



ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВодОВ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

О.И. Тихомиров, Н.Н. Калашникова (Компания АВВ)

Электродвигатели появились в нашей жизни 150 лет назад, и с течением времени они постепенно совершенствовались. Однако за последнее десятилетие они пережили период исключительно быстрого технического прогресса. Последняя волна усовершенствований создала предпосылки для значительного сокращения углеродного следа промышленных и бытовых электродвигателей в ближайшем будущем. Сегодня на рынке представлен постоянно расширяющийся ассортимент высокоэнергоэффективных электродвигателей (класса IE3 или выше) и частотно-регулируемых приводов (преобразователей частоты или приводов переменного тока), которые могут быть использованы для управления электродвигателями. Эти решения позволят сократить выбросы углерода в течение следующих 10 лет.

Ключевые слова: электродвигатели, частотно-регулируемые привода, энергоэффективность, промышленность.

По оценкам экспертов, к 2050 г. численность населения мира вырастет до 9,7 млрд. человек с 7,7 млрд. в 2019 г. Ожидается, что за тот же период мировая экономика увеличится более чем вдвое [1]. Урбанизация, автоматизация и повышение уровня жизни приведут к росту мирового спроса на энергию. В настоящее время более половины мирового населения проживает в городах, и, по прогнозам ООН, к 2050 г. численность городского населения в мире увеличится до 68 %. Такой рост ускорит изменение климата и ухудшит качество воздуха и воды, жизненно необходимых для всех живых организмов планеты. Для защиты окружающей среды при таком экономическом развитии необходимо удвоить усилия по сокращению потребления энергии и природных ресурсов.

Мировые тенденции позволяют ожидать значительного увеличения спроса на электрическое управление движением, например на приводные системы, которые работают на основе электродвигателей. По данным МЭА, на промышленность приходится 37 % мирового потребления энергии и 24 % мировых выбросов CO₂, а на строительство — около 30 % потребления энергии и 28 % выбросов CO₂. Большая часть этой деятельности связана с электродвигателями: около 70 % электроэнергии, потребляемой промышленными предприятиями, используется электродвигателями [2], а в коммерческом строительстве они потребляют 38 % всей электроэнергии [3].

Спектр применений электродвигателей

Современные энергоэффективные двигатели в сочетании с частотно-регулируемыми приводами отличаются гибкостью и надежностью, а также

низкими потерями. Это выражается в значительном снижении энергопотребления по сравнению с системами предыдущих поколений.

Электродвигатели малой мощности до 0,75 кВт используются в компрессорах кондиционеров и холодильников, в автомобильных стеклоподъемниках, принтерах, охлаждающих вентиляторах электроприборов и в бесчисленном множестве других самых распространенных устройств. Двигатели средней мощности 0,75...375 кВт используются в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, а также в лифтах, скоростных транспортных средствах, электрических и гибридных автомобилях. Кроме того, они нашли широкое применение в промышленных насосах, конвейерах, вентиляторах и всех видах механических транспортных средств. Электродвигатели большой мощности свыше 375 кВт используются в железнодорожном транспорте, канатных дорогах, судовых двигательных установках и тяжелом оборудовании, например в горнодобывающей и бумажной промышленности.

Хотя двигатели мощностью > 375 кВт составляют лишь 0,03 % всех используемых двигателей, на них приходится около 23 % всего энергопотребления двигателями в мире или 10,4 % всей потребляемой электроэнергии. На двигатели мощностью < 0,75 кВт приходится всего около 9 % потребляемой электродвигателями электроэнергии [4].

Основная часть электроэнергии, а это около 68 %, потребляется двигателями средней мощности 0,75...375 кВт. Кроме того, зачастую эти двигатели работают на полной скорости и потребляют электрическую энергию даже когда не требуется создание момента на валу для работы механизма.



Рис. 1. Шкала оценивания энергоэффективности электродвигателей

Таким образом, потенциальное сокращение энергопотребления и выбросов углекислого газа в этой области имеет огромные масштабы.

Таким образом, потенциальное сокращение энергопотребления и выбросов углекислого газа в этой области имеет огромные масштабы.

Электродвигатели как основа повышения энергоэффективности и сокращения выбросов

Наиболее распространенным типом электродвигателя является асинхронный электродвигатель переменного тока. Современные асинхронные электродвигатели отличаются высокой энергоэффективностью, которая оценивается по шкале, опубликованной Международной электротехнической комиссией (МЭК) (рис. 1). Электродвигатели с классами энергоэффективности IE1 или IE2 относительно неэффективны. Асинхронный электродвигатель переменного тока мощностью 200 кВт, соответствующий классу IE3, имеет КПД около 96 %. Некоторые из недавно установленных электродвигателей соответствуют классу IE4, и их потери энергии примерно на 15 % ниже, чем у двигателей с классом энергоэффективности IE3. Новейшие электродвигатели с классом энергоэффективности IE5 с максимально возможным КПД демонстрируют наивысший на сегодняшний день уровень энергоэффективности. На данный момент почти все установленные электродвигатели имеют класс энергоэффективности IE1 или IE2.

Помимо асинхронных электродвигателей высокой энергоэффективностью синхронные электродвигатели с реактивным ротором, сочетающие характеристики электродвигателя с постоянными магнитами и простоту обслуживания асинхронного двигателя. В отличие от электродвигателей с постоянными магнитами, синхронные электродвигатели не требуют использования компонентов на основе редкоземельных элементов. Эти инновационные электродвигатели способны соответствовать классу энергоэффективности класса IE5, впервые обозначенной в 2016 г. даже при питании от преобразователя частоты (https://webstore.iec.ch/preview/info_iec60034-30-2%7Bed1.0%7Den.pdf).

Замена 80 % установленных сегодня промышленных электродвигателей на двигатели класса IE5 позволила бы сэкономить за год 160 ТВт·ч электроэнергии, что превышает годовой объем электроэнергии, потребляемой в Польше (<https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricityconsumption>).

Еще одна проблема заключается в том, что значительная часть двигателей имеет большую мощность, чем требуется для решения конкретных задач, что приводит к лишним потерям энергии. Установка электродвигателей, мощность которых соответствуют их применению, может привести к значительному повышению энергоэффективности.

Следующая тенденция развития связана с инновациями в области электротранспорта и, как следствие, усовершенствованием конструкции электродвигателей, используемых в приводном механизме.

Электромобиль с питанием от аккумулятора не может получать электроэнергию от сети. Соответственно он должен быть спроектирован таким образом, чтобы минимизировать потери для увеличения запаса хода и мощности. Такая потребность стимулирует постоянный поток новых технологических решений на фоне глобального роста продаж электромобилей, и есть все основания полагать, что эта тенденция сохранится.

Также следует отметить, что современные тяговые технологии и системы хранения электроэнергии позволяют день от дня расширять спектр экологически чистого железнодорожного и городского транспорта, тяжелых транспортных средств и морских судов. В коммерческом судоходстве начинают появляться лодки, не создающие выбросы, и гибридные паромы. На улицах нашей столицы заметно увеличилось число электробусов.

Недооцененная роль частотно-регулируемых приводов

Несмотря на то, что модернизация электродвигателя дает значительное увеличение энергоэффективности, еще большее повышение КПД достигается при использовании электродвигателя в сочетании с частотно-регулируемым приводом.

Частотно-регулируемый привод управляет электродвигателем и оптимизирует его работу путем регулировки скорости и крутящего момента двигателя во время его работы в соответствии с требованиями к нагрузке системы. С правильно выбранным приводом электродвигатель будет работать на такой скорости,

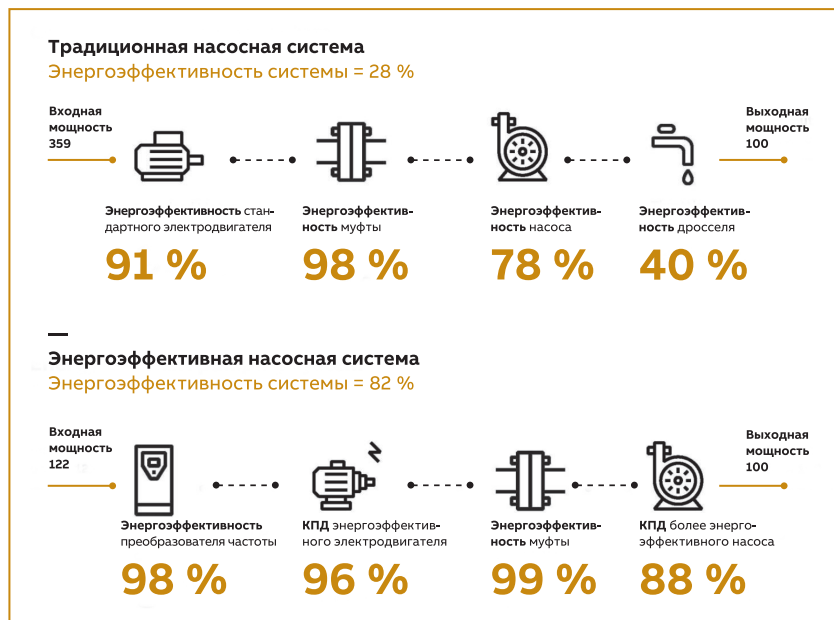


Рис. 2. Повышение эффективности электродвигателя в сочетании с частотно-регулируемым приводом

которая требуется в конкретном случае, что приведет к значительной экономии энергии. Как правило, при подключении частотно-регулируемого привода к электродвигателю насоса, вентилятора или компрессора энергопотребление снижается на 25 % (рис. 2).

Частотно-регулируемые приводы управляют скоростью электродвигателя переменного тока, подавая на него переменное напряжение в форме ШИМ. Самые ранние приводы, разработанные в начале XX века, имели механическую конструкцию. Развитие электроники в последние десятилетия привело к усложнению конструкции и снижению стоимости частотно-регулируемых приводов. Несмотря на эти достижения, их внедрение имеет пока низкие темпы. По оценкам, всего 23 % промышленных электродвигателей в мире в настоящее время оснащено частотно-регулируемыми приводами. Ожидается, что в течение следующих пяти лет этот показатель увеличится до 26 %. Отраслевые эксперты предполагают, что примерно 50 % промышленных электродвигателей выигрывают от работы в паре с частотно-регулируемым приводом.

Многие электродвигатели, не оснащенные частотно-регулируемым приводом, работают на полной скорости даже при минимальной нагрузке. Например, для управления механической мощностью, вырабатываемой электродвигателем в насосном оборудовании, чаще всего используется метод дросселирования. Смысл дросселирования заключается в том, что для снижения подачи воды необходимо уменьшить сечение трубопровода, достигается это закрытием заслонки. При этом давление в системе растет и потребление энергии не снижается. Альтернативой является использование частотного регулирования, что позволяет изменить характеристику насоса без влияния на характеристику системы и существенно снизить потери энергии.

Влияние цифровизации

Еще одним технологическим решением, призванным повысить энергоэффективность всех электродвигателей, является цифровизация (промышленный Internet вещей). Беспроводные датчики, закрепленные на используемых электродвигателях, позволят удаленно контролировать их работу. В сложной промышленной установке или системе отопления, вентиляции и кондиционирования большого здания полученные данные могут способствовать оптимизации процессов, а также значительно повышению энергоэффективности и экономии энергии.

Частотно-регулируемые приводы позволяют управлять электродвигателями дистанционно или даже автоматически, что повышает степень «интеллектуальности» оборудования, дополнительно оптимизирует производительность и экономит энергию. Данные, полученные от датчиков, могут быть проанализированы, а затем использованы центральной системой управления для корректировки параметров всей установки в режиме реального времени.

Стимулы для внедрения высокоэнергоэффективных электродвигателей

Было подсчитано, что если приводное оборудование в каждой из более чем 300 млн. установленных в настоящее время промышленных систем будет заменено на энергоэффективное оборудование, глобальное потребление электроэнергии может сократиться на 10 %. Политика регуляторов стран всего мира является одним из основных факторов, влияющих на промышленные инвестиции в глобальные технологии энергоэффективности. Правильно разработанные правила и меры стимулирования могут сыграть важную роль в продвижении внедрения энергоэффективных электродвигателей. В настоящее время финансовые меры стимулирования работают против быстрого внедрения энергоэффективных электродвигателей.

Другим важным фактором являются сроки окупаемости. Инвестиции в электродвигатели и приводы часто являются привлекательным предложением из-за простоты установки, которая, как правило, не требует каких-либо дополнительных модификаций существующей промышленной системы. Однако сроки окупаемости сильно зависят от цен на электроэнергию. периоды повышения цен можно ожидать увеличения инвестиций в более энергоэффективное оборудование.

Примеры успешных проектов

Рассмотрим некоторые примеры того, как энергоэффективные двигатели приносят экономические и экологические выгоды по всему миру.

В 2018 г. в рамках Индийской национальной программы по замене электродвигателей (NMRP) были проведены пилотные исследования двигателей в городах Ахмадабаде, Сурате, Джамнагаре и Мумбаи. Замена электродвигателей IE1/IE2 на двигатели с классом энергоэффективности IE3 в компрессорах, насосах, вентиляторах и воздуходувках, используемых при производстве латуни, а также в текстильной, химической и автомобильной промышленности, позволила снизить энергопотребление на всех экспериментальных установках. NMRP изучила результаты модернизации 5000 электродвигателей для крупных компаний и предприятий малого и среднего бизнеса по всей стране. Эксперты программы пришли к выводу, что это позволит достичь ежегодной экономии энергии в объеме 9150 МВт·ч, ежегодной экономии средств в размере 902 112 долл. США и ежегодного сокращения выбросов CO₂ на 8050 тонн. По оценкам NRMP, охват рынка страны приведет к экономии энергии в размере примерно 22 млн. МВт·ч и сокращению выбросов на 18,3 млн тонн CO₂ в год (https://copperindia.org/wp-content/uploads/2020/03/VisionDocument_NMRP.pdf).

На сахарном заводе Nordzucker AG в г. Ильцене (Германия) рекуперативные промышленные приводы АВВ используются для работы сахарных центрифуг. Центрифуги играют ключевую роль в процессе производства сахара. Они отделяют кристаллический сахар от липкого сиропа. Двигатели, приводящие в движение центрифуги, должны сначала разгонять их с максимальной скоростью и полным крутящим моментом в течение примерно 15...20 с, а затем как можно быстрее замедлять центрифугу. Частотные приводы позволяют избежать перегрева механизма из-за рассеивания энергии торможения и, за счет встроенного активного выпрямителя, возвращают рекуперативную энергию обратно в сеть, тем самым достигается экономия энергии. Это наиболее эффективный способ из всех способов (https://copperindia.org/wp-content/uploads/2020/03/VisionDocument_NMRP.pdf).

Центр Enercare в Торонто — девятый по величине конференц-центр в Северной Америке. Его площадь составляет > 92 тыс. м². Из-за размеров центра его система обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха расходует более 380 тыс. кВт·ч энергии в год на питание насосов, которые перекачивают воду к отопительному и охлаждающему оборудованию объекта. В 2018 г. 11 больших насосов Enercare были оборудованы современными приводами для систем обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха. Это позволило сократить энергопотребление насосов на 38 % (<https://new.abb.com/drives/media/a-sugarsweet-start>).

Заключение

Технологии, необходимые миру для значительного повышения энергоэффективности, уже разработаны.

Тихомиров Олег Иванович - руководитель направления «Двигатели и генераторы»,
Наталья Николаевна Калашикова - руководитель Учебного центра бизнеса «Электродвижение» компании АВВ.
[Http://www.abb.com](http://www.abb.com)

Многие из них, такие как энергоэффективные электродвигатели и частотно-регулируемые приводы, хорошо зарекомендовали себя в длительной эксплуатации. Ускорение внедрения этих технологий в промышленности, городах и транспорте приведет к значительной экономии энергии во всем мире. Уже по этой причине энергоэффективные электродвигатели и приводы должны заинтересовать мировое сообщество, которое все чаще рассматривает устойчивое развитие в качестве инвестиционного критерия.

Преимущества повышения энергоэффективности выходят далеко за рамки борьбы с изменением климата. Они включают сохранение окружающей среды, обеспечение чистоты воздуха и воды, улучшение здоровья населения, энергетическую независимость и ускорение экономического роста и развития. С начала индустриальной эры повышение энергоэффективности производства всегда приводило к периодам экономического подъема. Благодаря последним технологическим достижениям общество вступает в эпоху, в которой повышение энергоэффективности одновременно способствует и экономическому росту, и защите окружающей среды.

Как ведущий поставщик электродвигателей и частотно-регулируемых приводов низкого и среднего напряжения АВВ часто оценивает влияние производимого ею оборудования на глобальную энергоэффективность. В течение 2020 г. база установленных энергоэффективных двигателей и приводов АВВ позволила сэкономить 198 ТВт·ч электроэнергии (что в три раза превышает годовое потребление электричества Швейцарии). По оценкам экспертов, к 2023 г. увеличение базы установленных электродвигателей и приводов АВВ поможет потребителям дополнительно сэкономить 78 ТВт·ч электроэнергии в год, что немного больше, чем годовой объем потребляемой электроэнергии в Чили.

Список литературы

1. *Guillemette, Y. and D. Turner* (2018), "The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060," OECD Economic Policy Papers, No. 22, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b4f4e03e-en>.
2. *Fong J.; F. Ferreira; A.M. Silva; and A.T. De Almeida*, IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide // *Inventions*, 2020, 5, 20, <https://www.mdpi.com/2411-5134/5/2/20/>.
3. *Waide P. and C.U. Brunner*, Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems // *International Energy Agency working paper*, Paris, 2011.
4. *Stoffel B.*, The role of pumps for energy consumption and energy saving, 2015, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electric-energy-consumption>.