

УДК (UDC) 621.86

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА
ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИНINVESTIGATIVE STUDY ON TEMPERATURE CONDITIONS OF CONTINUOUS RUN
MODES OF HOISTING MACHINE ELECTRIC DRIVEГончаров К.А.
Goncharov K.A.Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)
Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования особенностей работы электрических приводов в продолжительных режимах включения (соответствующих режимам работы приводов ленточных конвейеров) с применением преобразователей частоты и на естественных механических характеристиках. Приведено описание экспериментального стенда в виде обобщенного приводного механизма подъемно-транспортной машины. Сформулированы особенности и ограничения проведения теплового контроля с учетом условий окружающей среды и качества поверхностей объектов исследования. Приведена последовательность проведения эксперимента. Получены и расшифрованы термограммы тепловизионной съемки. Указанные данные представлены в виде графиков изменения температур объектов исследования во времени. Анализ полученных данных позволил подтвердить корректность предложенных ранее рекомендаций по учету типа системы управления приводами при построении вероятностных математических моделей распределения тяговых усилий, в частности, при решении задачи сохранения расчетного распределения тяговых усилий между приводами.

Ключевые слова: привод, система управления, электродвигатель, преобразователь частоты, тепловой контроль, продолжительный режим включения, ленточный конвейер.

Дата принятия к публикации: 02.09.2019
Дата публикации: 25.09.2019

Сведения об авторе:

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 features of electric drives in the continuous run modes (which correspond to the run modes of belt conveyor drives) using frequency converters and operating with the natural mechanical characteristics. The description of the test bench in the form of the generalized mechanism of the hoisting machine is provided. The paper formulates features and limitations of the heat control procedure taking into account environmental conditions and surface conditions of the research object. The sequence of the experiment is provided. The thermograms of the thermal photography are obtained and interpreted. The data is presented as temperature curves of the research object. The analysis of the data made it possible to confirm correctness of the recommendations proposed earlier on taking into account the type of the drive controlling system when building probabilistic mathematical models of the tractive force distribution, particularly when solving the task of computational distribution conservation of the tractive efforts between the drives.

Keywords: drive, controlling system, electric drive, frequency converter, heat control, continuous run mode, belt conveyor.

Date of acceptance for publication: 02.09.2019
Date of publication: 25.09.2019

Author's 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

Нагруженность привода любого механизма подъемно-транспортной машины является определяющим параметром для выбора типа двигателя, типа системы управления, проектирования передаточных и исполнительных механизмов [1]. Применительно к специфике работы подъемно-транспортных машин и комплексов все приводы, работающие в структурах их механизмов, по характеру работы можно классифицировать на приводы, функционирующие в периодическом (грузоподъемные машины и механизмы) или непрерывном (конвейерный транспорт) режиме.

В работе [2] представлено исследование влияния настроек системы управления с частотным преобразователем на уровень нагруженности элементов привода обобщенного механизма грузоподъемной машины, работающего в повторно-кратковременном режиме. При этом результаты исследований [2] не позволяют сделать выводы о применимости систем управления с частотным преобразователем к продолжительным режимам работы на искусственных механических характеристиках (в частности, в вопросах температурной регуляции), что особенно важно при управлении воспринимаемыми приводами тяговыми усилиями при их работе в структуре одного конвейера в процессе эксплуатации.

В [3] была предложена градация систем управления приводами ленточных конвейеров на основе возможностей решения закрепляемых за ними типовых задач, в которой частотное регулирование занимает одну из лидирующих позиций. Указанное обстоятельство позволяет значительно уменьшать объем требований к процедуре построения вероятностных математических моделей распределения тяговых усилий между приводами конвейеров, оборудованных системами управления данного типа. Однако фактическая эксплуатация данных систем управления, в отличие от теоретических рекомендаций, несет в себе определенные риски, описанные выше.

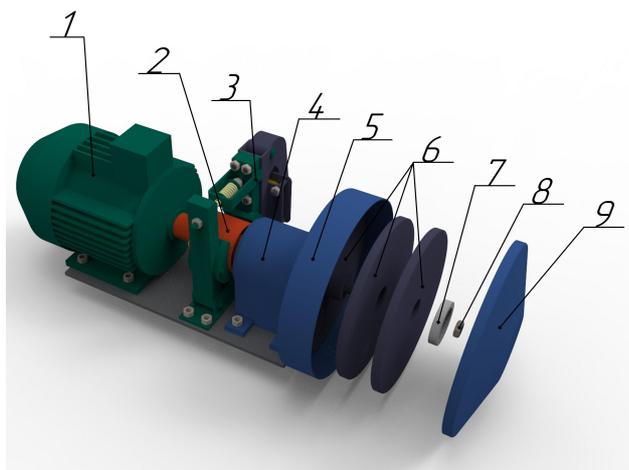
2. Постановка задачи

Целью настоящего исследования является экспериментальное изучение особенностей работы электрических приводов ленточных конвейеров в продолжительных режимах включения с применением преобразователей частоты и на естественных механических характеристиках. На основе реализации данных исследований появляется возможность подтверждения или опровержения корректности рекомендаций по учету типа системы управления приводами при построении вероятностных математических моделей распределения тяговых усилий, описанных в работах [4, 5].

3. Методика проведения исследований

Рассмотренное в настоящей работе экспериментальное исследование проводилось с помощью лабораторной установки, описанной в [2] и представленной на рис. 1. Установка представляет собой обобщенный механизм подъемно-транспортной машины, в структуру которого входит электродвигатель 1 с короткозамкнутым ротором, втулочно-пальцевая муфта, совмещенная с тормозным шкивом 2, колодочный тормоз с короткоходным электромагнитом 3 и система регулировочных дисков 6, позволяющая с одной стороны изменять при проведении испытаний приведенный момент инерции системы, а с другой – создающая регулируемую нагрузку на подшипники опоры 4, варьируя приведенный момент сопротивления движению. Установка оборудована защитными кожухами и дополнительными вспомогательными устройствами (контргайками, крышками), а также жестко закреплена на металлическом основании.

Регулирование частоты вращения электродвигателя производилось посредством воздействия преобразователя частоты переменного тока питающей сети «Веспер» E2-8300-002H. В структуру цепи преобразователя частоты дополнительно был включен тормозной резистор TP-6,25.



а)



б)

Рис. 1. Конструкция экспериментальной установки: а – механизм экспериментальной установки; б – преобразователь частоты «Веспер» E2-8300-002H; (1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – тормоз; 4 – подшипниковая опора; 5 – защитный кожух; 6 – диски; 7 – гайка; 8 – контргайка; 9 – торцевая крышка)

Тепловой контроль производился с использованием тепловизора Fluke Ti40 с учетом рекомендаций [6].

На основе рекомендаций [6] были соблюдены следующие условия теплового контроля:

1. Тепловой контроль проводился для наружных поверхностей трех объектов экспериментальной установки (корпус электродвигателя, преобразователь частоты, тормозной резистор) с учетом их выдержки в теневой части (без воздействия прямых солнечных лучей) неотапливаемого помещения лаборатории в летнее время при начальной температуре окружающей среды 24...26°C более 12 час.

2. Поверхность корпуса электродвигателя окрашена эмалью в синий цвет с коэффициентом излучения поверхности 0,9. Поверхность излучения корпуса преобразователя частоты выполнена из пластика с коэффициентом излучения поверхности 0,94.

3. Так как проводимый тепловой контроль является количественным, то предварительно в качестве реперных зон были выбраны:

- для электродвигателя – поверхность станины станда, окрашенная той же эмалью, что и корпус электродвигателя;

- для преобразователя частоты и тормозного резистора – поверхность их установки.

В начале проведения контроля температура реперных зон соответствовала температуре окружающей среды и была определена бесконтактным методом в соответствии с [6]. Стоит отметить, что в связи со сравнительным характером проводимого теплового исследования одного и того же объекта в разных условиях эксплуатации для корректного представления результатов в приведении реальных температур поверхностей с учетом коэффициентов излучения отсутствует необходимость.

Структуру процедуры проведения эксперимента можно представить в виде следующих положений:

1. Длительность одного цикла непрерывной работы станда составляла 1 ч. В течение цикла каждые 10 мин осуществлялась тепловая съемка объектов контроля. После окончания цикла объекты остывали до комнатной температуры.

2. Исследование включало пять циклов:

- 1) работу без преобразователя частоты;
- 2) работу с преобразователем частоты при частоте тока сети 20 Гц;
- 3) работу с преобразователем частоты при частоте тока сети 30 Гц;
- 4) работу с преобразователем частоты при частоте тока сети 40 Гц;
- 5) работу с преобразователем частоты при частоте тока сети 50 Гц.

4. Результаты и их анализ

В результате проведенного теплового исследования получены термограммы объектов

для соответствующих стадий и циклов эксперимента, часть которых представлена на рис. 2 - 5. Обобщенные данные исследования приведены в виде графиков на рис. 6 - 10.

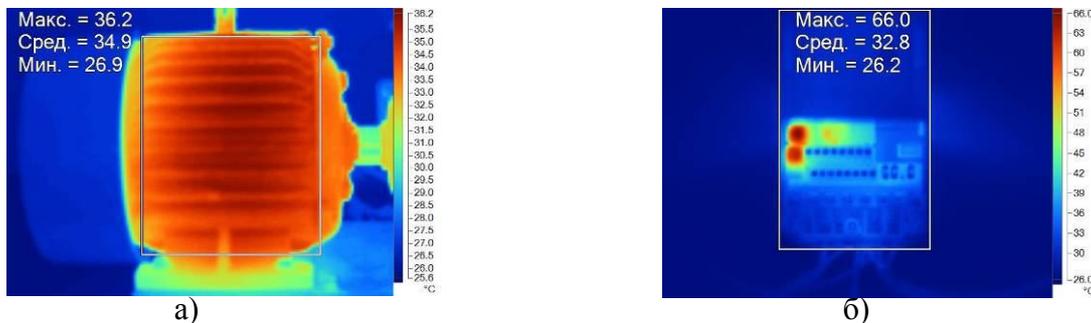


Рис. 2. Термограммы объектов исследования (частота тока 20 Гц, время 60 минут):
а – корпус электродвигателя; б – корпус преобразователя частоты

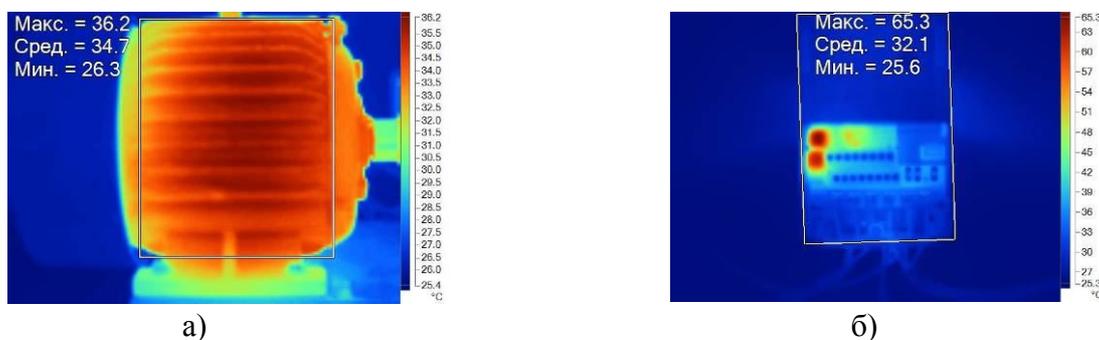


Рис. 3. Термограммы объектов исследования (частота тока 30 Гц, время 60 минут):
а – корпус электродвигателя; б – корпус преобразователя частоты

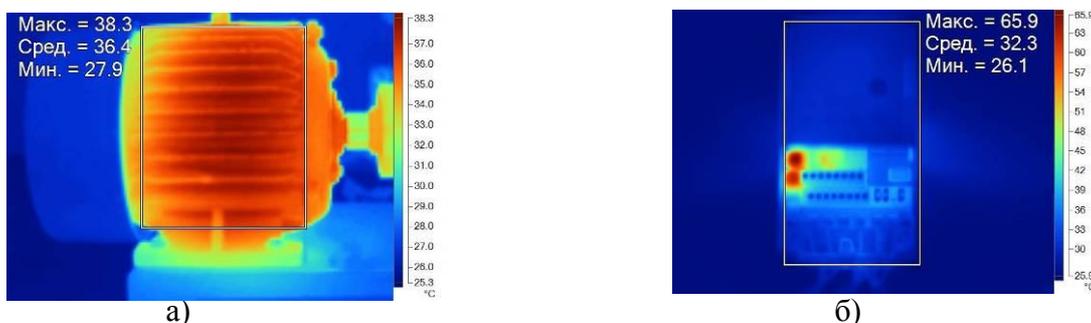


Рис. 4. Термограммы объектов исследования (частота тока 40 Гц, время 60 минут):
а – корпус электродвигателя; б – корпус преобразователя частоты

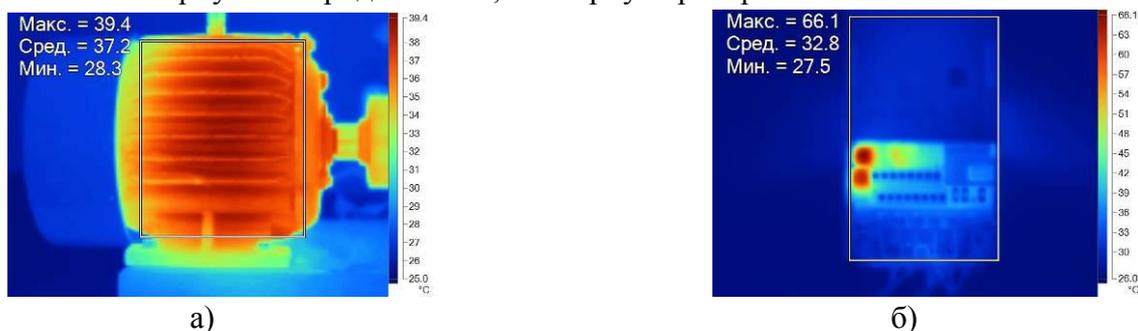


Рис. 5. Термограммы объектов исследования (частота тока 50 Гц, время 60 минут):
а – корпус электродвигателя; б – корпус преобразователя частоты

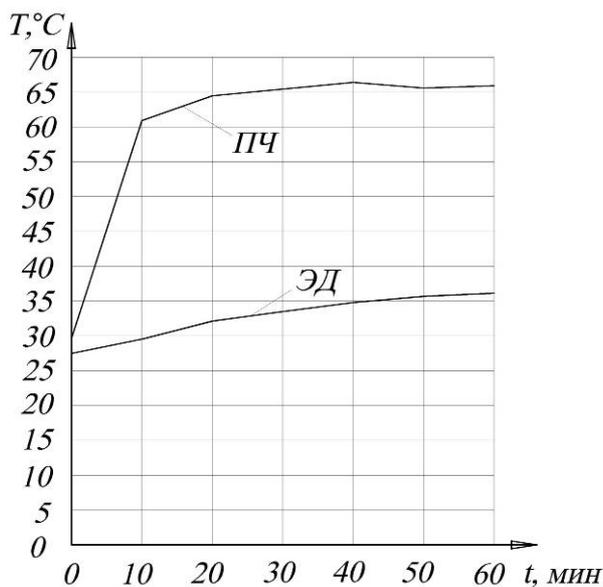


Рис. 6. Графики изменения температур объектов исследования (ЭД – электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты) в течение одного цикла при частоте тока питающей сети 20 Гц

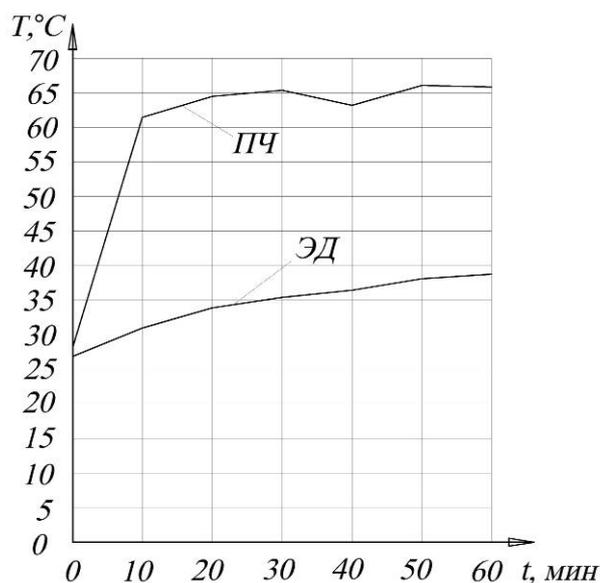


Рис. 8. Графики изменения температур объектов исследования (ЭД – электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты) в течение одного цикла при частоте тока питающей сети 40 Гц

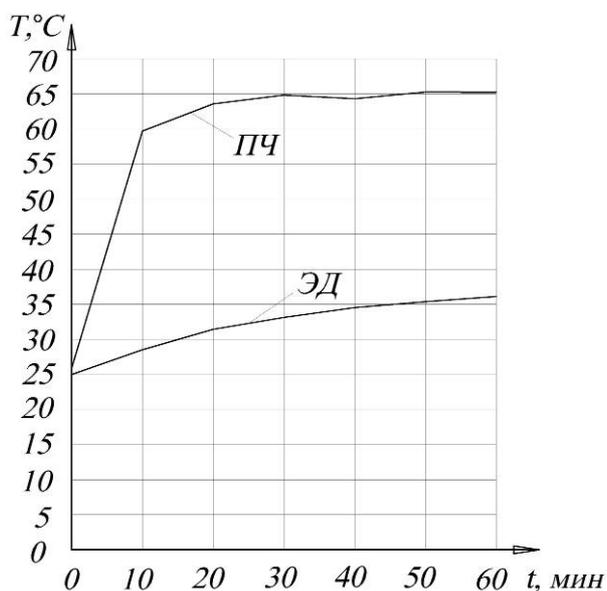


Рис. 7. Графики изменения температур объектов исследования (ЭД – электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты) в течение одного цикла при частоте тока питающей сети 30 Гц

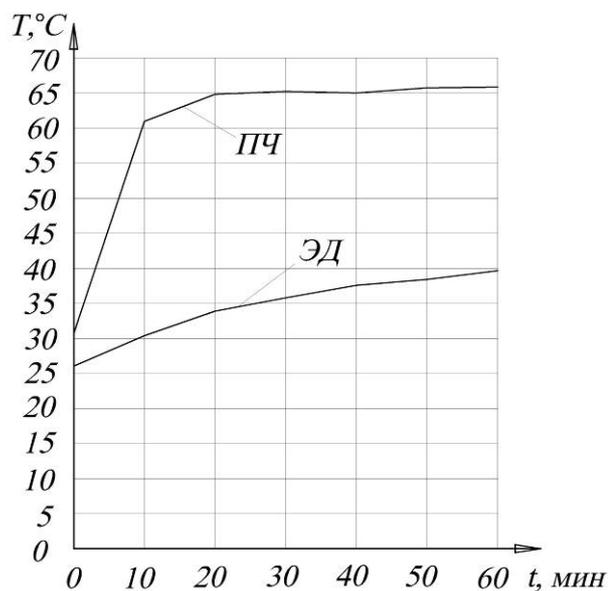


Рис. 9. Графики изменения температур объектов исследования (ЭД – электродвигатель, ПЧ – преобразователь частоты) в течение одного цикла при частоте тока питающей сети 50 Гц

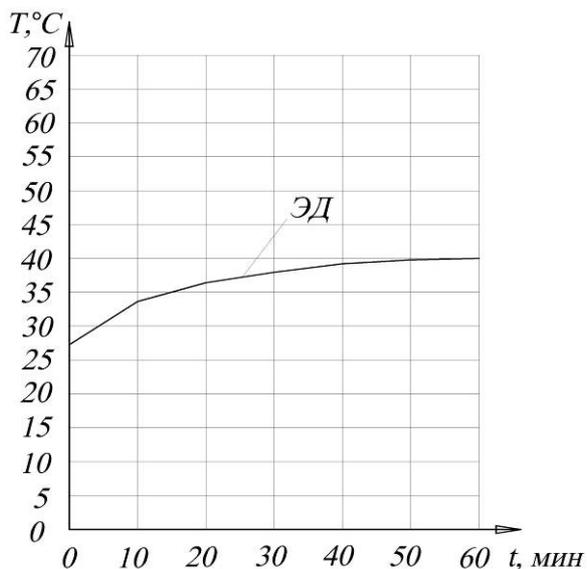


Рис. 10. График изменения температур объектов исследования (ЭД – электродвигатель) в течение одного цикла при частоте тока питающей сети 50 Гц без преобразователя частоты

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. При применении частотного преобразователя температурный режим продолжительной работы электродвигателя (значения минимальной, средней и максимальной температуры корпуса электродвигателя) на пониженных частотах тока в сети соответствует температурному режиму работы электродвигателя на естественных механических характеристиках без применения преобразователя частоты.

2. При ухудшенных начальных условиях проведения испытаний (повышенная температура окружающей среды) в случае применения частотного преобразователя по истечении контрольного периода (1 час) наблюдается более низкий уровень минимальной, средней и максимальной температур корпуса электродвигателя по сравнению с его работой на естественной механической характеристике.

3. Температура корпуса и проводных выводов преобразователя частоты значительно превышает температуру корпуса электродви-

гателя (в 1,5...2 раза). Стоит отметить разный характер их изменения, а именно: температура корпуса электродвигателя равномерно возрастает в течение одного цикла испытания, в то время как температура преобразователя частоты возрастает до своих рабочих значений в первые 10...15 мин работы, а затем колеблется в пределах 2...4°C.

4. Тормозной резистор в течение всех циклов проведения исследования сохраняет постоянную температуру, примерно соответствующую температуре окружающей среды.

5. При анализе термограмм стоит отметить распределение тепловых потоков по элементам экспериментального стенда. Воздушное охлаждение электродвигателя обеспечивает наибольшую степень остывания для задней части электродвигателя, в которой непосредственно находится вентилятор, при этом между обеими частями электродвигателя (последовательно соответствующим расположению вентилятора и магнитных катушек ротора и статора) отсутствует плавный температурный переход. Далее значительный объем тепловой энергии передается через вал двигателя соединительной муфте, что необходимо учитывать при выборе её типоразмера.

5. Заключение

Результаты проведенного экспериментального исследования позволяют утверждать, что системы частотного регулирования (с регулированием частоты тока питающей сети) полностью работоспособны при работе в продолжительных режимах на пониженных частотах вращения вала двигателя по критерию тепловых потерь.

Данный аргумент является одним из наиболее весомых в вопросе подтверждения корректности рекомендаций [3] по учету типа системы управления приводами при построении вероятностных математических моделей распределения тяговых усилий, в частности, при решении задачи сохранения расчетного распределения тяговых усилий между приводами.

Список литературы

1. Лагерев, А.В. Нагруженность подъемно-транспортной техники / А.В. Лагерев. – Брянск: БГТУ, 2010. – 180 с.
2. Гончаров, К.А. Экспериментальное исследование нагруженности грузоподъемных машин при использовании систем управления с частотным преобразователем / К.А. Гончаров, И.А. Денисов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2018. – №1. – С.31–39. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-31-39
3. Гончаров, К.А. Вероятностный подход к определению отклонений скольжения электродвигателей приводов ленточных конвейеров / К.А. Гончаров // Приводы и компоненты машин. – 2016. – № 4-5. – С. 13–15.
4. Гончаров, К.А. Комплексный подход к тяговому расчету ленточных конвейеров / К.А. Гончаров, В.П. Дунаев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №2. – С.144–151. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-144-151
5. Гончаров, К.А. Особенности построения вероятностной математической модели распределения тяговых усилий в многоприводном ленточном конвейере / К.А. Гончаров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2018. – №4. – С.380–389. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-04-380-389
6. 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. – 2-е изд., испр. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 32 с.

References

1. Lagerev A.V. *Nagruzhennost podemno-transportnoy tekhniki* [Load lifting and transport equipment]. Bryansk, BGTU, 2010. 180 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1306614> (In Russian)
2. Goncharov K.A., Denisov I.A. Investigative study of hoisting machine loading when using frequency converter controlling systems. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.1, pp. 31-39. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-01-31-39 (In Russian)
3. Goncharov K.A. The probabilistic approach to determining the slide departures of electric motors of belt conveyors. *Privody i komponenty mashin*, 2016, No. 4-5, pp. 13–15. (In Russian)
4. Goncharov K.A., Dunaev V.P. The integrated approach to traction calculation of belt conveyors. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 144-151. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-144-151 (In Russian)
5. Goncharov K.A. Design features of probabilistic mathematical model of tractive effort distribution in multidrive belt conveyor. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.4, pp. 380-389. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-04-380-389 (In Russian)
6. *Metodicheskie rekomendatsii o poryadke provedeniya teplovogo kontrolya tehnikeskikh ustroystv i sooruzheniy, primenyaemykh i ekspluatiruemykh na opasnykh proizvodstvennykh ob'yektakh (RD-13-04-2006)*. Seriya 28. Vypusk 11. Moscow, ZAO «Nauchno-tekhnicheskii tsentr issledovaniy problem promyshlennoy bezopasnosti», 2010. 32 p. (In Russian)