

DOI: 10.21122/1029-7448-2016-59-6-529-535

УДК 621.313.333

Две конструкции встраиваемого в асинхронный двигатель электромеханического тормоза

В. В. Соленков¹⁾, В. В. Брель¹⁾

¹⁾Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого (Гомель, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. Значение тормозных устройств возрастает в связи с интенсификацией производства, увеличением движущихся масс, скоростей перемещения и частоты торможений. В течение короткого периода времени тормозные устройства должны преобразовать в тепловую энергию значительное количество механической энергии и передать ее в окружающую среду без снижения работоспособности как устройства, так и машины в целом. Часто для торможения электроприводов применяются нормально замкнутые механические тормоза. При отключении электродвигателя от сети их фрикционные тормозные поверхности замыкаются и препятствуют вращению, а при включении – размыкаются под действием электромагнита, электрогидравлического толкателя, специального электродвигателя, механического или пневматического устройства. В случае совместного выполнения асинхронного двигателя и механического тормоза привод быстрого останова является более компактным и удобным. Такие устройства в дальнейшем будем называть асинхронными двигателями с электромеханическими тормозными устройствами. Многочисленность требований, а также различия условий эксплуатации обуславливают большое разнообразие конструкций этих двигателей. Одними из существенных недостатков работы широко известных конструкций являются периодический износ фрикционных накладок и необходимость их частой замены. Решение данной проблемы – использование асинхронного двигателя с встраиваемым комбинированным тормозным устройством. Однако для некоторых производственных механизмов, не требующих плавной остановки и обладающих скоростью вращения вала электродвигателя $n_{ном} < 1500$ об/мин, более простым и дешевым решением является использование электромеханических тормозных устройств с компенсацией воздушного зазора. Из-за износа фрикционной накладки увеличивается воздушный зазор электромагнита. Данные устройства позволяют за счет компенсации воздушного зазора электромагнита дольше стирать материал фрикционной накладки. Существующие в настоящее время конструкции электромеханического тормозного устройства с компенсацией воздушного зазора достаточно громоздки или сложны в изготовлении. Поэтому авторами статьи разработаны, экспериментально исследованы и внедрены две новые простые и дешевые конструкции электромеханического тормозного устройства с компенсацией воздушного зазора.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электромеханический тормоз, путь и время торможения, износ, фрикционная накладка, рабочая толщина

Для цитирования: Соленков, В. В. Две конструкции встраиваемого в асинхронный двигатель электромеханического тормоза / В. В. Соленков, В. В. Брель // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2016. Т. 59, № 6. С. 529–535

Адрес для переписки

Соленков Виталий Владимирович
Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого
просп. Октября, 48а, корп. 2,
246746, г. Гомель, Республика Беларусь
Тел.: +375 232 40-18-27
kaf_toe@gstu.by

Address for correspondence

Solencov Vitaliy V.
P. O. Sukhoi State Technical University
of Gomel
48a, housing 2 October Ave.,
246746, Gomel, Republic of Belarus
Tel.: +375 232 40-18-27
kaf_toe@gstu.by

Two Designs of the Electromechanical Brake Embedded into an Asynchronous Motor

V. V. Solencov¹⁾, V. V. Brel¹⁾

¹⁾ P. O. Sukhoi State Technical University of Gomel (Gomel, Republic of Belarus)

Abstract. The significance of the braking devices is increasing due to the intensification of manufacturing, increase in the moving masses, speeds of movement and frequency of braking. During a short time period the braking device needs to convert a significant amount of mechanical energy into heat energy and transfer it into the environment without compromising the operability of both devices and machines in general. For electric actuators braking a normally closed mechanical brake is frequently used. When disconnecting the motor from the network the brake friction surfaces are closed and prevent rotation, and when the motor is switched on, they are opens under the action of the electromagnet, electro-hydraulic pusher, special electric motor, mechanical or pneumatic device. In the case of joint implementation of the asynchronous motor and the mechanical brake, the drive of quick stop is more compact and convenient. Such devices are further called asynchronous motors with electromechanical braking systems henceforth. The large number of requirements as well as different conditions of operation cause a large variety of designs of such motors. One of the major shortcomings of the functioning of well-known design is the periodic wear of the friction linings and the need for frequent replacement of them. The solution to this problem is the use of asynchronous motor with recessed combo braking device. However, for some mechanisms that do not require a smooth stop of the motor shaft and that have a speed of rotation of the motor shaft less than 1500 rpm, more simple and cheap solution would be the use of an electromechanical braking device with an air gap compensation. Due to wear of the friction linings the air gap of the electromagnet increases. Due to the compensation of the air gap of the electromagnet these devices make it possible to rub the material of the friction lining longer. The current designs of the electromechanical braking device with compensation of the air gap are quite bulky and complicated to be manufactured. Therefore, the authors developed, experimentally investigated and implemented two new, simple and cheap designs of electromechanical braking device with compensation of the air gap.

Keywords: asynchronous motor, electromechanical brake, braking distance and deceleration time, wear friction lining, working thickness

For citation: Solencov V. V., Brel V. V. (2016) Two Designs of the Electromechanical Brake Embedded into an Asynchronous Motor. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 59 (6), 529–535 (in Russian)

Введение

Значение тормозных устройств возрастает в связи с интенсификацией производства, увеличением движущихся масс, скоростей перемещения и частоты торможений. В течение короткого периода времени тормозные устройства должны преобразовать в тепловую энергию значительное количество механической энергии и передать ее в окружающую среду без снижения работоспособности как устройства, так и машины в целом.

Часто для торможения электроприводов применяются нормально замкнутые механические тормоза [1–3]. При отключении электродвигателя от сети их фрикционные тормозные поверхности замыкаются и препятствуют вращению, а при включении – размыкаются под действием электромагнита, электрогидравлического толкателя, специального электродвигателя, механического или пневматического устройства.

Механические тормоза обычно выполняются либо в виде отдельного устройства, устанавливаемого рядом с приводным механизмом, либо объединяются с электродвигателем. Существенный недостаток первого – гро-

моздкость [1]. В случае совместного выполнения асинхронного двигателя и механического тормоза, управляемого с помощью электромагнитного поля базового электродвигателя, специального встроенного электродвигателя или электромагнита, привод быстрого останова является более компактным и удобным [2–4]. Такие устройства в дальнейшем будем называть асинхронными двигателями с электромеханическими тормозными устройствами (АД с ЭМТУ).

Описание исследования

При рассмотрении особенностей тех или иных типов АД с ЭМТУ, выяснении их преимуществ и недостатков необходимо учитывать многочисленность требований, предъявляемых к электродвигателям с тормозными устройствами. Это следующие требования [3]:

- максимальная унификация с электродвигателями общепромышленного исполнения;
- высокая надежность и долговечность;
- незначительное снижение энергетических показателей и ухудшение пусковых характеристик по сравнению с соответствующими показателями и характеристиками базовых электродвигателей;
- большая допустимая частота включений в единицу времени;
- максимальная простота, минимальные габариты, масса и стоимость тормозного устройства;
- минимальная потребность в дополнительном электрическом оборудовании;
- плавность торможения при высоком тормозном моменте;
- быстрое замыкание и размыкание тормозного устройства;
- тормозная система должна обеспечивать работу электродвигателя в любом положении, а также допускать возможность растормаживания не только электрическим, но и механическим способом;
- должны быть предусмотрены регулировка величины тормозного момента и автоматическая компенсация износа фрикционных тормозных накладок.

Множество этих требований, а также различия условий эксплуатации обуславливают разнообразие конструкций АД с ЭМТУ. Рассмотрим известную конструкцию, представленную на рис. 1 [3–5].

После включения в сеть одновременно с обмоткой электродвигателя под напряжением оказывается и катушка 1 электромагнита. Создаваемый ею магнитный поток замыкается через якорь 2 и притягивает его к сердечнику 3, освобождая тормозной диск-вентилятор 4. При отключении от сети катушка электромагнита обесточивается, а якорь под действием пружины 5 прижимается к тормозному диску, осуществляя торможение электродвигателя.

Одними из существенных недостатков работы описанного электромеханического тормоза являются периодический износ фрикционных накладок и необходимость их частой замены [1–3]. Решение данной проблемы – использование асинхронного двигателя с встраиваемым комбинированным тормозным устройством (АД с ВКТУ) [6, 7]. Функциональная схема АД с ВКТУ представлена на рис. 2.

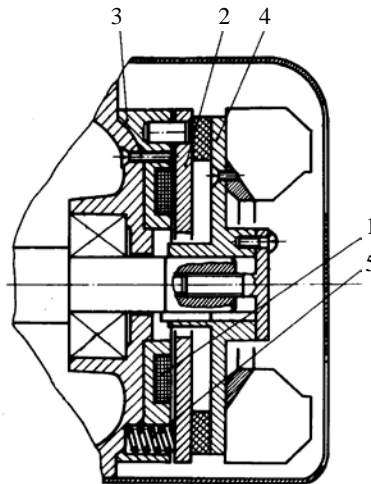


Рис. 1. Электродвигатель со встроенным электромагнитом

Fig. 1. The electric motor with a built-in electromagnet

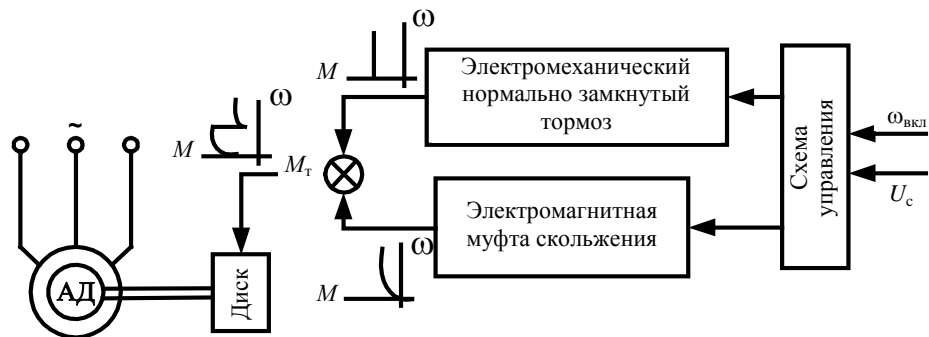


Рис. 2. Функциональная схема асинхронного двигателя с встраиваемым комбинированным тормозным устройством

Fig. 2. Functional diagram of an asynchronous motor with an embedded combined braking device

АД с ВКТУ содержит асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, электромеханический нормально замкнутый тормоз, электромагнитную муфту скольжения и схему управления. Формирование тормозной механической характеристики происходит следующим образом. После отключения двигателя от сети форсирующее напряжение подается на электромагнитную муфту скольжения. Двигатель начинает тормозиться электромагнитным полем, создаваемым вихревыми токами в тормозном диске, который жестко связан с валом двигателя. Чем больше скорость вращения вала двигателя, тем больший тормозной момент создает электромагнитная муфта. В процессе торможения скорость вала замедляется, и при достижении заданной скорости включения $\omega_{\text{вкл}}$ схема управления размыкает электромеханический тормоз. С этого момента на вал двигателя действует суммарный тормозной момент от муфты и от электромеханического тормоза. Скорость включения $\omega_{\text{вкл}}$ определяется необходимой тормозной механической характеристикой электропривода и задается изначально в схеме управления.

К достоинствам предложенной конструкции АД с ВКТУ относятся:

- малый износ фрикционных накладок тормоза за счет того, что механическое торможение происходит на пониженной скорости. Допустимое число торможений обратно пропорционально квадрату изменения частоты вращения ротора в начале торможения [1], т. е. если частоту вращения ротора в начале торможения для электромеханического тормоза уменьшить в два раза ($\omega_{\text{вкл}} = 0,5\omega_n$), то допустимое число торможений для фрикционной накладки увеличится в четыре раза;
- плавность торможения за счет использования электромагнитной муфты скольжения, обладающей мягкой тормозной характеристикой;
- возможность встраивания в базовый асинхронный двигатель (со стороны вентилятора).

Однако, несмотря на перечисленные достоинства конструкции АД с ВКТУ, для некоторых производственных механизмов, не требующих плавной остановки и обладающих скоростью вращения вала АД $n_{\text{ном}} < 1500$ об/мин (тормозной момент электромагнитной муфты при небольшой скорости вращения мал), более простым и дешевым решением является использование электромеханических тормозных устройств с компенсацией воздушного зазора. Из-за износа фрикционной накладки увеличивается воздушный зазор электромагнита. Данные устройства позволяют за счет компенсации воздушного зазора электромагнита дольше стирать материал фрикционной накладки.

Существующие в настоящее время конструкции электромеханического тормозного устройства с компенсацией воздушного зазора достаточно громоздки или сложны в изготовлении [2, 8–10]. Поэтому авторами статьи разработаны, экспериментально исследованы и внедрены две новые простые и дешевые конструкции электромеханического тормозного устройства с компенсацией воздушного зазора. Конструкция, использующая увеличенный ход якоря при рядном расположении электромагнитов, представлена на рис. 3.

Как видно из рис. 3, увеличенный ход якоря получается за счет того, что якорем первого электромагнита (первый со стороны подшипникового щита электродвигателя) является сердечник второго. Поэтому общий воздушный зазор состоит из суммы двух воздушных зазоров, образованных электромагнитами. Внедрение конструкции позволило на электродвигателе АИР80 уве-

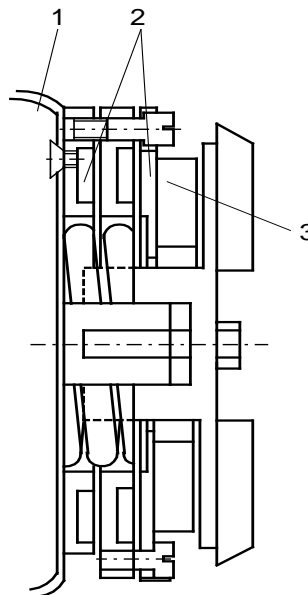


Рис. 3. Встраиваемый электромеханический тормоз с увеличенным ходом якоря:

- 1 – электродвигатель;
2 – электромагнит;
3 – фрикционная накладка

Fig. 3. An embedded electromechanical brake with an increased stroke of the armature: 1 – motor; 2 – electromagnet; 3 – friction lining

личить рабочую толщину фрикционной накладки с 2 до 4 мм, что продлило долговечность бесперебойной работы электродвигателя в два раза.

Конструкция и ее фотография, в которой компенсация воздушного зазора из-за износа фрикционных накладок осуществляется за счет использования клиновых передач, сдвигающих тормозной диск в сторону уменьшения зазора между фрикционной накладкой и тормозным диском (что соответственно уменьшает воздушный рабочий зазор электромагнита до заданного значения), представлена на рис. 4. Внедрение конструкции на Добрушской бумажной фабрике «Герой труда» также позволило на электродвигателе АИР100 увеличить рабочую толщину фрикционной накладки с 2 до 4 мм и продлить долговечность бесперебойной работы электродвигателя в два раза.

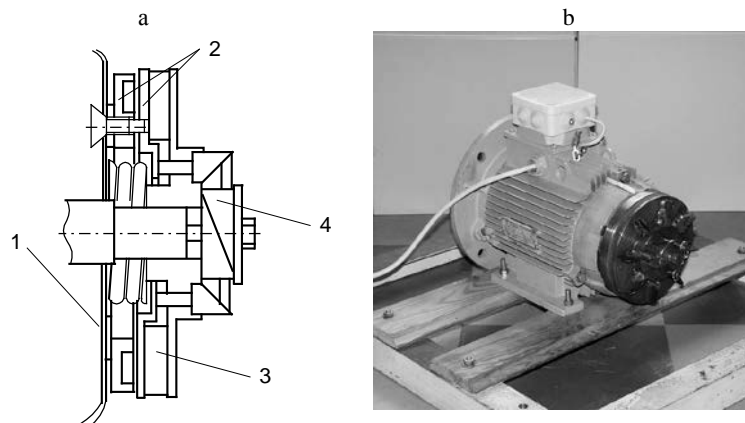


Рис. 4. Конструкция встраиваемого электромеханического тормоза с компенсацией воздушного зазора за счет использования клиновых передач: 1 – электродвигатель; 2 – электромагнит; 3 – фрикционная накладка; 4 – клиновая передача (а) и ее фотография (б)

Fig. 4. The design of the electromechanical brake with a compensation gap by means of the use of the wedge transmission: 1 – motor; 2 – electromagnet; 3 – friction lining; 4 – wedge transmission (a) and its photo (b)

ВЫВОД

Экспериментальные исследования приведенных конструкций показали, что для производственных механизмов, не требующих плавной остановки и обладающих скоростью вращения вала асинхронного двигателя $n_{\text{ном}} < 1500$ об/мин, наиболее простым и дешевым решением для торможения асинхронного двигателя является использование разработанных электромеханических тормозов с компенсацией воздушного зазора, позволяющих существенно продлевать долговечность работы встраиваемого электромеханического тормоза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, М. П. Тормозные устройства / М. П. Александров, А. Г. Лысяков. М.: Машиностроение, 1985. 312 с.
2. Молчанов, Ю. М. Электродвигатели со встроенным электромагнитным тормозом / Ю. М. Молчанов. М.: Информэлектро, 1969. 61 с.
3. Гусельников, Э. М. Самотормозящиеся электродвигатели / Э. М. Гусельников, Б. С. Цукерман. М.: Энергия, 1971. 96 с.

4. Karl, E. Brinkmann GmbH. Electromagnetic Technology KEB (Germany) [Electronic Resource] / E. Karl // Directory Electromagnetic Techniques. 2015. № 8. Mode of Access: <http://www.keb.de>. Date of Access: 16.10.2015.
5. Соленков, В. В. Асинхронные двигатели с электромеханическими тормозными устройствами / В. В. Соленков, В. В. Брель // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2004. № 4. С. 28–32.
6. Соленков, В. В. Асинхронный электродвигатель со встроенным комбинированным тормозным устройством на базе электромеханического тормоза и электромагнитной муфты / В. В. Соленков, В. В. Брель // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2011. № 6. С. 20–24.
7. Соленков, В. В. Математическая модель АД с встраиваемым комбинированным тормозным устройством / В. В. Соленков, В. В. Брель // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2013. № 6. С. 24–31.
8. Karl, E. Brinkmann GmbH. Combinorm KEB (Germany) [Electronic Resource] / E. Karl // Directory Electromagnetic Techniques. 2000. № 8. Mode of Access: <http://www.keb.de>. Date of Access: 01.02.2008.
9. Karl, E. Brinkmann GmbH. COMBISTOP KEB (Germany) [Electronic Resource] / E. Karl // Directory Electromagnetic Techniques. 2010. № 3. Mode of Access: <http://www.keb.de>. Date of access: 01.12.2010.
10. Karl, E. Brinkmann GmbH. Electromagnetic Technology (Germany) [Electronic Resource] / E. Karl // Directory Electromagnetic Techniques. 2014. № 2. Mode of Access: <http://www.keb.de>. Date of Access: 01.09.2014.

Поступила 14.12.2015 Подписана в печать 22.02.2016 Опубликовано онлайн 29.11.2016

REFERENCES

1. Aleksandrov M. P., Lysyakov A. G. (1985) *Braking Devices*. Moscow, Mashinostroyeniye. 312 (in Russian).
2. Molchanov Yu. M. (1969) *Electric Motors with Embedded Electromagnet Brake*. Moscow, Informelektro Publ. 61 (in Russian).
3. Guselnikov E. M., Tsukerman B. S. (1971) *Self-Braking Electric Motors*. Moscow, Energiya. 96 (in Russian).
4. Karl E. (2015) Brinkmann GmbH. Electromagnetic Technology KEB (Germany). *Directory Electromagnetic Techniques*, (8). Available at: <http://www.keb.de>. (Accessed 16 October 2015).
5. Solencov V. V., Brel V. V. (2004) Asynchronous Motor with Electromechanical Brake Devices. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (4), 28–32 (in Russian).
6. Solencov V. V., Brel V. V. (2011) Asynchronous Electric Motor with Built-in Combined Braking Device Based on Electro-Mechanical Brake and Electro-Magnetic Clutch. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (6), 20–24 (in Russian).
7. Solencov V. V., Brel V. V. (2013) Mathematical Model of Asynchronous Motor with Embedded Combined Braking Device. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Obedinenii SNG* [Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations], (6), 24–31 (in Russian).
8. Karl E. (2000) Brinkmann GmbH. Combinorm KEB (Germany). *Directory Electromagnetic Techniques*, (8). Available at: <http://www.keb.de>. (Accessed 1 February 2008).
9. Karl E. (2010) Brinkmann GmbH. Combistop KEB (Germany). *Directory Electromagnetic Techniques*, (3). Available at: <http://www.keb.de>. (Accessed 1 December 2010).
10. Karl E. (2014) Brinkmann GmbH. Electromagnetic Technology (Germany). *Directory Electromagnetic Techniques*, (2). Available at: <http://www.keb.de>. (Accessed 1 September 2014).

Received: 14 December 2015 Accepted: 22 February 2016 Published online: 29 November 2016