{\text{л}} \left( \frac{1}{a'} + \frac{n_p}{B} - \frac{1}{B} \right) (\mu_{max} - \mu_{min}) + \mu_{min} \quad (5)$$

Зависимость (5) справедлива, если выполняется условие

$$a' \geq \frac{2Bb_{\text{л}}}{B - 2b_{\text{л}}(n_p - 1)}. \quad (6)$$

В противном случае следует принять  $\mu_{np} = \mu_{max}$ .

Если в момент анализа тяговой способности промежуточного ленточного привода на грузонесущей ленте отсутствует груз (холостой ход конвейера), зависимость (5) представляется в виде

$$\mu_{np} = 2b_{\text{л}} \left( \frac{n_p}{B} - \frac{1}{B} \right) (\mu_{max} - \mu_{min}) + \mu_{min}. \quad (7)$$

В качестве примера рассмотрим расчетный случай со следующими исходными данными: ширина лент (тяговой и грузонесущей)  $B = 100$  см; средний размер типичного куска транспортируемого груза  $a' = 12,5$  см; толщина грузонесущей ленты  $b_{\text{л}} = 1$  см;  $\mu_{max} = 0,5$ ;  $\mu_{min} = 0,2$ ; количество роликов в верхней роликоопоре  $n_p = 3$ .

В результате подстановки указанных данных в выражение (5) получим значение приведенного коэффициента сцепления лент  $\mu_{np} = 0,26$ .

Исходя из анализа полученных зависимостей, можно выделить следующие закономерности:

1) с увеличением среднего размера типичного куска транспортируемого груза приведенный коэффициент сцепления тяговой и грузонесущей лент уменьшается, что фактически соответствует наличию большего количества пустот между частицами груза при его распределении по ширине ленты по сравнению с грузами, характеризующимися меньшими размерами кусков;

2) при уменьшении грузопотока тяговая способность промежуточного ленточного привода сначала снижается за счет уменьшения распределенной нагрузки от веса груза, поступающей на привод, а затем одновременно как за счет уменьшения распределенной нагрузки от веса груза, так и за счет снижения значения приведенного коэффициента сцепления лент (с момента уменьшения количества отдельных кусков груза в поперечном сечении ленты, непосредственно контактирующих с ней).

## 5. Заключение

Предложенная в настоящей работе методика определения расчетного приведенного значения коэффициента сцепления тяговой и грузонесущей лент в зоне их контакта (в поперечной ориентации), базирующаяся на результатах проведенного экспериментального исследования, позволяет сформировать аргументированный подход к оценке тяговой способности промежуточного ленточного привода ленточного конвейера на стадии проектирования. В частности, коэффициент сцепления лент, определяемый согласно данной методике, целесообразно применять в качестве базиса динамического ограничения (изменяющегося во времени в зависимости от величины грузопотока конкретного рассматриваемого конвейера) тяговой способности промежуточных ленточных приводов при реализации процедуры тягового расчета вне зависимости от применяемых принципов распределения тяговых усилий между приводами.



## Список литературы

1. Гончаров К.А., Гришин А.В. Экспериментальное исследование влияния натяжения тяговой и грузонесущей лент на тяговую способность промежуточного привода ленточного конвейера // Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. №6. С.98–109.
2. Гончаров К.А., Гришин А.В. Экспериментальное исследование влияния дефектов монтажа на тяговую способность промежуточного привода ленточного конвейера // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. №3. С.289–295.
3. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н., Гончаров К.А. Моделирование рабочих процессов и проектирование многоприводных ленточных конвейеров. Брянск: РИО БГУ, 2017. 384 с.
4. Дьячков В.К. Результаты исследования линейных фрикционных приводов многоприводного ленточного // Машины непрерывного транспорта: сб. науч. тр. М.: ВНИИПТМАШ, 1971. Вып. 2. №11. – С. 3–32.
5. Барабанов В.В. Результаты второго этапа эксплуатационных испытаний промышленного образца многоприводного ленточного конвейера // Машины непрерывного транспорта: сб. науч. тр. М.: ВНИИПТМАШ, 1971. Вып. 2. №11. С. 52–58.
6. Гончаров К.А., Гришин А.В. Экспериментальный стенд для исследования влияния конструкции промежуточного ленточного привода ленточного конвейера на его рабочие процессы // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2017. №1. С.52–59.
7. Методические рекомендации о порядке проведения теплового контроля технических устройств и сооружений, применяемых и эксплуатируемых на опасных производственных объектах (РД-13-04-2006). Серия 28. Выпуск 11. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. 32 с.

## References

1. Goncharov K.A., Grishin A.V. Experimental investigation of traction and load-carrying belt tension impact upon intermediate drive tractive ability of belt conveyer. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, No.6, pp. 98-109. (In Russian)
2. Goncharov K.A., Grishin A.V. Experimental study of influence of installation faults on tractive ability of belt conveyor intermediate drive. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.3, pp. 289-295. (In Russian)
3. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. Modelirovanie rabochikh protsessov i proektirovanie mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov [Modeling of work processes and the design of multi-drive belt conveyor]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p. (In Russian)
4. Diachkov V.K. Rezultaty issledovaniy lineinykh friktsionnykh privodov mnogoprivodnogo lentochnogo konveyera. *Sbornik nauchnykh trudov "Mashiny nepreryvnogo transporta"*. Moscow, VNIPTMASH, 1971, Vol.2, No.11, pp. 3-32 (In Russian)
5. Barabanov V.B. Rezultaty vtorogo etapa expluatatsionnykh ispytaniy promyshlennogo obraztsa mnogoprivodnogo lentochnogo konveyera. *Sbornik nauchnykh trudov "Mashiny nepreryvnogo transporta"*. Moscow, VNIPTMASH, 1971, Vol.2, No.11, pp. 52–58 (In Russian)
6. Goncharov K.A., Grishin A.V. Experimental test bench for the study of impact of intermediate belt drive construction of belt conveyor on its operation. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No.1, pp. 52-59. (In Russian)
7. Metodicheskie rekomendatsii o poryadke provedenia teplovogo kontrolya tekhnicheskikh ustroystv i sooruzheniy, primenyaemykh i expluatiuemykh na opasnykh proizvodstvennykh obyekтах (RD-13-04-2006). Seriya 28. Vypusk 11. Moscow, ZAO «Nauchno-tekhnicheskiiy tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2010 . 32 p. (In Russian)