ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin,2022;(12-2):129–142
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.647.2-83 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_129

СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПУСКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Д. А. Котин[1], С. Е. Сухинин[1], И. А. Иванов[1]

[1] Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Аннотация: Работа посвящена проблеме пуска асинхронного электродвигателя ленточного конвейера, что является актуальной проблемой в угледобывающей промышленности, где ленточный конвейер один из самых распространенных транспортных механизмов. Рассмотрено как натяжение ленты влияет на пуск конвейера и какие критические ситуации могут произойти при пуске конвейера. Для исследования были выбраны три основных способа пуска электродвигателя: прямой пуск от питающей сети, пуск двигателя с помощью устройства плавного пуска и с помощью преобразователя частоты. Для исследования режимов пуска была разработана математическая модель конвейера как система с сосредоточенными параметрами. Модель собрана из элементарных блоков в среде MATLABSimulink. Сравнение с другими исследованиями показало адекватность созданной математической модели. Результаты исследования показывают, что пуск конвейера с устройством плавного пуска немного уменьшает пусковые токи двигателя и позволяет снизить динамический момент сопротивления в ленте. Использование преобразователя частоты позволяет в значительной степени снизить как пусковые токи, так и динамический момент сопротивления, что позволяет уменьшить износ ленты, футеровки приводного барабана и снизить потребление электроэнергии.

Ключевые слова: ленточный конвейер, асинхронный электропривод, устройство плавного пуска, преобразователь частоты, математическое моделирование, натяжение ленты, приводной барабан, сосредоточенные параметры.

Для цитирования: *Котин Д. А., Сухинин С. Е., Иванов И. А.* Сравнение различных видов пуска электрического двигателя ленточного конвейера угольной шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 12-2. — С. 129–142. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_129.

Comparison of different types of starting the belt conveyor of the coal mines

D. A. Kotin[1], S. E. Sukhinin[1], I. A. Ivanov[1]

[1] Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, Russia

Abstract: The paper is devoted to the problem of starting an asynchronous electric motor of a belt conveyor, which is an urgent problem in the coal mining industry, where the belt conveyor is one of the most common transport mechanisms. It is considered how the tension of the belt affects the start of the conveyor, and what critical situations can occur when starting the conveyor. For the study, three main methods of starting the electric motor were chosen: direct

© Д. А. Котин, С. Е. Сухинин, И. А. Иванов. 2022

start from the mains, starting the motor using a soft starter and using a frequency converter. To study the starting modes, a mathematical model of the conveyor was developed as a system with lumped parameters. The model is assembled from elementary blocks in the MATLAB Simulink environment. Comparison with other studies has shown the adequacy of the created mathematical model. The research results show that starting the conveyor with a soft starter slightly reduces the starting currents of the motor and allows reducing the dynamic moment of resistance in the belt. The use of a frequency converter can significantly reduce both inrush currents and the dynamic moment of resistance, which makes it possible to reduce wear of the belt, the lining of the drive drum and reduce energy consumption.

Key words: belt conveyor, asynchronous electric drive, soft starter, frequency converter, mathematical modeling, belt tension, driving drum, lumped parameters.

For citation: Kotin D. A., Sukhinin S. E., Ivanov I. A. Comparison of different types of starting the belt conveyor of the coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(12-2):129–142. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_122_0_129.

Введение

Ленточный конвейер — самый распространенный транспортный механизм в горнодобывающей отрасли. Конвейер обладает высокой производительностью (т/час) и позволяет перемещать грузы на дистанции в несколько десятков километров. В настоящее время промышленность выпускает конвейерные ленты с большим значением модуля упругости на разрыв, что позволяет проектировать конвейеры длиной больше 10 км с использованием одной цельной ленты. Раньше для таких задач использовались составные конвейеры с перегрузочными станциями с одной части конвейера на другую.

Чем длиннее конвейерная лента, тем большие требования предъявляются к пуску конвейера. Это связано с тем, что при пуске лента имеет неравномерное натяжение по всей своей длине, на рабочей стороне ветви динамическое натяжение будет иметь тем большее значение, чем ближе участок ленты к приводному барабану. На участке ленты, сбегающей с приводного барабана, наоборот, происходит уменьшение натяжения, так как лента начинает провисать [1,2]. Диаграмма изменения натяжения ленты по всей ее длине при пуске показана на рис. 1.

Во время пуска возможны две критические ситуации. В первом случае минимальное натяжение ленты на холостой ветви ленты станет меньше допустимого и произойдет проскальзывание ленты на приводном или отклоняющем барабане. Во втором случае из-за повышенного значения натяжения в набегающей ветви приводного барабана увеличивается износ футеровки (покрытие барабана для увеличения сцепления с лентой) барабана и ленты, а при превышении максимального для ленты значения может произойти обрыв ленты [3–5].

Данные проблемы решаются использованием натяжного устройства для предотвращения провисания ленты и регулированием пусковых характеристик двигателя [6,7]. В электроприводе ленточного конвейера в основном используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым либо фазным ротором [8].

В конвейерах с двигателями с фазным ротором плавный пуск конвейера обеспечивается за счет ввода сопротивлений в цепь ротора. С двигателями с короткозамкнутым ротором на данный момент существует два основных способа регулирования пусковых характеристик: устройство плавного пуска (УПП) [9,10] и пуска с преобразовате-

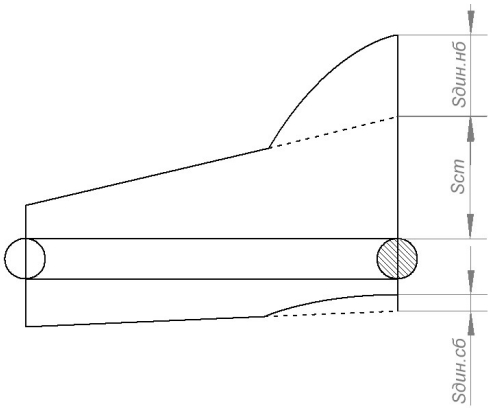

Рис. 1. Статическое и динамическое значение натяжения ленты конвейера: $S_{ст}$ — статическое натяжение ленты конвейера; $S_{дин.нб}$ — значение динамического натяжения в набегающей ветви ленты; $S_{дин.сб}$ — значение динамического натяжения в сбегающей ветви ленты

Fig. 1.Static and dynamic value of the conveyor belt tension: S_{st} — static tension of the conveyor belt; $S_{din.nb}$ — the value of the dynamic tension in the oncoming belt branch; $S_{din.sb}$ — the value of the dynamic tension in the running down belt branch

лем частоты (ПЧ) [11,12]. Устройство плавного пуска позволяет за счет изменения значения питающего напряжения снизить значения пускового тока и реализовать пуск двигателя с заданным ускорением. Недостатком данного метода является ограниченный диапазон регулирования напряжения для двигателей, пускающихся под нагрузкой, так как момент двигателя имеет квадратичную зависимость от напряжения питания. Преобразователь частоты позволяет изменять частоту вращения двигателя в большом диапазоне и поддерживать необходимый момент на валу [13,14].

Методология исследования

Наиболее простой способ рассмотреть, как использование УПП или ПЧ влияет на пуск конвейера — это воспользоваться математическим моделированием. По своей сути конвейер представляет собой систему с распределенными параметрами. Но поскольку при использовании таких допущений, как отсутствие влияния провеса ленты на ее упругие свойства, упруго-вязкие свойства ленты и сопротивления ее движению, учитываются в соответствии с моделью Фохта [15], то ленточный конвейер можно представить как систему с сосредоточенными параметрами [16–18]. В соответствии с вышесказанным, конвейер представляет собой n участков одинаковой длины l, с массой m_i, причем участки соединены между собой вязкоупругой связью с жесткостью E и вязкостью η. Модель конвейера с сосредоточенными параметрами представлена на рис. 2.

В результате конвейер описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\frac{d^2u_i}{dt^2} = \frac{1}{m_i}\left(-C\cdot\left(2u_i - u_{i-1} - u_{i+1}\right) - \right.$$
$$\left. -B\cdot\left(2\dot{u}_i - \dot{u}_{i-1} - \dot{u}_{i+1}\right) - W_i - F_i\right) \quad (1)$$

при $i = 1,2, \ldots, n-1$, где $C = (n\cdot b\cdot E)/l$ – коэффициент жесткости ленты; $B = \left(ç\cdot b\cdot n\right)/l$ — коэффициент вязкости ленты; n — толщина ленты, м; b — ширина ленты, м; E — модуль упругости, Па; η — коэффициент внутреннего трения, Па·с; u_{i-1}, u_i, u_{i+1} — величина растяжения соответствующего участка ленты, м; $\dot{u}_{i-1}$, $\dot{u}_i$, $\dot{u}_{i+1}$ — скорость растяжения соответствующего участка ленты, м/с; m_i — масса соответствующего участка, кг; F_i — сила, действующая на соответствующем участке ленты, Н; W_i — сила сопротивления на соответствующем участке ленты, нелинейно зависящая от искомых переменных, Н.

Пакет математического моделирования MATLAB Simulink позволяет создать модель конвейера с сосредоточенными параметрами, используя стандартные блоки механики. На рис. 3 представлена математическая модель

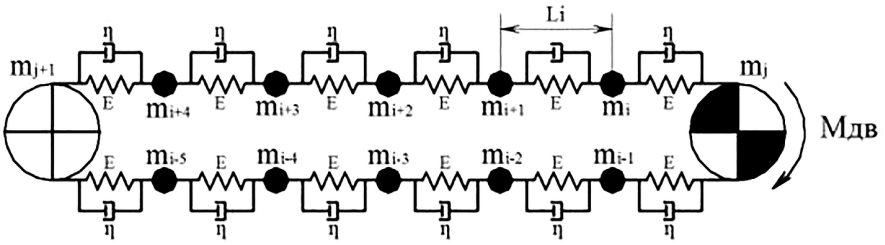

Рис. 2. Модель конвейера с сосредоточенными параметрами: mi — масса *i*-го участка конвейера; m_j — масса *j*-го барабана; *E* — модуль упругости; η — коэффициент внутреннего трения; L_i — длина *i*-го участка конвейера

Fig. 2. Model of the conveyor with lumped parameters: m_i is the mass of the *i*-th section of the conveyor; m_j is the mass of the j-th drum; *E* is the modulus of elasticity; η is the coefficient of internal friction; L_i is the length of the *i*-th section of the conveyor

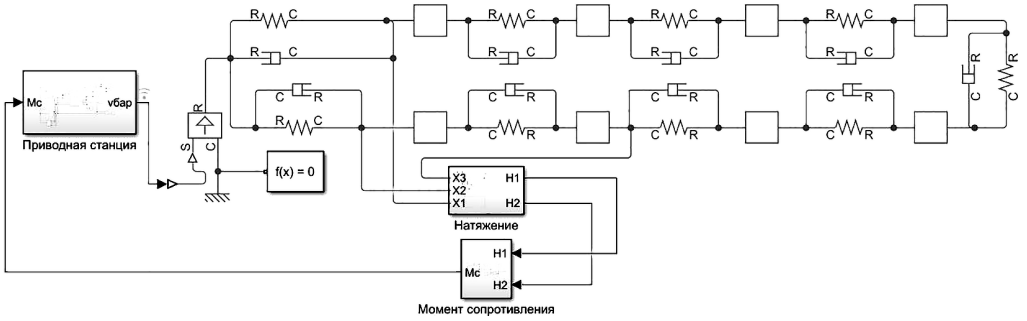

Рис. 3. Математическая модель конвейера в среде MATLAB Simulink: R, C — входные и выходные порты блоком механики; *S* — порт подачи управляющего воздействия; H_1 — натяжение сбегающего участка ленты, Н; H_2 — натяжение набегающего участка ленты, Н; M_c — момент сопротивления конвейера, приведенный к валу двигателя, Нм; $v_{бар}$ — окружная скорость приводного барабана; X_1, X_2, X_3 — перемещение участка ленты, м

Fig. 3. Mathematical model of the conveyor in the MATLAB Simulink: R, C — input and output ports by the mechanics unit; *S* — port of control action supply; H_1 — tension of the running off section of the tape, N; H_2 — tension of the oncoming section of the tape, N; M_s — the moment of resistance of the conveyor, reduced to the motor shaft, Nm; v_{bar} — peripheral speed of the driving drum; X_1, X_2, X_3 — movement of the belt section, m

ленточного конвейера с одним приводным и одним отклоняющим барабаном, разбитого на восемь участков.

В рассматриваемой модели используется конвейер со следующими параметрами:

– длина каждого участка *l*=52,5 м;

– коэффициент жесткости С=2154 Н/м;

– коэффициент вязкости *B*=1723 Н/(м/с);

– масса порожних участков ленты $m_п$ = 993 кг;

– масса грузовых участков ленты $m_г$ = 4011 кг;

– масса участка ленты с приводным барабаном $m_{пр.б.}$ = 5211 кг;

– масса участка ленты с отклоняющим барабаном $m_{от.б.}$ = 1993 кг;

– в качестве приводного двигателя используется асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 45 кВт;

– номинальная скорость ленты *v* = = 2 м/с.

Блок «Натяжение» производит расчет натяжения набегающей и сбегающей ветвей ленты на приводном

барабане. Блок «Момент сопротивления» приводит момент сопротивления конвейера к валу двигателя. Блок «Приводная станция» содержит в себе асинхронный двигатель, редуктор и приводной барабан. Работа натяжного устройства в данной работе не рассматривается. Таким образом, данная математическая модель позволяет рассматривать работу однодвигательного ленточного конвейера при разных режимах работы двигателя. Ниже рассмотрено три режима пуска: прямой пуск двигателя от сети 0,4 кВ; пуск двигателя с помощью устройства плавного пуска; пуск двигателя с помощью преобразователя частоты.

Для исследуемого двигателя было выбрано устройство плавного пуска фирмы ABB PSS72/124–500, имеющее следующие характеристики:

– максимальный номинальный рабочий ток: 105 А;

– номинальное рабочее напряжение: 208 — 500 В;

– пусковая способность: $4*I_н$ до 10 с;

– номинальная мощность: 55 кВт.

Был выбран преобразователь частоты фирмы SchneiderElectric ATV71HD55N4, имеющий следующие характеристики:

– максимальный номинальный рабочий ток: 116 А;

– максимальный переходный ток в течение 60 с: 174 А;

– максимальный переходный ток в течение 2 с: 191 А;

– номинальное рабочее напряжение: 380 В;

– номинальная мощность 55 кВт.

Результаты исследования

На рис. 4–6 представлены результаты математического моделирования пуска ленточного конвейера при прямом пуске от питающей сети 0,4 кВ. На рис. 4 показан график скорости участков ленты (сосредоточенных масс) при прямом пуске двигателя.

Из графика видно, что при пуске скорость участков ленты совершает гармонические затухающие колебания. Максимального значения колебания достигают в 9 с и практически затухают

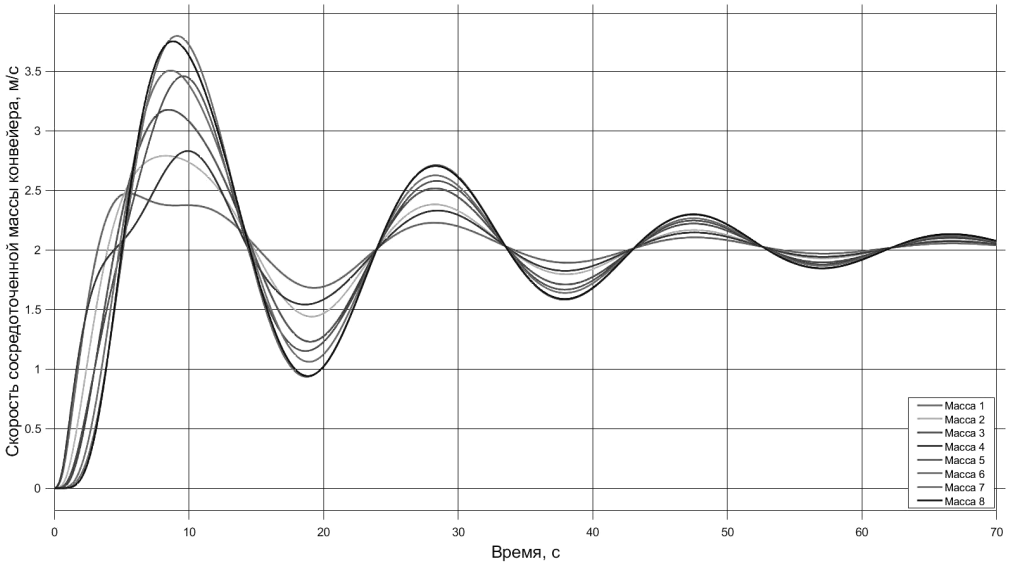

Рис. 4. График скорости участков ленты
Fig. 4. Speedgraphofbeltsections

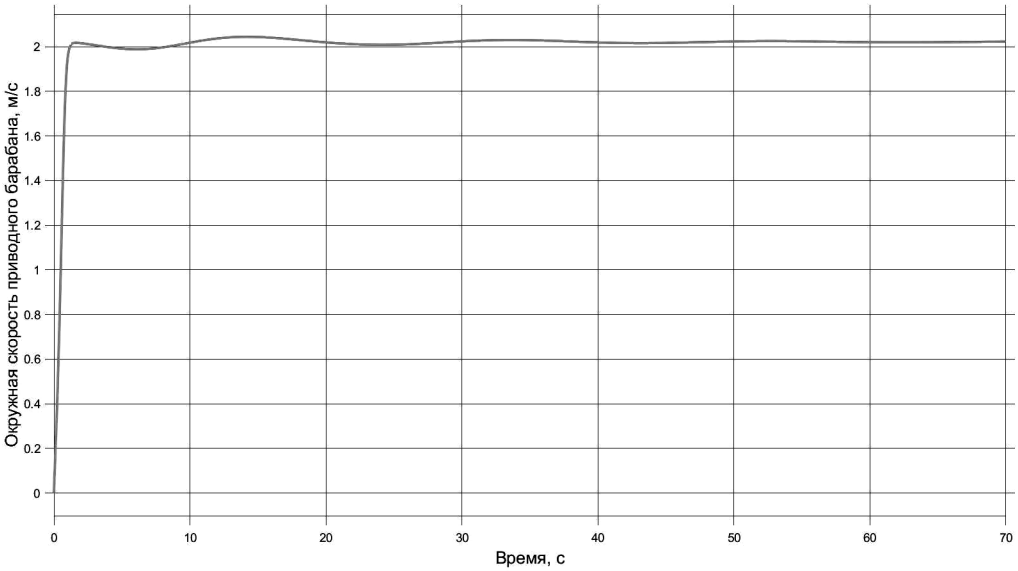

Рис. 5. График скорости приводного барабана
Fig. 5. Speedgraphofdrivedrum

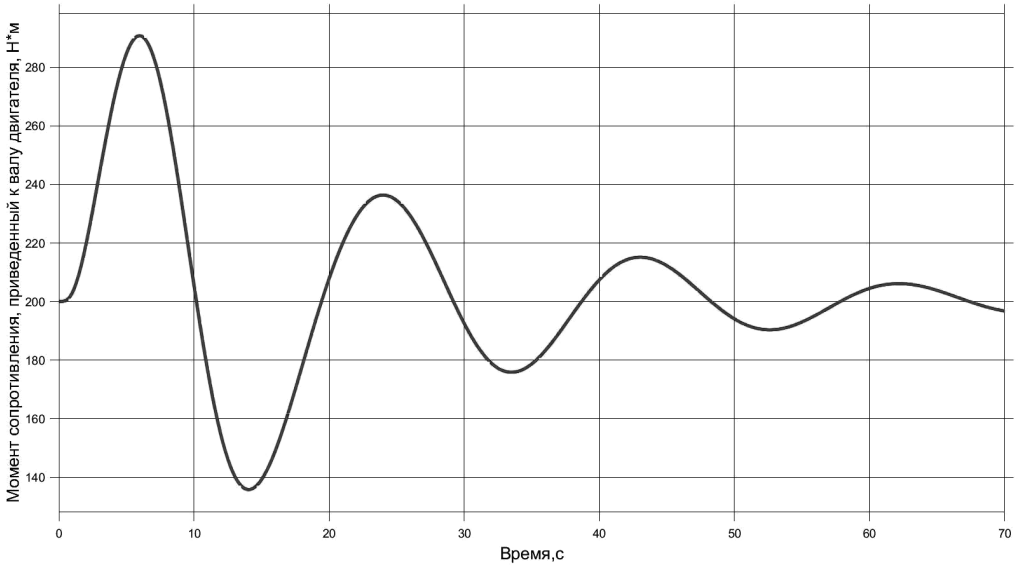

Рис. 6. График момента сопротивления конвейера, приведенного к валу двигателя
Fig. 6. Graph of the moment of resistance of the conveyor reduced to the motor shaft

после 60 с. При этом скорость некоторых участков превышает номинальное значение почти в два раза (3,8 м/с).

На рис. 5 представлен график окружной скорости приводного барабана.

Разгон двигателя и, соответственно, приводного барабана до номинальной скорости происходит за 2 с. Колебания скорости соответствуют колебаниям участков ленты.

На рис. 6 представлен график момента сопротивления конвейера, приведенного к валу двигателя.

Из графика видно, что колебания момента по форме совпадают с колебаниями скоростей участков ленты, но пиковое значение 290 Нм достигается чуть раньше, около 7,5 с, минимальное значение составляет 135 Нм.

Сопоставимые результаты работы ленточного конвейера представлены в работах [19,20], что говорит об адекватности представленной математической модели механической части конвейера.

Далее, на рис. 7–9 представлены результаты моделирования пуска конвейера с устройством плавного пуска.

На рис. 7 представлен график скорости участков ленты при пуске двигателя с помощью УПП.

Из графика видно, что при пуске участки ленты совершают те же гармонические затухающие колебания скорости, но с уже меньшими амплитудными значениями,3 м/с вместо 3,8 м/с при прямом пуске. При этом пиковое значение достигается не в 9, а в 17 секунд, что связано с большим временем разгона двигателя до номинальных оборотов.

На рис. 8 представлен график окружной скорости приводного барабана.

Разгон двигателя до номинальной скорости и, соответственно, приводного барабана происходит за 40 с.

На рис. 9 показан график момента сопротивления конвейера, приведенный к валу двигателя.

Из графика видно, что колебания момента немного уменьшились, пиковое значение составляет 258 Нм, при прямом пуске оно составляло 290 Нм. Аналогичные результаты получены в работе [21].

Далее представлены результаты моделирования пуска конвейера с преобразователем частоты.

На рис. 10 представлен график скорости участков ленты при пуске двигателя с помощью ПЧ со скалярным методом управления.

Из графика видно, что при пуске двигателя от преобразователя частоты значительно уменьшились колебания скорости, максимальное значение скорости составляет 2,3 м/с.

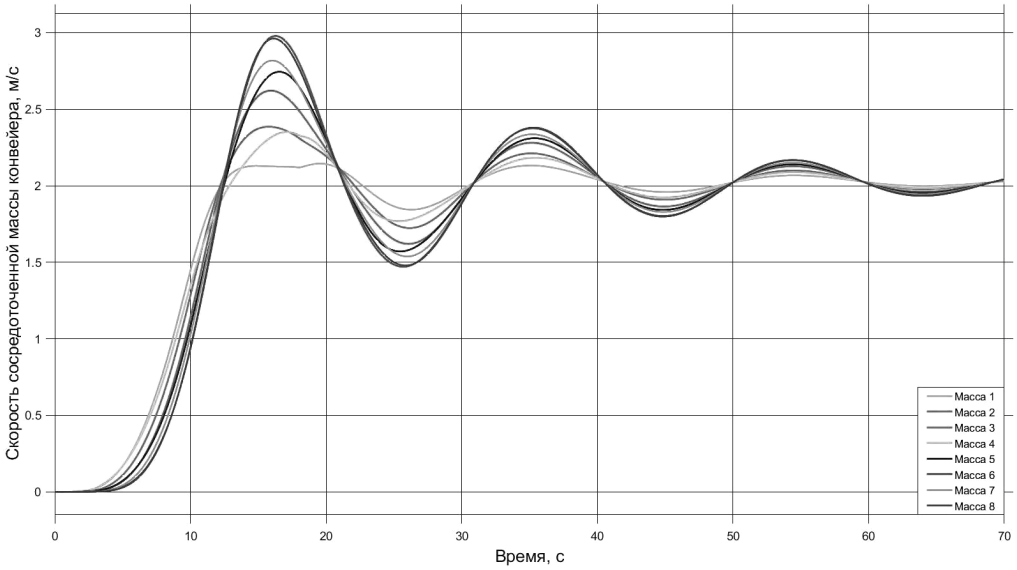

Рис. 7. График скорости участков ленты
Fig. 7. Speedgraphofbeltsections

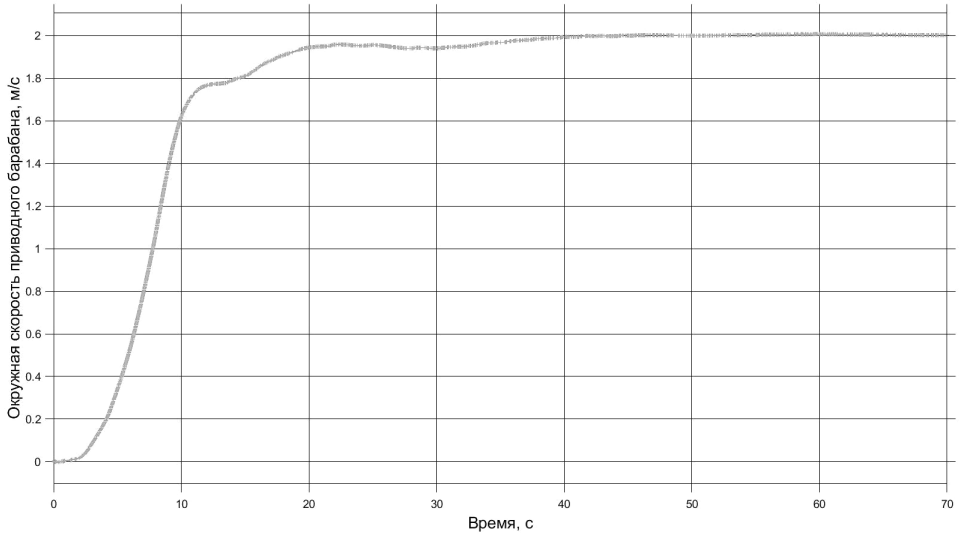

Рис. 8. График скорости приводного барабана
Fig. 8. Speedgraphofdrivedrum

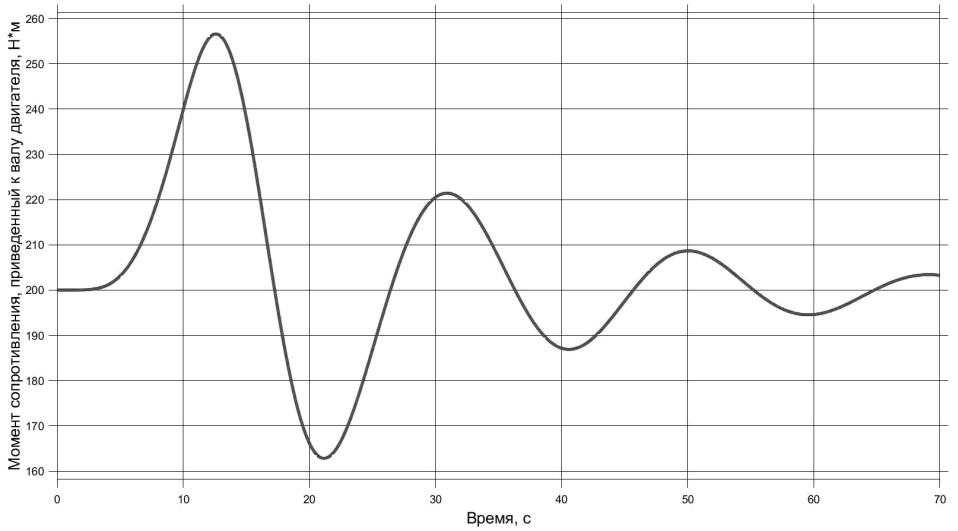

Рис. 9. График момента сопротивления конвейера, приведенного к валу двигателя
Fig. 9. Graph of the moment of resistance of the conveyor reduced to the motor shaft

На рис. 11 изображен график окружной скорости приводного барабана.

Разгон двигателя до номинальной скорости и, соответственно, приводного барабана происходит за 18 с.

На рис. 12 представлен график момента сопротивления конвейера, приведенного к валу двигателя.

Из графика видно, что колебания момента значительно уменьшились, пиковое значение в 1,26 меньше, чем при прямом пуске. Минимальное значение уменьшилось в 1,36 раза по сравнению с прямым пуском.

На рис. 13 изображен график среднеквадратичного значения тока статора для трех видов пуска.

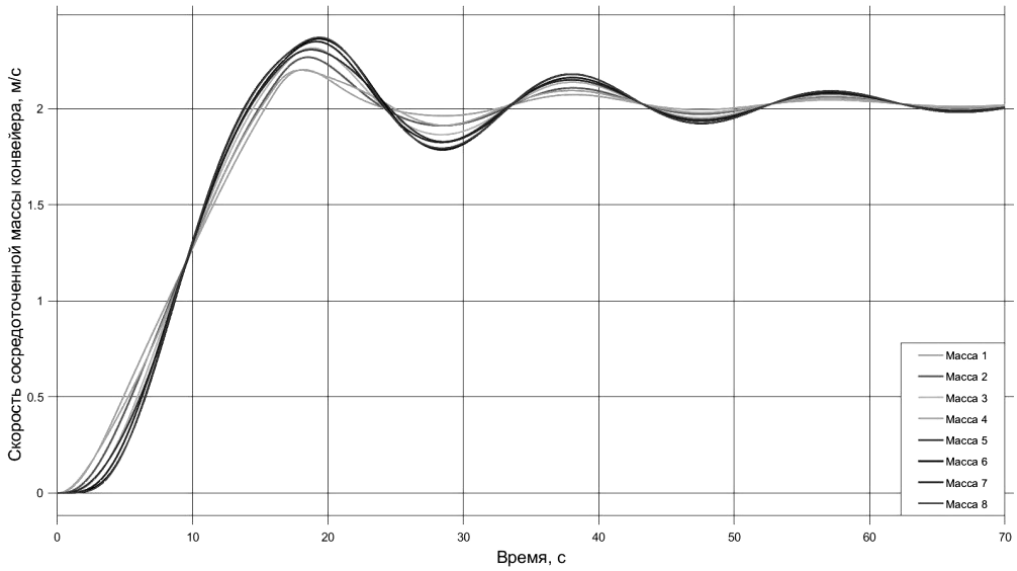

Рис. 10. График скорости участков ленты
Fig. 10. Speedgraphofbeltsections

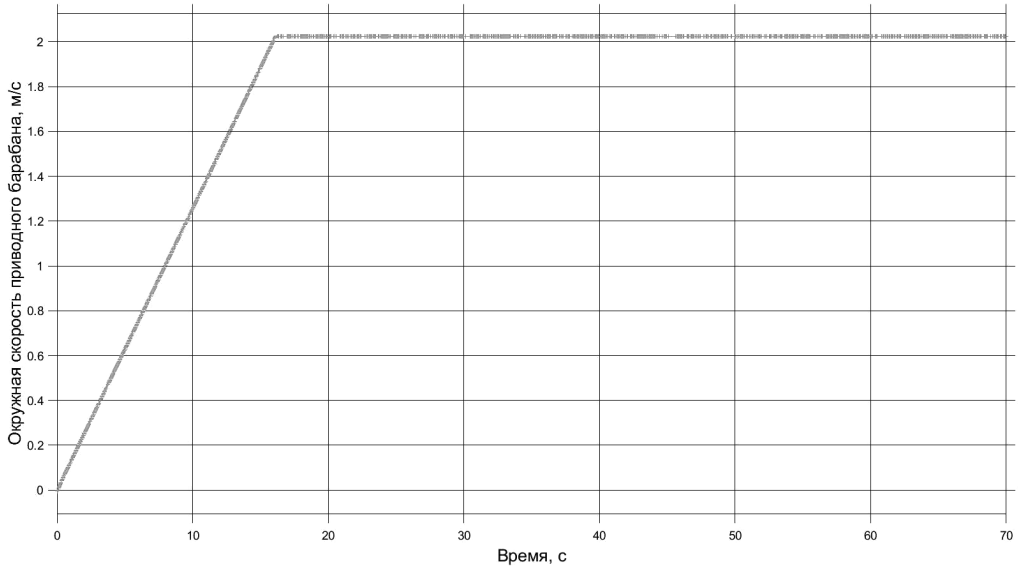

Рис. 11. График скорости приводного барабана
Fig. 11. Speedgraphofdrivedrum

Из графика видно, что при прямом пуске значение тока достигает 550 А, при пуске от УПП значение тока не превышает 300 А, после 10 с значение тока становится ниже 150 А. Это говорит о том, что режим работы УПП соответствует паспортному значению.

При пуске от преобразователя частоты значение тока статора не превышает 100 Ав течение всего пуска

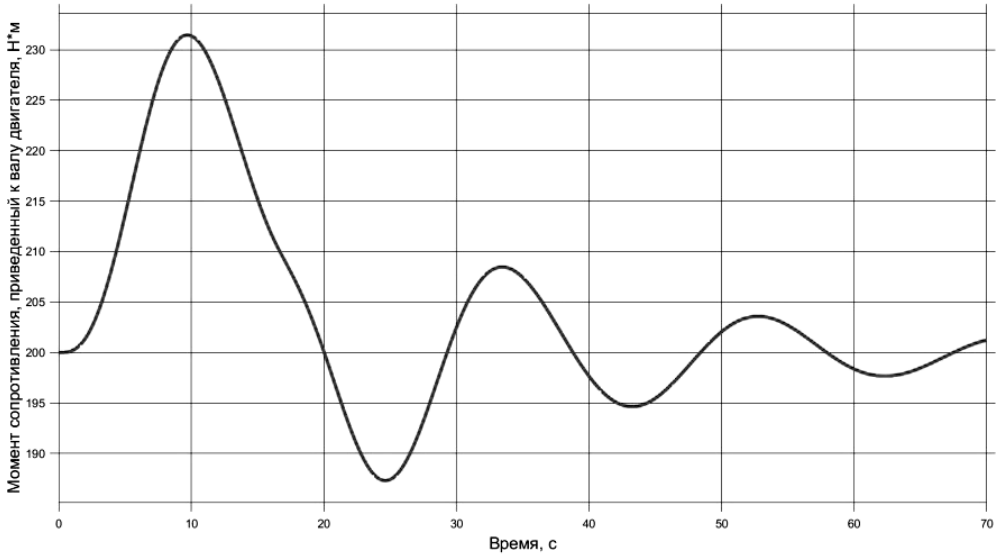

Рис. 12. График момента сопротивления конвейера, приведенного к валу двигателя
Fig. 12. Graph of the moment of resistance of the conveyor reduced to the motor shaft

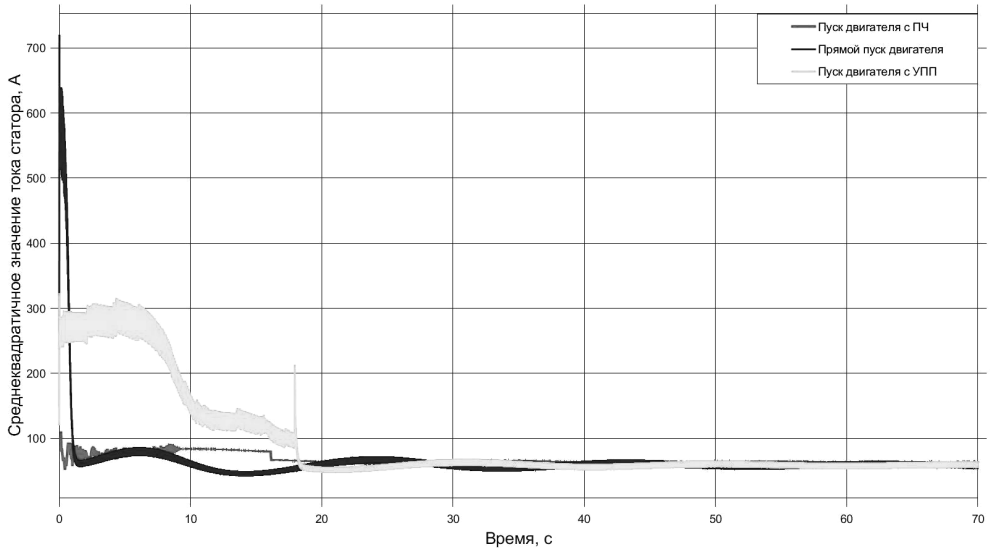

Рис. 13. Среднеквадратичное значение тока статора
Fig. 13. RMSstatorcurrent

конвейера, что соответствует номинальному режиму работы.

На рис. 14 представлен график электромагнитного момента двигателя при трех режимах пуска.

Из графика видно, что колебания момента при прямом пуске достигают 2300 Нм, при работе от устройства плавного пуска значение момента не превышают 400 Нм, что почти в 5 раз меньше,

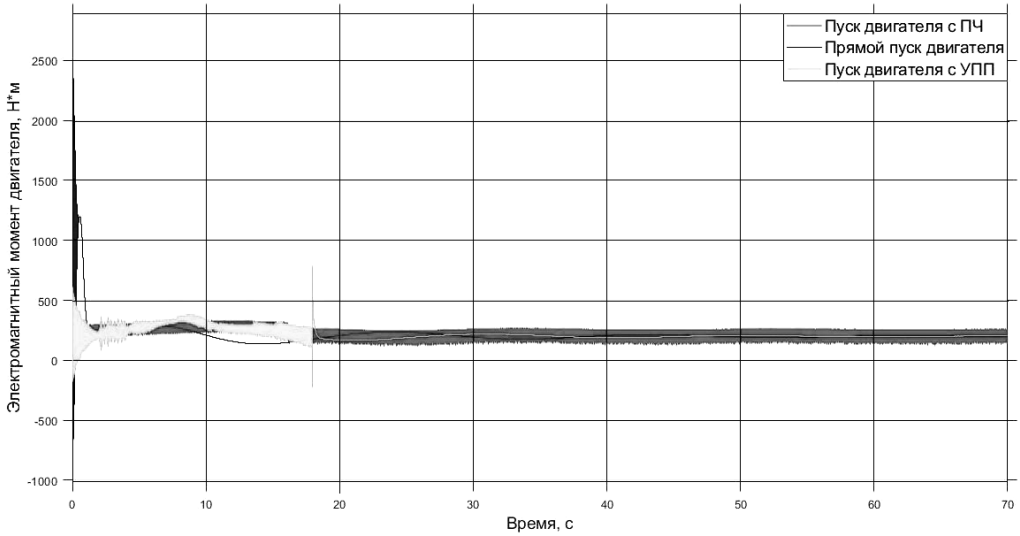

Рис. 14.Электромагнитный момент двигателя
Fig. 14. Electromagnetic torque of the motor

чем при прямом пуске. При работе от преобразователя частоты значение момента не превышает 300 Н·м. Т акое ограничение момента позволяет снизить значение момента сопротивления конвейера за счет меньшего натяжения ленты.

Заключение

На основании вышеизложенных данных можно сделать следующие выводы.

1. При прямом пуске конвейера динамический момент превышает статический в 1,5 раза.

2. Устройство плавного пуска позволяет снизить пусковые токи, что повышает энергоэффективность привода, но лишь незначительно уменьшает колебания момента сопротивления и скорости участков ленты.

3. Использование преобразователя частоты позволяет снизить пусковые токи, уменьшить значение динамического сопротивления до 1,1 от статического и значительно уменьшить колебания скорости участков ленты.

Помимо этого использование преобразователя частоты за счет уменьшения колебаний в ленте позволит снизить износ футеровки барабана и ленты, уменьшается динамическое натяжение набегающего на барабан участка ленты. Также использование преобразователя частоты позволяет регулировать скорость конвейерной ленты, что бывает необходимо при неравномерной подаче груза на конвейер. Изменение скорости позволяет равномерно распределить груз на рабочем участке ленты, что продлевает срок ее службы.

Таким образом, использование преобразователей частоты в ленточных конвейерах позволяет не только повысить энергоэффективность электропривода, но и уменьшить износ механических частей конвейера. Это особенно актуально для предприятий, где простой конвейера влечет за собой значительные экономические убытки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петров Д. И.* Влияние тягового фактора на некоторые параметры конвейера // Сборник материалов Научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». — 2018. — С. 10705.1–10705.5.

2. *Корнеев С. В.*, *Доброногова В. Ю.*, *Долгих В. П.* Моделирование реальных нагрузок в шахтных ленточных конвейерах на основе уточненного тягового расчета // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. — 2019. — № 13(56). — С. 81–90.

3. *Лагерев А. В.*, *Толкачев К. А.*, *Гончаров К. А.* Моделирование рабочих процессов и проектирование многоприводных ленточных конвейеров: монография. — Брянск: РИО БГУ,2017. — 384 с.

4. *Метельков В. П.*, *Либерман Я. Л.* К вопросу о выборе режима пуска ленточного конвейера // ЭС и К. — 2019. № 2 (43). — С. 54–59.

5. *Реутов А. А.*, *Зверев А. В.* Увеличение силы тяги привода ленточного конвейера с прижимной лентой // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: Сборник научных трудов XII-й Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. — Курск: ЗАО «Университетская книга»,2015. — С. 389–392.

6. *Mu S.* Research on the control system of the multi-point driving belt conveyor tension device,2020 International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE),2020, pp. 321–326. DOI: 10.1109/ICBAIE49996.2020.00074.

7. *Li J.*, *Pang X.* Belt Conveyor Dynamic Characteristics and Influential Factors. Shock and Vibration. 2018, vol. 2018, art. 8106879. DOI: 10.1155/2018/8106879.

8. *Абрамов Б. И.*, *Иванов А. Г.*, *Шиленков В. А.*, *Кузьмин И. К.*, *Шевырев Ю. В.* Электропривод современных шахтных подъемных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5—2. — С. 145—162. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_145.

9. *Дмитриева В. В.*, *Собянин А. А.*, *Сизин П. Е.* Моделирование плавного пуска для асинхронного двигателя ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 6. — С. 77–92. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_77.

10. *Марейченко И. В.* Устройства УППВ У5 для модернизации электроприводов магистральных ленточных конвейеров // Взрывозащищенное электрооборудование. — 2017. — № 1(52). — С. 109–118.

11. *Емельянов Е. В.* Исследование частотно-регулируемого электропривода ленточного конвейера // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. — 2015. — Т. 2. — № 3. — С. 18–22. DOI: 10.24892/RIJEE/20150304.

12. *Bao Z.*, *Zeng D.* Research on Frequency Conversion Starting Characteristics of Belt Conveyor Motor Based on Simulation // IEEE 3rd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE). 2020, pp. 680–683. DOI: 10.1109/ICISCAE51034.2020.9236831.

13. *Xiao D.*, *Li X.*, *He K.* Power Balance of Starting Process for Pipe Belt Conveyor Basedon Master-Slave Control // IEEE Access. 2018, vol. 6, pp. 16924–16931. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2810258.

14. *Семыкина И. Ю.*, *Тарнецкая А. В.* Система управления электроприводом ленточного конвейера на базе безредукторного синхронного мотор-барабана // Горное оборудование и электромеханика. — 2019. — № 1(141). — С. 47–53. DOI 10.26730/1816-4528-2019-1-47–53.

15. *Xiao D.*, *Shan H.* Performance Evaluation of Dual-Motor Driving System for Pipe Belt Conveyor Based on Current Tracking Master-Slave Control. Chinese Control and Decision Conference (CCDC). 2019, pp. 2540–2545. DOI: 10.1109/CCDC.2019.8833227.

16. *Лагерев А. В.*, *Толкачев Е. Н.* Моделирование режимов движения ведущих роликов приводных подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. — 2016. — № 1. — С. 55–65.

17. *Guo Y.*, *Wang F.* Multi Body Dynamic Equations of Belt Conveyor and the Reasonable Starting Mode // Symmetry. 2020, no. 12(9),1489. DOI: 10.3390/sym12091489.

18. *Wang X.*, *Mu D.* Dynamic model research and intelligent system development of belt conveyor // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing. 2019, vol. 493, no. 1,012101. DOI:10.1088/1757–899X/493/1/012101.

19. *Павлов В. Е.* Исследование режимов пуска электропривода ленточного конвейера методом компьютерного моделирования // iPolytech Journal. 2018, no. 4 (135), pp. 136–147. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-136–147.

20. *Зюзев А. М.*, *Кожушко Г. Г.*, *Метельков В. П.* Пусковые режимы электропривода ленточного конвейера с учетом ограничений по нагреву двигателя // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2012. — № 6. — С. 71–75.

21. *Павлов В. Е.* Сравнение двух вариантов пуска электропривода ленточного конвейера // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2020. — Т. 24. — № 5. — С. 1069—1079. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-5-1069–1079. ГИАБ

REFERENCES

1. Petrov D. I. Influence of the traction factor on some parameters of the conveyor. *Collection of materials of the X All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists with International Participation "RUSSIA YOUNG"*. 2018, pp. 10705.1–10705.5. [In Russ].

2. Korneev S. V., Dobronogova V. Yu., Dolgikh V. P. Modeling of real loads in mine belt conveyors on the basis of an updated traction calculation. *Collection of scientific works of the Donbass State Technical University*. 2019, no. 13(56), pp. 81–90. [In Russ].

3. Lagerev A. V., Tolkachev K. A., Goncharov K. A. Modeling of work processes and design of multi-drive belt conveyors: monograph. Bryansk, RIO BGU. 2017,384 p.[In Russ].

4. Metelkov V. P., Lieberman Ya. L. Choosing the Belt Conveyor Start Mode. *Electrotechnical Systems and Complexes*. 2019, no. 2 (43), pp. 54–59. DOI: 10.18503/2311-8318-2019-2(43)-54–59. [In Russ].

5. Reutov A. A., Zverev A. V. Increasing the traction force of a belt conveyor drive with a clamping belt. *Modern instrumental systems, information technologies and innovations: a collection of scientific papers of the XII International Scientific and Practical Conference: in 4 volumes*, Kursk. 2015. [In Russ].

6. Mu S. Research on the control system of the multi-point driving belt conveyor tension device. *2020 International Conference on Big Data, Artificial Intelligence and Internet of Things Engineering (ICBAIE)*. 2020, pp. 321–326. DOI: 10.1109/ICBAIE49996.2020.00074.

7. Li J., Pang X. Belt Conveyor Dynamic Characteristics and Influential Factors. *Shock and Vibration*,2018, vol. 2018, art. 8106879. DOI: 10.1155/2018/8106879.

8. Abramov B. I., Ivanov A. G., Shilenkov V. A., Kuzmin I. K., Shevyrev Yu. V. Electric drive of modern mine hoisting machines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 5–2, pp. 145–162. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_145. [In Russ].

9. Dmitrieva V. V., Sobyanin A. A., Sizin P. E. Modeling of a soft start for an asynchronous motor of a belt conveyor. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022. no. 6. pp. 77–92. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_6_0_77. [In Russ].

10. Mareichenko I. V. UPPV U5 devices for the modernization of electric drives of main belt conveyors. *Explosion-proof electrical equipment*. 2017, no. 1 (52), pp. 109–118. [In Russ].

11. Emelyanov E. V. Research of a frequency-controlled electric drive of a belt conveyor. *Electrical engineering: a network electronic scientific journal*. 2015, vol. 2, no. 3, pp. 18–22. DOI: 10.24892/RIJEE/20150304. [In Russ].

12. Bao Z., Zeng D. Research on Frequency Conversion Starting Characteristics of Belt Conveyor Motor Based on Simulation. *IEEE 3rd International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE)*. 2020, pp. 680–683. DOI: 10.1109/ICISCAE51034.2020.9236831.

13. Xiao D., Li X., He K. Power Balance of Starting Process for Pipe Belt Conveyor Based on Master-Slave Control. *IEEE Access*. 2018, vol. 6, pp. 16924–16931. DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2810258.

14. Semykina I. Yu., Tarnetskaya A. V. Belt conveyor electric drive control system based on a gearless synchronous motor drum. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2019, no. 1(141), pp. 47–53. DOI 10.26730/1816-4528-2019-1-47–53. [In Russ].

15. Xiao D., Shan H. Performance Evaluation of Dual-Motor Driving System for Pipe Belt Conveyor Based on Current Tracking Master-Slave Control. *Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*. 2019, pp. 2540–2545. DOI: 10.1109/CCDC.2019.8833227.

16. Lagerev A. V., Tolkachev E. N. Modeling of motion modes of driving rollers of drive suspensions of a conveyor with a suspension belt and a distributed drive. *Scientific and Technical Journal of Bryansk State University*. 2016, no. 1, pp. 55–65. [In Russ].

17. Guo Y., Wang F. Multi Body Dynamic Equations of Belt Conveyor and the Reasonable Starting Mode. *Symmetry*. 2020, no. 12(9),1489. DOI: 10.3390/sym12091489.

18. Wang X., Mu D. Dynamic model research and Intelligent system development of belt conveyor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing*. 2019, vol. 493, no. 1,012101. DOI:10.1088/1757–899X/493/1/012101.

19. Pavlov V. E. Investigation of the modes of starting the electric drive of a belt conveyor using computer simulation. *iPolytech Journal*. 2018, no. 4 (135). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-4-136–147. [In Russ].

20. Zyuzev A. M., Kozhushko G. G., Metelkov V. P. Starting mode of electric conveyor belt, taking into account constraints on the heating of the engine. *News of higher educational institutions. GornyiZhurnal*. 2012, no. 6, pp. 71–75. [In Russ].

21. Pavlov V. E. Comparison of two options for starting the electric drive of a belt conveyor. *iPolytech Journal*. 2020, vol. 24, no. 5, pp. 1069–1079. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-5-1069–1079. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Котин Денис Алексеевич — канд. техн. наук, доцент, http://orcid.org/0000-0003-3879-3029, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Россия, e-mail: d.kotin@corp.nstu.ru;
Сухинин Степан Евгеньевич — аспирант, https://orcid.org/0000-0003-4149-7757, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Россия, e-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru;
Иванов Илья Алексеевич — аспирант, ассистент, https://orcid.org/0000-0001-7189-8178, Новосибирский государственный технический университет, 630073, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Россия, e-mail: i.a.ivanov@corp.nstu.ru;
Для контактов: *Сухинин Степан Евгеньевич*, e-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kotin D. A., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, http://orcid.org/0000-0003-3879-3029, Novosibirsk state technical university,630073, Novosibirsk, Russia, e-mail: d.kotin@corp.nstu.ru;
Sukhinin S. E., postgraduate student, https://orcid.org/0000-0003-4149-7757, Novosibirsk state technical university,630073, Novosibirsk, Russia, e-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru;
Ivanov I. A., postgraduate student, assistant, https://orcid.org/0000-0001-7189-8178, Novosibirsk state technical university,630073, Novosibirsk, Russia, e-mail:i.a.ivanov@corp.nstu.ru.
Corresponding author: *Sukhinin S. E.*, e-mail: s.suxinin@corp.nstu.ru

Получена редакцией 24.01.2022; получена после рецензии 27.09.2022; принята к печати 10.11.2022.
Received by the editors 24.01.2022; received after the review 27.09.2022; accepted for printing 10.11.2022.