

Ерофеева Наталья Валерьевна<sup>1</sup>, кандидат техн. наук, доцент, Чеботова Ирина Николаевна<sup>2</sup>, преподаватель

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>2</sup>Сибирский политехнический техникум, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. 40 лет Октября, 4

E-mail: env.stm@kuzstu.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА НА ГОРЯЧИХ ГРУЗОПОТОКАХ

**Аннотация:** *Актуальность работы.* При транспортировании кокса мокрого тушения конвейерами лента выходит из строя по причине ее прожога раскаленными недогнутыми кусками. С целью снижения теплового воздействия предложено использовать явление сегрегации материала по крупности, обеспечивающее изоляцию крупных раскаленных кусков мелкокусковыми фракциями кокса, имеющими гораздо меньшую температуру.

**Цель работы:** *Определить распределение температуры на поверхности и внутри ленты при транспортировании мелкокускового кокса. Намечать дальнейшие тепловые исследования при условии наличия ударного устройства, обеспечивающего сегрегацию сыпного груза.*

**Методы исследования:** экспериментальное исследование, проводимое на специально разработанном лабораторном стенде.

**Результаты:** показано распределение температуры в ленте при транспортировании мелкокускового кокса для различной скорости движения ленты.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, сегрегация, сыпной груз, кокс, температура.

**Информация о статье:** принята 01 декабря 2018 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-6-14-19

На коксохимических предприятиях для транспортирования горячего груза эксплуатируются ленточные конвейеры. Наиболее уязвимым элементом конвейера является лента, стоимость которой составляет от 40 до 70% стоимости конвейера. Лента выходит из строя по причине теплового старения и прогорания раскаленными кусками в случае нарушения технологического режима [1].

Из печи раскаленный кокс выгружается в коксосушильный вагон, который транспортируется в зону тушения. После выдерживания определенного времени кокс высыпается на рампу, где происходит дальнейшее остывание кокса и вручную дотушиваются замеченные раскаленные очаги. Температура потушенного кокса является одной из основной характеристик, необходимых для правильного выбора конвейерного транспорта на горячих грузопотоках.

Большое влияние на степень охлаждения оказывает гранулометрический состав груза. Более мелкие фракции, составляющие основную массу транспортируемого груза, подвергаются более глубокому охлаждению. Крупные куски подвергаются неглубокому поверхностному охлаждению и в процессе

дальнейшего перемещения с рампы на конвейер разогреваются за счет оставшегося внутреннего тепла.

При мокром тушении основная масса кокса охлаждена до температуры менее 100°C, и только 7–10% кокса – до 100–160°C. Вместе с тем в общей массе транспортируемого кокса мокрого тушения встречаются куски (~ 2–5%), имеющие температуру поверхности до 700–800°C [2, 3].

В работе [2] не акцентировано внимание на распределение температуры поверхности кокса по фракционному составу, поэтому в производственных условиях произведены исследования по определению температуры поверхности кокса, транспортируемого ленточным конвейером. Кокс разбивался на следующие группы по фракционному составу: 0–50 мм; 50–100 мм; 100–150 мм; 150–200 мм и +200 мм. Измерения производились бесконтактным способом при помощи пирометра типа DT-9862.

Ожидаемая температура кокса, выгружаемого на ленточный конвейер, при доверительной вероятности 95% приведена в табл. 1 [4].

Таблица 1. Температура кокса по фракционному составу

Table 1. Coke temperature by fraction composition

Фракции, мм	0–50	50–100	100–150	150–200	+200	0–300
Диапазон температуры, °C	35,2–51,1	55,5–75,2	72,6–98,4	78,6–99,2	98,5–141,1	53,2–90,0

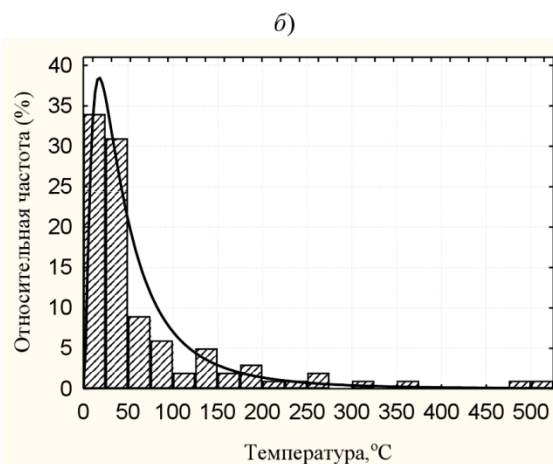
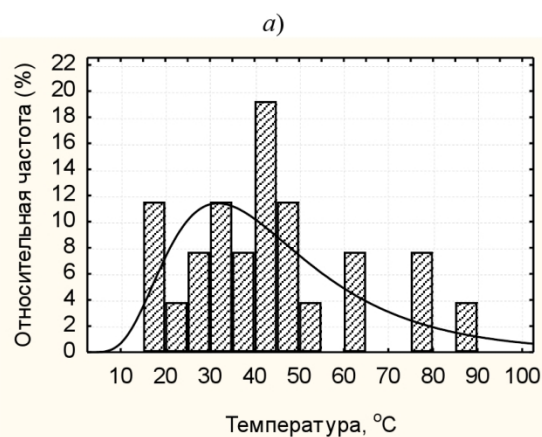


Рис. 1. Гистограмма распределения температуры поверхности кокса фракции:

а) 0–50 мм и логнормальная функция распределения; б) 0–300 мм и логнормальная функция распределения

Fig. 1. Histogram of temperature distribution on the surface of coke for fraction:

а) 0–50 mm and logarithmically normal distribution functions; б) 0–300 mm and logarithmically normal distribution functions

Для моделирования работы ленточного конвейера на горячих грузопотоках принимаем мелкокусковый кокс. Как видно из рис. 1., ожидаемая температура поверхности кокса фракционного состава до 50 мм составляет 35,2–51,1°C. Вместе с тем около 4% кокса данного фракционного состава имеет температуру поверхности 90°C. Используя принцип наихудшей ситуации, принимаем температуру поверхности кокса 90°C.

Производить тепловые измерения в производственных условиях сложно, поэтому моделирование производилось на лабораторном стенде (рис. 2) [5]. Стенд состоит из рамки 1, в которой закреплен при помощи струбцины 2 отрезок 3 теплостойкой конвейерной ленты. Рамка закреплена шарнирно на основании 4 для осуществления ее поворота на 180° вокруг полуоси 5. Поворот рамки совместно с отрезком ленты необходим для имитации движения

конвейерной ленты по нижней ветви. При этом рабочая обкладка ленты направлена вниз.

Имитация движения груза по верхней ветви производится за счет опускания имитатора 6 горячего груза на ленту, при этом рабочая обкладка ленты находится в верхнем положении.

В качестве имитатора кокса использовалась конфорка с шероховатостью, соответствующей поверхности кокса. Нагрев конфорки осуществляется постоянно до необходимой температуры, контролируемой при помощи термопары 8 и термоизмерительного прибора 9. Подключение конфорки к источнику питания производится через прибор для регулирования подачи напряжения ЛАТР (на рис. 2 не показан).

Поскольку конвейерная лента в процессе транспортирования движется с определенной скоростью, то ее поверхность обдувается воздухом, поэтому для имитации движения конвейера постоянно производился обдув отрезка ленты вентилятором 9, скорость движения воздушной струи которого в месте закрепления термопары 10 для измерения температуры внутри ленты обеспечивалась анемометром.

Термопары вставлялись внутрь ленты, для чего производилось высверливание глухих отверстий диаметром 1,5 мм через нерабочую обкладку ленты на необходимую глубину. Глубина заделки термопар соответствовала значениям: термопара 1 – 14,8 мм; термопара 2 – 14 мм; термопара 3 – 13 мм и термопара 4 – 12 мм при толщине ленты 15 мм. Первая термопара во избежание непосредственного контактирования с имитатором горячего груза заглублена относительно поверхности рабочей обкладки на 0,2 мм с оставлением тонкого слоя резины. Термопары подключались к самописцу Термодат 17Б. Данные с самописца передавались в программу EXSEL.

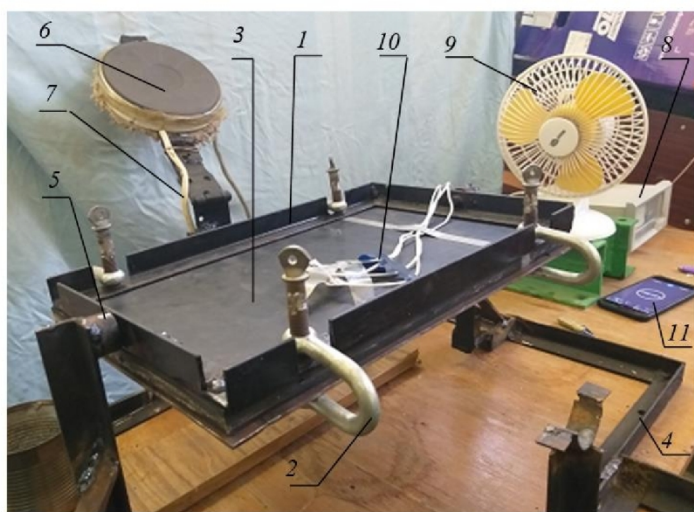


Рис. 2. Лабораторный стенд для моделирования работы ленточного конвейера на горячих грузопотоках

Fig. 2. The laboratory stand for modeling the operation of a belt conveyor on hot cargo flows

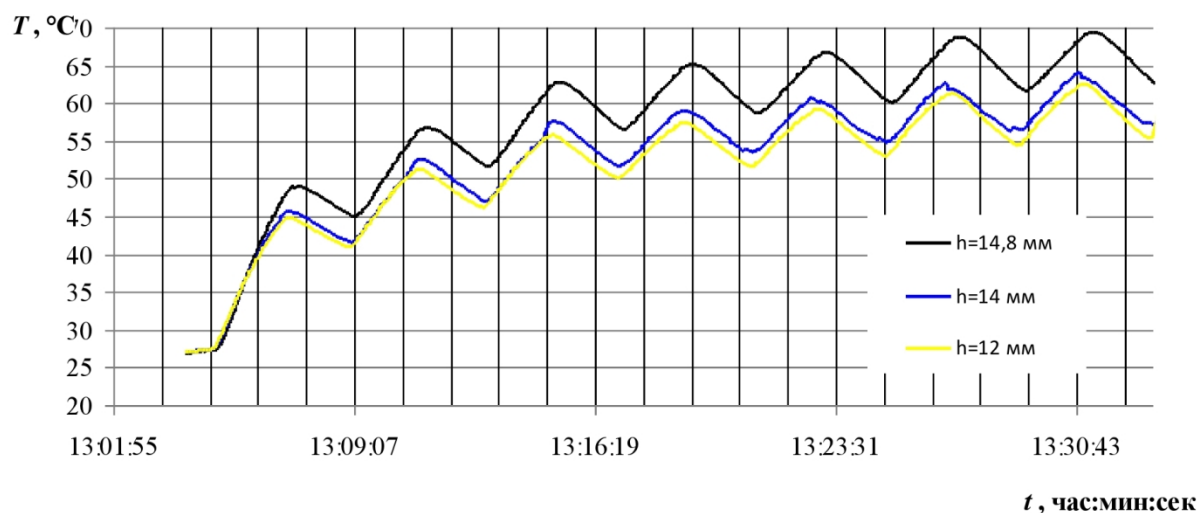


Рис. 3. Пример записи нагрева конвейерной ленты на начальном этапе транспортирования  
Fig. 3. An example of the record of the conveyor belt heating at the initial stage of transportation

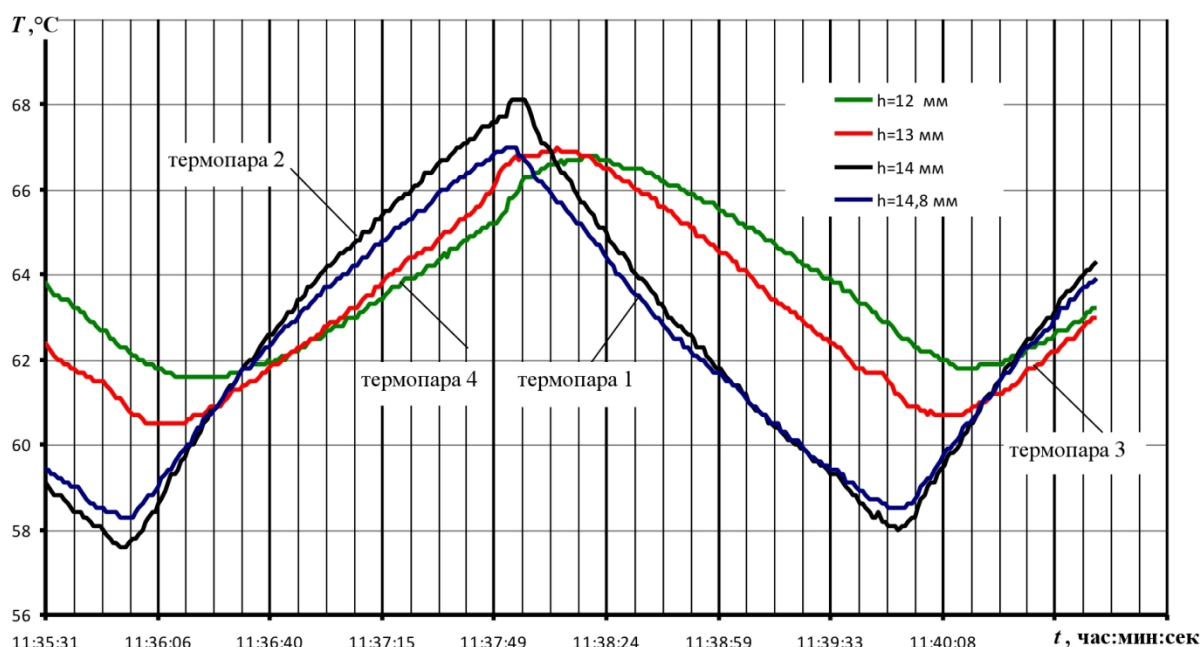


Рис. 3. Пример записи нагрева конвейерной ленты при установившемся движении при достижении скоростью обдува воздушной струи некоторого критического значения  
Fig. 3. An example of the record of conveyor belt heating at the steady movement when the speed of air blowing has achieved a certain critical value

Моделирование производилось следующим образом. Имитатор горячего груза включался в сеть, регулятор прибора ЛАТР выставлялся на уровень напряжения 150 В. После прогрева имитатора горячего груза до температуры 90 °С проводились исследования.

Для этого через каждые две минуты, контролируемые секундомером 11, производилось чередование опускания имитатора горячего груза на рабочую обкладку ленты и его съема с ленты с одновременным переворотом рамки на 180°. Данный процесс

повторялся до выхода температуры нагрева и охлаждения ленты на установившейся режим.

Пример записи распределения температуры внутри конвейерной ленты приведен на рис. 3. Скорость обдува ленты – 1,5 м/с.

На начальном этапе моделирования до выхода на установившийся режим происходит рост температуры ленты в момент касания имитатора с лентой, а после съема имитатора – охлаждение. При этом лента, не успевая охладиться до первоначальной температуры, получает новую порцию теплового





Рис. 4 Прожог конвейерной ленты единичным куском  
Fig. 4 Burn-through of the conveyor belt by a single lump

воздействия. Так продолжается до выхода на установившийся режим, когда рост температуры при нагреве равен ее снижению при охлаждении. Аналогичные результаты получены при математическом моделировании в работах [6–9].

При достижении скоростью обдува ленты некоторого критического значения при установившемся режиме происходит более сильное охлаждение поверхности ленты по сравнению с более глубокими слоями (рис. 4) [10].

Температура ленты на глубине 2–3 мм от поверхности рабочей обкладки оказывается при охлаждении выше на 2–4°C, чем температура поверхности ленты. Однако в момент укладки имитатора горячего груза поверхность ленты нагревается приблизительно на 2°C выше, чем слои на глубине 2–3 мм.

Температура поверхности в обоих случаях не достигает температуры имитатора груза и составляет около 70°C.

Менее 5% (см. рис. 1, б) транспортируемого кокса мокрого тушения имеет температуру 500°C. Проводить исследования с таким разгоряченным грузом нецелесообразно, так как заведомо ведет к прожогам ленты (рис. 4) [11, 12].

Поэтому для снижения теплового воздействия на конвейерную ленту необходимо перераспределить насыпной груз таким образом, чтобы под разогретым крупным куском образовалась подсыпка из охлажденной мелкокусковой фракции кокса [13].

Формируется такая подсыпка непосредственно на ленточном конвейере путем принудительного ударного воздействия по нерабочей обкладке ленты для ускорения процесса сегрегации [14, 15].

В дальнейшем для моделирования транспортирования раскаленного кокса в среде мелкокускового насыпного груза с устройством для сегрегации груза будем укладывать имитатор раскаленного груза на ленту через подсыпку из мелкокускового слоя кокса, имеющего температуру до 90°C.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев, Н.В. Причины и характер разрушения конвейерных лент для транспортирования горячего кокса / Н.В. Ананьев и [др.] // Кокс и химия. – 1985. – № 4. – С. 35–39.
2. О выборе конвейерных лент для транспортирования кокса мокрого тушения / Н.В. Ананьев,

Т.В. Партина, Э.М. Шрейдер, В.А. Толетова // Кокс и химия. – 1985. – №2. – С. 21–23.

3. Ананьев, Н.В. Испытания теплостойких лент для транспортирования горячего кокса / Н.В. Ананьев, П.Д. Головин, И.Ф. Светличный // Кокс и химия. – 1985. – № 1. – С. 36–37.

4. N.V. Erofeeva, I.N. Chebotiva. The main characteristics of freight on hot streams. Mining 2014: Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. Atlantis Press, 2014. PP. 421–423.

5. Елманов, В.Д. Моделирование процесса взаимодействия конвейерной ленты с транспортируемым грузом / В.Д. Елманов, Н.В. Ерофеева // Вест. КузГТУ. – 1998. – №2. – С. 62–64.

6. Назаревич, С.Л. Математическая модель сложного теплообмена горячего груза с конвейерной лентой при ее движении / С.Л. Назаревич, С.В. Палкина, А.Я. Грудачев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-електромеханічна. – Выпуск 12(113). – Донецк : ДонНТУ. – 2006. – С. 199–203.

7. Назаревич, С.Л. Обоснование критической скорости движения конвейерной ленты при заданном объеме транспортирования горячих грузов / С.Л. Назаревич, А.Я. Грудачев, А.Н. Лебедев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Гірничо-електромеханічна. – Выпуск 18(172) – Донецк: ДонНТУ, 2010. – С. 219–226.

8. Назаревич, С.Л. Математическое моделирование сложного теплообмена горячего груза с конвейерной лентой как объекта автоматизации / С.Л. Назаревич, А.Я. Грудачев // Поиск молодых 2007. Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/13458>.

9. Назаревич, С.Л. Исследование процесса нагрева ленты при изменении скорости её движения на конвейере, транспортирующем горячие грузы // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – Вып. 21(189). – Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 137–144.

10. Мартишин, Е.А. Влияние толщины рабочей обкладки и каркаса на тепловое состояние конвейерной ленты при транспортировании горячих материалов / Е.А. Мартишин, Н.В. Ананьев // Каучук и резина. – 1985. – № 12. – С. 23–24.

11. Ерофеева, Н.В. Тепловой износ конвейерных лент / Н.В. Ерофеева, И.Н. Чеботова, С.С. Солодянкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 248–251.

12. Ананьев, Н.В. Опыт эксплуатации лент конвейеров для транспортирования кокса / Н.В. Ананьев, В.В. Тонкоус, И. Ф. Светличный, В.П. Ларин // Кокс и химия. – 1983. – №7. – С. 36–38.

13. Ерофеева, Н.В. Описание тепловых процессов в конвейерной ленте на горячих грузопотоках / Н.В. Ерофеева, И.Н. Чеботова // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы II всероссийской науч.- практ. конф. [Электронный ресурс] – Кемерово, 2015.

14. Елманов, В.Д. Защита конвейерных лент от прогорания / В.Д. Елманов, Н.В. Ерофеева // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив. – 2000. – № 6. – С. 100–101.

15. Ерофеева, Н.В. Методы повышения долговечности конвейерных лент на горячих

грузопотоках / Н.В. Ерофеева, И.Н. Чеботова // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : материалы III междунар. науч.-практ. конф., 2–4 апр. 2014 г. / Междуреченск : филиал Кузбас. гос. техн. ун-та. – Кемерово, 2014. – С. 28–29.

Natalya V. Erofeeva<sup>1</sup>, C. Sc (Engineering), Associate Professor, Irina N. Chebotova<sup>2</sup>, lecturer

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesenniyaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup> Siberian Polytechnical College, 4, 40 let Otyabrya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

## MODELING BELT CONVEYOR OPERATION ON HOT CARGO FLOWS

**Abstract:** *The urgency of the discussed issue:* At transportation of coke of wet extinguishing by conveyors, the belt fails due to its burning through by red-hot under-extinguished lumps. To decrease the thermal influence, it is offered to use material segregation by size providing isolation of large hot lumps by small-sized coke fractions, having much lower temperature.

**The main aim of the study** is to define temperature distribution on the surfaces and inside the belt at transportation of small-sized coke, and to plan further thermal studies subject to availability of the impact device providing segregation of bulk cargo.

**The methods used in the study:** The experimental study is conducted on a specially designed laboratory stand.

**The results:** The temperature distribution in the belt during the transportation of small-sized coke for different conveyor speeds is shown.

**Keywords:** belt conveyor, segregation, bulk, coke, temperature.

**Article info:** received December 01, 2018

DOI: 10.26730/1816-4528-2018-6-14-19

### REFERENCES

1. Anan'ev, N.V. Prichiny i xarakter razrusheniya konvejnyx lent dlya transportirovaniya goryachego koksa / N.V. Anan'ev i [dr.] // Koks i ximiya. – 1985. – № 4. – С. 35–39.

2. O vy'bore konvejnyx lent dlya transportirovaniya koksa mokrogo tushe-niya / N. V. Anan'ev, T.V. Partina, E.M. Shrejder, V.A. Toletova // Koks i ximiya. – 1985. – №2. – С. 21–23.

3. Anan'ev, N.V. Ispy'taniya teplostojkix lent dlya transportirovaniya goryachego koksa / N.V. Anan'ev, P.D. Golovin, I.F. Svetlichny'j // Koks i ximiya. – 1985. – № 1. –С. 36–37.

4. N.V. Erofeeva, I.N. Chebotiva. The main characteristics of freight on hot streams. Mining 2014 : Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control. Atlantis Press, 2014. PP. 421–423.

5. Elmanov, V.D. Modelirovaniya processa vzaimodejstviya konvejnoj lenty s transportiruemym грузом / V.D. Elmanov, N.V. Erofeeva // Vest. KuzGTU, – 1998. – №2. –С. 62–64.

6. Nazarevich, S.L. Matematicheskaya model slozhnogo teploobmena goryachego gruzа s konvejnoj lentoy pri ee dvizhenii / S.L. Nazarevich, S.V. Palkina, A.Ya. Grudachev // Naukovi praczi Donecz'kogo naczional'nogo texnichnogo universitetu. Seriya:

girnicho-elektromexanichna. – Vy'pusk 12(113).–Doneczk : DonNTU. – 2006. – С. 199–203.

7. Nazarevich, S.L. Obosnovanie kriticheskoy skorosti dvizheniya konvej-ernej lenty pri zadannom ob'eme transportirovaniya goryachix грузов / S.L. Nazarevich, A.Ya. Grudachev, A.N. Lebedev // Naukovi praczi Donecz'kogo naczional'nogo texnichnogo universitetu. Ser. Girnicho-elektromexanichna. – Vy'pusk 18(172) – Doneczk : Don-NTU, 2010. – С. 219–226.

8. Nazarevich, S.L. Matematicheskoe modelirovanie slozhnogo teploobmena goryachego gruzа s konvejnoj lentoy kak ob'ekta avtomatizacii / S.L. Nazarevich, A.Ya. Grudachev // Poisk molody'x 2007. Rezhim dostupa : <http://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/13458>.

9. Nazarevich, S.L. Issledovanie processа nagreva lenty pri izmenenii skorosti eyo dvizheniya na konvejere transportiruyushhem goryachie грузы // Naukovi praczi Donecz'kogo naczional'nogo texnichnogo universitetu. Seriya girnicho-elektromexanichna. – Vy'p. 21(189). – Doneczk : DonNTU, 2011. – С. 137–144.

10. Martishin, E.A. Vliyanie tolshhiny rabochej obkladki i karkasa na tep-lovloe sostoyanie konvejnoj lenty pri transportirovanii goryachix materialov / E.A. Martishin, N.V. Anan'ev // Kauchuk i rezina. – 1985. – № 12. –С. 23–24.

11. Erofeeva, N.V. Teplovoj iznos konvejny'x lent / N.V. Erofeeva, I.N. Chebotova, S.S. Solodyankin // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-texnicheskij zhurnal). – 2015. – № 3. – S. 248–251.

12. Anan'ev, N.V. Opyt e'kspluatacii lent konvejerov dlya transportirovaniya koksa / N. V. Anan'ev, V.V. Tonkous, I.F. Svetlichny'j, V.P. Larin // Koks i ximiya. – 1983. – №7. – S. 36–38.

13. Erofeeva, N.V. Opisanie teplovy'x processov v konvejnoy lente na goryachix gruzopotokax / N.V. Erofeeva, I.N. Chebotova // E'nergetika i e'nergobere-zhe-nie: teoriya i praktika: materialy' II vsrossijskoj

nauch.-prakt. konf. [E'lektronny'j resurs] – Kemerovo, 2015.

14. Elmanov, V.D. Zashhita konvejny'x lent ot progoraniya / V.D. Elmanov, N.V. Erofeeva // Vestn. Kuzbasskogo gos. tex. univ. – 2000. – № 6. – S. 100–101.

15. Erofeeva, N.V. Metody' povy'sheniya dol-govechnosti konvejny'x lent na goryachix gruzopoto-kax / N.V. Erofeeva, I.N. Chebotova // Sovremenny'e tendencii i innovacii v nauke i proizvodstve : materialy' III mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 2–4 apr. 2014 g. / Mezhdurechensk : filial Kuzbas. gos. texn. un-ta. – Ke-merovo, 2014. – S. 28–29.

#### **Библиографическое описание статьи**

Ерофеева Н.В., Чеботова И.Н. Моделирование работы ленточного конвейера на горячих грузопотоках // Горное оборудование и электромеханика — 2018. — № 6 (140). — С. 14-19.

#### **Reference to article**

Erofeeva N.V., Chebotova I.N. Modeling belt conveyor operation on hot cargo streams. Mining Equipment and Electromechanics, 2018, no. 6 (140), pp. 14-19.