

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI: 10.32743/UniTech.2021.88.7.12094

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНВЕЙЕРОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ РУДЫ
ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ****Эшмуродов Зиёдулло Орипович**

канд. техн. наук,
Навоийский государственный горный институт,
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: eshmurodov.60@mail.ru

Исмоилов Мухриддин Тулкин угли

ассистент, Навоийский государственный горный институт,
Республика Узбекистан, г. Навои
E-mail: imuxriddin@mail.ru

Орипова Умида Зиёдулло кизи

студент, Навоийский государственный горный институт,
Республика Узбекистан, г. Навои

**MATHEMATICAL MODELS OF ORE TRANSPORTATION CONVEYORS
OF MINING TRANSPORT SYSTEMS****Ziyodullo Eshmurodov**

candidate of Technical Sciences,
Navoi State Mining Institute,
Republic of Uzbekistan, Navoi

Mukhriddin Ismoilov

assistant, Navoi State Mining Institute,
Republic of Uzbekistan, Navoi

Umida Oripova

4th year student Navoi State Mining Institute,
Republic of Uzbekistan, Navoi

АННОТАЦИЯ

В статье предлагается энергетическая модель, отличающаяся от ранее предложенных моделей тем, что в модели учитывается различное количество массы на длину по всей длине конвейера, и поэтому можно дать более точную оценку потребления энергии ленты. Приведены расчетные формулы потери в преобразователе, учет потерь в гармонике и в обмотке. Получены кривые потери в инвенторе, изменение КПД асинхронного двигателя при номинальных значениях мощности.

ABSTRACT

The article proposes an energy model that differs from the previously proposed models, in that the model takes into account a different amount of mass per length throughout the length of the conveyor, and therefore it can give a more accurate estimate of the energy consumption of the belt. The calculated formulas of losses to converters, accounting for losses in the harmonic and in the winding are given. The curves of losses in the inventory, the change in the efficiency of the asynchronous motor at the nominal values of the moshness are obtained.

Ключевые слова: конвейер, энергетическая модель, инвертор, эффективность, потери, преобразователь, асинхронная машина.

Keywords: conveyor, energy model, inverter, efficiency, losses, converter, asynchronous machine.

Большая часть современной литературы по моделированию ленточных конвейеров сосредоточена на динамическом моделировании, натяжении ленты, упругих свойствах материала ленты и моделировании отдельных видов сопротивления [2; 1; 5]. Однако также необходимо, чтобы энергетическая модель отражала величины материала, перемещаемого конвейерами, в целях оптимизации затрат на электроэнергию [5]. Текущие модели предполагают установившееся состояние с однородной массой материала на единицу длины всей ленты [6; 3].

Предлагаемая математическая модель использует уравнение в частных производных первого порядка для определения состояния материала на ленте и двухпараметрическое уравнение, полученное из устоявшегося в отрасли стандарта для количественной оценки требований к мощности конвейера. В

отличие от ранее предложенных моделей, наша модель учитывает различное количество массы на длину на всей протяженности конвейера, и поэтому можно дать более точную оценку потребления энергии ленты. Результаты показывают, что предложенная энергетическая модель дает значения мощности близкие к условиям максимальной нагрузки.

Желобчатый конвейер приводится в движение системой с приводом от электродвигателя и поддерживается системой шкивов, как показано на рис. 1. Транспортёр переносит сыпучий материал на поверхность с желобами резиновой ленты. Желобчатая структура конвейерной ленты поддерживается наборами равномерно расположенных натяжных роликов (рис. 2). Ленты снабжены загрузочным желобом в хвостовой части и скребком под головной частью [8].

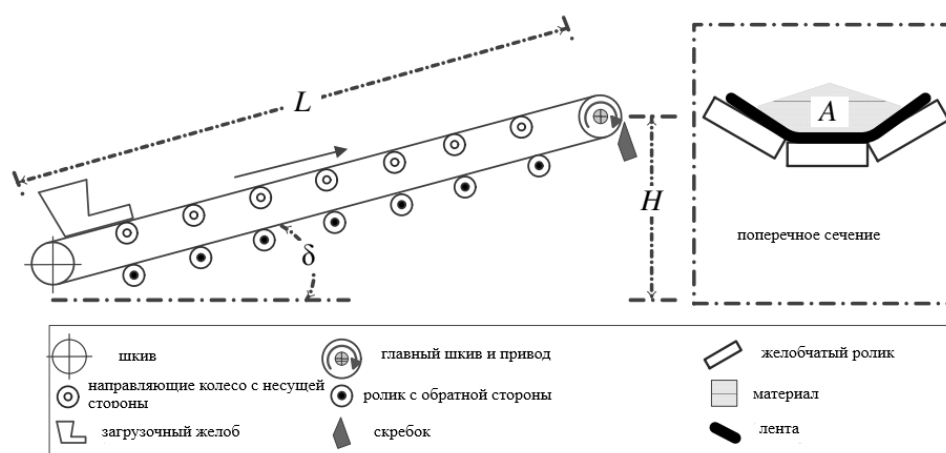


Рисунок 1. Упрощенный эскиз конвейера

Для регулирования скорости приводов используются частотные преобразователи. Общие потери в преобразователе частоты будут определяться по потере передачи и переключению в выпрямителе, а также в инверторе. Средние прямые потери $P_{VUmrDurch}$ для диодов и IGBT1 приводят к прямому напряжению U_F и дифференциальному сопротивлению r_F компонентов в постоянном токе. Инверторы из [7]:

$$P_{VUmrDurch} = U_F \bar{I} + r_F I^2. \quad (1)$$

При этом \bar{I} и I являются средними и эффективными значениями токов, проходящих через компоненты. Выходной ток инвертора I_{Umr} делится в зависимости от процесса модуляции, степени модуляции и угла мощности в различных пропорциях на диодах и на IGBT. В дальнейшем характеристика потерь (U_F ; r_F) IGBT и диода определяется как принятая равной, таким образом, сумма пропускных потерь не зависит от модуляции и угла мощности.

Для потерь переключения в инверторе [4]:

$$P_{VUmrSchalt} = E_{Schalt}(I, U_{zk}) f_{Puls}. \quad (2)$$

При этом f_{Puls} – это частота импульсов инвертора, а $E_{Schalt}(I, U_{zk})$ – энергия потери переключения, которая в первом приближении пропорциональна току I и напряжению промежуточной цепи U_{zk} . Потери переключения линейно зависят от частоты пульса f_{Puls} , но частота пульса будет, как правило, выбираться при вводе в эксплуатацию и после этого больше не изменяется. Эти потери переключения не зависят от степени модуляции и угла мощности.

Зависимость потерь преобразователя от инвертора выходного тока I_{Umr} по (1) и (2) описывает полинома второй степени:

$$P_{VUmr} = C_1 + C_2 I_{Umr} + C_3 I_{Umr}^2. \quad (3)$$

Коэффициенты полинома функции подхода $C_1 - C_3$ определяются на основе данных таблицы. Некоторые производители (например, ПЭВ) дают при потере преобразователя частоты 100 % и 125 % номинальный ток P_{VUmr} 100 % и P_{VUmr} 125 %, а также на холостом ходу P_{VUmr} 0 %.

Коэффициенты $C_1 \dots C_3$ функции приближения (3) вытекают из [7]:

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{(1,25^2 - 1,25)I_N^2} \begin{bmatrix} (1,25^2 - 1,25)I_N^3 & 0 & 0 \\ (1 - 1,25^2)I_N^2 & (1,25^2)I_N^2 & -I_N^2 \\ (1 - 1,25 - 1)I_N & -1,25I_N & I_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{VUmr0\%} \\ P_{VUmr100\%} \\ P_{VUmr125\%} \end{bmatrix} \tag{4}$$

На рисунке 2 показана кривая потерь, аппроксимированная функцией приближения в (3).

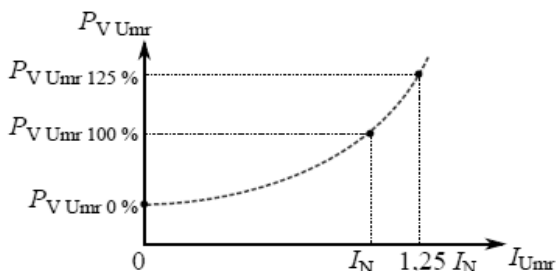


Рисунок 2. Потери в инверторе в зависимости от выходного тока

Эффективность асинхронной машины в зависимости от нагрузки в DIN CLC / TS 60034-31 [4] введена приближением к КПД. На рисунке 3 представ-

лен КПД в зависимости от крутящего момента двигателя. Это основано на данных таблицы эффективности на 100 %, а также 75 % нагрузки и расчетной скорости двигателя. Приводы с переменной скоростью все чаще используются для использования энергосберегающих потенциалов в транспортных системах. Таким образом, определение эффективности в зависимости от нагрузки при скорости вращения без включения дополнительных потерь, вызванных работой инвертора, недостаточно. Поэтому здесь представлен метод, с помощью которого эффективность двигателя как для асинхронной машины, так и для синхронных машин с постоянным магнитным возбуждением, нагрузка и вращение определяются в зависимости от количества данных [1; 3; 4].

В большинстве квазистационарных приводных систем в настоящее время используются прочные и устойчивые асинхронные двигатели. В качестве энергоэффективной альтернативы также используются синхронные двигатели с постоянным магнитным возбуждением.

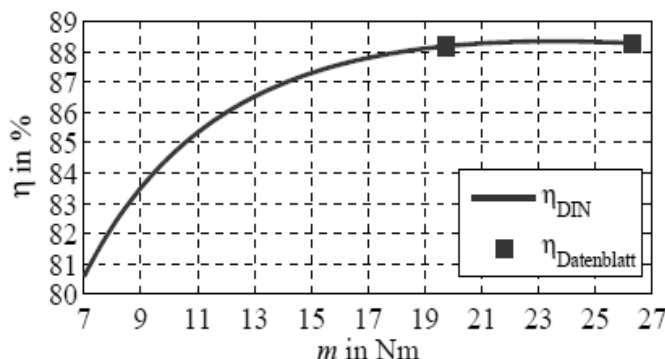


Рисунок 3. Изменение КПД асинхронного двигателя P_n = 4 кВт

Для асинхронных машин, в том числе 100 % и 75 % эффективности – η 100 % и η 75 %, а также номинальные значения мощности P_N, скорости n_N, тока I_N, напряжения U_N и коэффициента мощности cos(φ_N) указаны в техническом паспорте.

Для расчета потерь сначала оцениваются параметры схемы замещения из данных технического паспорта. Параметры схемы замещения позволяют рассчитать потери двигателя в зависимости от частоты вращения двигателя, а также от момента двигателя. В модели потери включают в себя медь, железо и потери трения, а также эффекты различных

способов управления, как, например, U/f² – управление или режим ослабления поля.

Учет потерь гармоник при работе преобразователя в дополнение к фундаментальным колебаниям усиливает дополнительную пульсацию тока, которая называется здесь током искажения. Для эффективного значения тока искажения IVZ применяется (5) со степенью модуляции M и напряжением промежуточной цепи U_zk. Потери в обмотке из-за гармоник поэтому, PVCuOS в (3.25) квадратично уменьшается с частотой импульсов [7]:

$$I_{VZ} = \frac{M U_{ZK}}{8\sqrt{3} f_{Puls} (L_{\sigma S} + L'_{\sigma R})} \sqrt{0,5 - 0,7M + 0,3M^2}, \quad M = \frac{2 \bar{u}_s}{u_{ZK}}, \tag{5}$$

$$P_{VCuOS} = 3R_S I^2_{vZ} \tag{6}$$

Пример для асинхронного двигателя 7,5 кВт (IN = 9; 4 A, $L_{sS} \approx L_{\sigma S} \approx L'_{\sigma S} = 20\text{mH}$) с одной частотой импульсов $f_{Puls} = 2 \text{ кГц}$ приводит к искажению тока $I_{VZ} \approx 130 \text{ mA}$ согласно (5). Поэтому гармоники едва увеличивают потери в обмотке и находятся на частотах импульсов $f_{Pulse} \geq 2 \text{ кГц}$.

Преобразователь частоты использует метод модуляции, такой как, например, пространственная векторная модуляция. Напряжение показывает рядом с основной вибрацией $US1$ дополнительную гармоническую составляющую USv . На рисунке 4 показаны ча-

стотные составляющие напряжения двигателя, фазовое напряжение US (соединение «звезда»). Напряжение проводника (фактор $\sqrt{3}$) и пиковое значение (фактор $\sqrt{2}$). Вибрации USv лежат в боковых полосах, кратных частоте импульсов:

$$f_v = i f_{puls} \pm n f_1 (v, i, n \in Z), \tag{7}$$

где n – числовая переменная соответствующих частот; i – кратная частота пульса и n интервала соответствующих боковых лент, кратного базовой частоте вибрации f_1 .

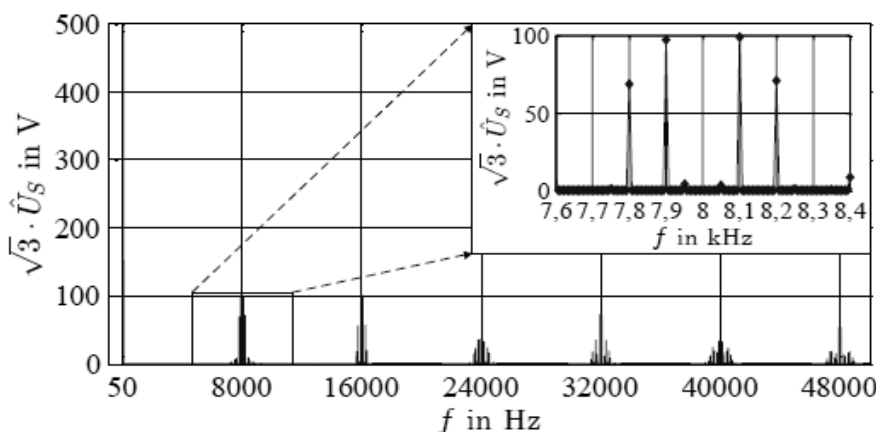


Рисунок 4. Вычисленные частотные доли спрямленного напряжения двигателя (модуляция пространственного указателя) с $f_1 = 50 \text{ Гц}$, $f_{Puls} = 8 \text{ кГц}$ и $n = 500$

Эти гармоники также (вызывают) приводят к изменению магнитного потока Φ_v :

$$U_{s,v} \sim f_v \Phi_v \tag{8}$$

Таким образом, возникают дополнительные потери:

$$U_{Sv} \sim f_v \Phi^2_m \sim \frac{1}{f_v} U^2_{s,v} \tag{9}$$

Дополнительные потери гистерезиса от высоких частот возникают из-за верхних колебаний.

Этот фактор понимается только как аппроксимация, так как здесь верхние колебания независимо накладываются друг на друга, что физически из-за наложения связанных магнитных полей неверно. Для расчета коэффициента используется пульсирующий узор шестигранника. Моделируются конвертеры с модуляцией 400V-Netz. Вычисленные амплитуды верхнего и базового колебаний составляют коэффициент потерь k_{OS} , который на рис. 5 показан в качестве функции основного сдвига напряжения двигателя [7].

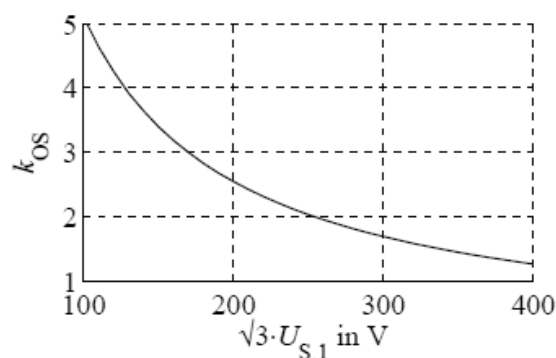


Рисунок 5. Отношение потерь относительно работы сети

Список литературы:

1. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О., Ташева Х.Т. Математические модели электроприводов горных машин // Проблемы информатики и энергетики. – 2017. – № 1. – С. 65–70.
2. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод : учеб. пособие / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М. : ACADEMIA, 2004. – 202 с.
3. Монастырский В.Ф. Снижение энергозатрат при транспортировании насыпных грузов с помощью управления скоростью ленты конвейера / В.Ф. Монастырский, В.Ю. Максютенко, Р.В. Кирия, И.А. Бужинский // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2007. – № 10. – С. 35–37.
4. Эшмуродов З.О., Бобожанов М.К. Исследование эффективности конвейеров горнотранспортных систем // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – № 3. – С. 109–112.
5. Jenni F., Wüest D. Steuerverfahren für selbstgeführte Stromrichter. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich und B.G. – Teubner Stuttgart, Zürich, 1995.
6. Kolar J.W., Ertl H., Zach F.C. Influence of the Modulation Method on the Conduction and Switching Losses of a PWM Converter System // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1991. – № 27.
7. Schützhold J., Benath K., Hofmann W. Berechnung des drehzahl- und lastabhängigen Wirkungsgrads von elektrischen Maschinen anhand von Datenblattangaben. ETG Fachbericht 139. – Int. ETG-Kongress, Berlin, 2013.
8. Zhang S., Xia X. A new energy calculation model of belt conveyor // IEEE AFRICON. – 2009. – P. 694–699.