

## **КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО МЕХАНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ НА СОВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ**

**Колесников И.К.**

профессор

Ташкентский государственный транспортный университет

[kolesnikov\\_Igor@list.ru](mailto:kolesnikov_Igor@list.ru)

**Хакимов С. Х.**

ассистент

Ташкентский государственный транспортный университет

[sanjarhakimov3955@gmail.com](mailto:sanjarhakimov3955@gmail.com)

**Каршиев К. Т.**

ассистент

Ташкентский государственный транспортный университет

[karimberdiqarshiyev@gmail.com](mailto:karimberdiqarshiyev@gmail.com)

### **АННОТАЦИЯ**

*В статье рассмотрен выбор обобщенного критерия эффективности электропривода железнодорожного подвижного состава, который обеспечивает правильность расчетов параметров систем управления. Проанализированы показатели качества автоматизированного электропривода железнодорожного подвижного состава и сделан вывод по использованию обобщенного критерия эффективности для эксплуатации железнодорожного транспорта в оптимальном режиме.*

**Ключевые слова:** *энергосбережения, тяговый электропривод, асинхронный тяговый двигатель, энергоэффективность, оптимизация, автоматизированный электропривод, критерий эффективности, показатель качества.*

### **ABSTRACT**

*The article considers the choice of a generalized criterion for the efficiency of the electric drive of railway rolling stock, which ensures the correctness of calculations of the parameters of control systems. The quality indicators of the automated electric drive of railway rolling stock are analyzed and a conclusion is made on the use of a generalized efficiency criterion for the operation of railway transport in an optimal mode.*

**Keywords:** *energy saving, traction electric drive, asynchronous traction motor, energy efficiency, optimization, automated electric drive, efficiency criterion, quality indicator.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Тяговый электропривод в современном электроподвижном составе (ЭПС) представляет собой сложную систему, которая очень тщательно анализируется и оптимально состоит из компонентов, которые взаимодействуют с энергетическими показателями. Для достижения оптимальной производительности привода важно сделать конструкцию основных компонентов привода (электродвигателя, силового преобразователя, тягового трансформатора и системы управления приводом) неотделимой от конструкции всей системы привода. При таком подходе на стадии проектирования требуется достаточно подробно смоделировать требуемые циклы движения транспортного средства и смоделировать систему электропривода и ее компоненты, чтобы найти решение, которое обеспечит требуемую производительность. Параметры и характеристики компонентов электропривода, определенные таким образом, могут быть использованы в качестве ограничений для проектирования компонентов. Это итеративный процесс, который может иметь конкретные цели оптимизации характеристик транспортного средства с точки зрения первоначальной стоимости оборудования, потребления энергии во время эксплуатации или стоимости жизненного цикла (LCC) транспортного средства. LCC очень часто является выбранным методом для определения экономических преимуществ транспортного средства, поскольку оно включает его первоначальную стоимость, потребление энергии в период эксплуатации и затраты на техническое обслуживание.

Основные показатели качества можно разделить на: материально-структурные, функциональные, потенциальные, системные. Первый показатель определяет внутреннее строение системы электропривода, второй показатель определяет элементы системы, состоящие из асинхронного двигателя и системы управления; третий определяет потенциальные возможности системы. Кроме этого, функциональные показатели асинхронного электропривода можно разделить на технические и экономические показатели: надежность, экономичность, а также на: эстетические и экологические показатели безопасности [1].

Обобщенный критерий эффективности тягового электропривода, должен обеспечивать все показатели качества. Так как экстремальные значения показателей не реализуются одновременно, то должно быть найдено такое решение, которое бы удовлетворяло средним значениям критерия эффективности. Это условие можно реализовать применением не только электропривода, но и системы управления с векторной оптимизации. В

настоящее время анализ показателей качества автоматизированного электропривода подробный анализ отсутствует, отсутствует и методика выбора критерий оптимальности [2].

Наиболее важные возможности повышения энергоэффективности электроподвижного состава, касающиеся экономии энергии, и увеличения диапазона рабочих характеристик локомотива при заданных начальных ресурсах. Некоторые из возможностей, которые должны обеспечить такой прогресс в настоящее время, заключаются в следующем:

- Использование энергии при торможении
- Использование отработанной тепловой энергии
- Дополнительное питание от солнечных батарей
- Усовершенствованная система механической передачи энергии
- Улучшенная конструкция корпуса электровоза
- Повышение эффективности силовых преобразователей
- Специальная конструкция электрических двигателей
- Использование конденсаторов нового поколения, топливных элементов и батарей нового поколения

• Выбор маршрута по критерию минимального потребления в режиме реального времени

• Мониторинг параметров внутри и снаружи ЭПС и компьютеризированное управление системой с оптимизацией энергопотребления [3].

Сегодня проблема энергетики становится настолько важной, что целая отрасль обращается к чистой, возобновляемой энергии (солнечная энергия, энергия ветра и т.д.). Прототипы гибридных транспортных средств с объявлением о массовом производстве, запланированном на ближайшее будущее, стали повседневными происшествием. Кроме того, многие электровозы спроектированы так, чтобы использовать только электричество в качестве движущей силы, что сводит выбросы к нулю.

Выбор методов и средств повышения энергоэффективности машин и технологий с асинхронным электроприводом является актуальнейшей задачей и ему посвящено множество публикаций в учебной и научно-технической литературе. Перечислим и рассмотрим более подробно основные принципы экономии энергии в электроприводе и средствами электропривода [4,5].

Разделим возможные ситуации на две большие группы:

- регулирование скорости не используется;
- нерегулируемый электропривод заменяется регулируемым.

В первой группе основная возможность влиять на энергетические процессы – правильный выбор основного оборудования, в первую очередь, электродвигателя и редуктора, если он используется, а также применение некоторых мероприятий, снижающих потери.

Важным резервом энергосбережения служит правильный выбор основного электрооборудования в простейшем самом массовом и энергоемком нерегулируемом электроприводе.

Европейские эксперты считают, что средний коэффициент использования двигателей (отношение средней мощности за цикл к номинальной) составляет 0,6.

Создан пакет программ для массового электропривода переменного тока, позволяющих решать задачи выбора и проверки асинхронных двигателей, оценивать их характеристики при отклонении напряжения от нормы, определять срок службы в различных условиях их работы и т. д.

Уменьшение потерь в питающих сетях это проблема потерь мощности возникает за счет низкого, особенно при малых нагрузках, коэффициента мощности, в силу чего, ток протекающий в питающих линиях, трансформаторах, выше тока, связанного с активной мощностью, следовательно, выше и потери в линиях. Проблема компенсации реактивной мощности традиционно пользуется большим вниманием в отечественной практике. Найдены и применяются различные технические решения (переключаемые конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы, фильтр-компенсирующие устройства и т. д.).

Однако большинство этих приемов ориентированы на нерегулируемый, а иногда и сильно недогруженный электропривод с асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором. Достижимый эффект может оказаться несопоставимо меньше убытков от использования нерегулируемого электропривода. К другим способам энергосбережения в нерегулируемом электроприводе можно отнести: снижение времени холостого хода; переключение обмоток по схемам  $\Delta$ – $Y$  на время холостого хода или малых нагрузок; изменение типа торможения в электроприводах с частыми пусками и торможениями [6].

Переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому является генеральным направлением энергосбережения, принятым во всем мире и дающим наибольший эффект как в части экономии электроэнергии, так и в других показателях технологического процесса.

Для этого в силовой канал включается дополнительный элемент – преобразователь электрической энергии, подающий к асинхронному двигателю напряжение с регулируемой амплитудой и частотой. В результате обеспечивается подача конечному потребителю необходимой мощности  $P_{ввх}$  и исключаются большие потери в задвижке [7].

Следует подчеркнуть, что в рассматриваемом случае наряду с главным эффектом – существенным снижением потерь в технологической машине, обслуживаемой электроприводом, и в других элементах силового канала достигается ряд дополнительных, часто не менее важных эффектов: рационализируется весь технологический процесс, экономятся другие ресурсы, увеличивается срок службы основного оборудования, снижается шум и т. д.

Здесь особенно существенен выбор рационального с технической и экономической точек зрения способа управления величиной (величинами), образующей мощность, потребляемую технологической машиной.

Сейчас ситуация радикально изменилась: на рынке появились совершенные и доступные электронные преобразователи частоты. Они выпускаются десятками зарубежных и отечественных фирм, имеют практически одинаковую структуру (выпрямитель – фильтр – автономный широтно- импульсный инвертор (ШИМ – инвертор)) и развитую систему микропроцессорного управления, обеспечивающую широкие функциональные возможности, надежную защиту привода и другие пользовательские функции. Именно эти устройства произвели переворот в современном электроприводе и стали основными (и пока практически единственным) средствами реализации высококачественного регулируемого асинхронного электропривода в массовых применениях.

Становятся малоэффективными и многоскоростные асинхронные двигатели. Они тяжелы, дороги, требуют много переключающей аппаратуры, стоимость привода соизмерима со скоростью системы преобразователь частоты – серийный двигатель.

Итак, система «электронный преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» становится главным на ближайшие годы техническим решением массового регулируемого электропривода. Она особенно привлекательна на стадии модернизации, так как сохраняется все существующее оборудование, но между сетью и двигателем включается новый элемент – преобразователь частоты, радикально меняющий весь технический и экономический облик системы [8].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.**

Эффективность электропривода по затраченной энергии на совершение работы зависит от нижеследующих требований:

1. Надежность должно обеспечиваться не менее 15 тыс. часов безотказной работы.

2. Требуемая по техзаданию точность поддержания стабильности регулируемых величин – электромагнитного момента, скорости, перемещения. Наибольшая точность (прецизионная) – 0,01%.

3. Повысить энергетическую эффективность – расход энергии на получение технологического продукта при заданном качестве. Например, киловатт-часов на одну тонну продукции. Показатель задается ЭП в зависимости от назначения привода.

4. Увеличить ресурсоемкость. Чем выше качество показателя, тем больше затраты. Например, точно и медленно – наименьшая ресурсоемкость, точно и быстро – средняя, точно, быстро и надежно – наибольшая.

Оптимизация тягового привода по своей природе представляет собой смешанное целое число нелинейный программный тип много объектной задачи проектирования. Основными конкурирующими целями являются размер (и, следовательно, стоимость) компонентов привода (двигателя и инвертора) и общее потребление энергии в заданном цикле движения[9].

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР (REFERENCES)**

1. Zoran Stević, Mirjana Rajčić-Vujasinović, Supercapacitors as a Power Source in Electrical Vehicles, Book title: Electric Vehicles – The Benefits and Barriers / Book 1, Edited by: Seref Soylu, Intech, Rijeka (2011).
2. Мачулин, П. С. Современные проблемы разработки электропривода / П. С. Мачулин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 10 (114). — С.273-275.
3. Нос О.В. Оптимальное векторное управление асинхронным двигателем по критерию минимума токов статора /О.В. Нос // Электротехника, электромеханика и электротехнология ЭЭЭ – 2007: материалы третьей научно – тех. конф. с международным участие – Новосибирск; НГТУ, 2007. – 79 – 85.
4. Akhmedov, A., Sauchuk, G., Yurkevich, N., Khudoyberganov, S., Bazarov, M., & Karshiev, K. (2021). The influence of production conditions on the electrophysical parameters of piezoceramics for different applications. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 264, p. 04020). EDP Sciences.

5. Каюмов, С. Н., & Хакимов, С. Х. (2022). Энергосберегающие технологии контактов электрических аппаратов в энергетическом строительстве.
6. Akhmedov, A. P., Khudoyberganov, S. B., & Yurkevich, N. P. (2021). Innovative public transport stop with autonomous power supply. In *ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОДНОМ, КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ* (pp. 181-184).
7. Yusupov, D., Kutbidinov, O., Samadov, S., & Abdullaev, E. (2021). Investigation of factors influencing the operational characteristics of traction transformers. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 274, p. 13007). EDP Sciences.
8. Козярук, А.Е. Методы и средства повышения энерго эффективности машин и технологий с асинхронными электроприводами / А.Е. Козярук, Б.Ю. Васильев //
9. Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 1. – С. 47–53. DOI: 10.14529/power150106
10. Yusupov D.T, Qutbidinov O.M, Samatov Sh.A, Abdullaev E.S / Investigation of winding faults of traction transformers / *Earth and Environmental Science* 2021. [doi:10.1088/1755-1315/868/1/012026](https://doi.org/10.1088/1755-1315/868/1/012026)