

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

М.Н. Хасянов, И.А. Красозов, магистранты  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
г. Томск, Россия  
tomskhmn@gmail.com

В настоящее время эффективность работы энергосистемы РФ достаточно низка, так как большой и малой энергетике присущи некоторые особенности:

- невозможность накопления электроэнергии в больших количествах;
- потребление электроэнергии в течение суток крайне неравномерно;
- экономически выгоднее, чтобы станции работали в расчетных номинальных режимах, а не в переходных режимах, которые характеризуются большими потерями и низким КПД и в которых работает большинство энергоблоков;
- наличие разветвленных сетей (большой энергетике), на обслуживание и ремонт которых затрачиваются немалые средства.

Решением этой проблемы является использование либо нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ), либо аккумулирующих устройств.

Для аккумулирования энергии все еще широко используются различного типа электрохимические накопители, которым присущи свои недостатки, среди которых можно выделить недолговечность. Поэтому очень важно найти альтернативу таким накопителям, которые отвечали бы определенным требованиям – это долговечность, надежность, габариты.

Одним из них может стать механический накопитель на базе маховика, совмещенный с электрической машиной, работающей и как двигатель, и как генератор (электрохимический накопитель).

Долгое время данные накопители энергии на базе маховика не находили широкого применения из-за не высоких показателей эффективности их работы[2]. Но за последние десятилетия за счет внедрения новых технологий ситуация изменилась, и сейчас они находят все большее применение в различных областях.

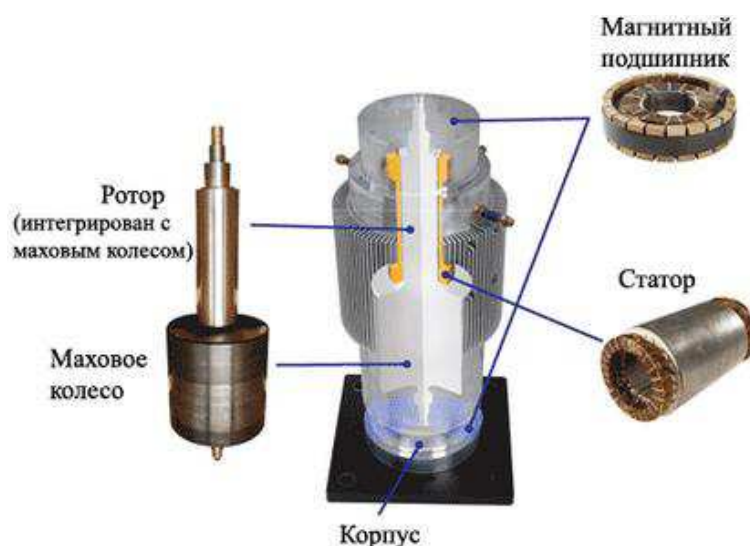


Рисунок 1. Электрохимический накопитель энергии VYCON

Такое устройство способно как запасать и хранить механическую энергию, но также и преобразовывать и отдавать ее в форме электрической энергии для дальнейшего

использования. Запасается, как правило, кинетическая энергия вращательного движения маховика, который при заряде электромеханического накопителя раскручивается от источника механической энергии. При разряде запасенная механическая энергия преобразуется в электрическую с помощью электродвигателя, работающего в режиме генератора. Получается, что электромеханический накопитель состоит из трех конструктивно объединенных частей – маховика, электродвигателя и генератора.

Устройства механического накопителя, совмещенного с электрической машиной, начали изучаться с конца 70-х годов XX века. За это время появились сверхпрочные и легкие материалы, повысились характеристики постоянных магнитов, магнитных подшипников, электроники. Это приводит к тому, что современные механические накопители обладают большой энергоемкостью и способностью быстро отдавать запас энергии. Использование этих технологий позволяет внедрять электромеханические накопители в различные устройства.

К сожалению, маховики чувствительны к сотрясениям и поворотам в плоскостях, отличных от плоскости вращения, поскольку при этом возникают огромные гироскопические нагрузки, стремящиеся погнуть ось. К тому же время хранения накопленной маховиком энергии относительно невелико и для традиционных конструкций обычно составляет от нескольких секунд до нескольких часов. Далее потери энергии на трение становятся слишком заметными. Впрочем, современные технологии позволяют кардинально увеличить время хранения - вплоть до нескольких месяцев.

Преимущество электромеханических накопителей заключается в высокой экологичности и долговечности, простоте технического обслуживания, и самой высокой удельной мощности из всех типов аккумуляторов энергии [1].

Согласно исследованиям, проведенным в Ливерморской лаборатории, современные электромеханические накопители энергии обладают существенным преимуществом над другими видами систем аккумулирования в эффективности восстановления энергии (кВт·ч на разряд по отношению кВт·ч на заряд). КПД в них превышает 95 %, что значительно лучше, чем любая свинцово-кислотная батарея. Удельная величина запасенной энергии при этом может достигать 5–10 кВт/кг, что в несколько десятков раз выше, чем у электрохимических батарей.

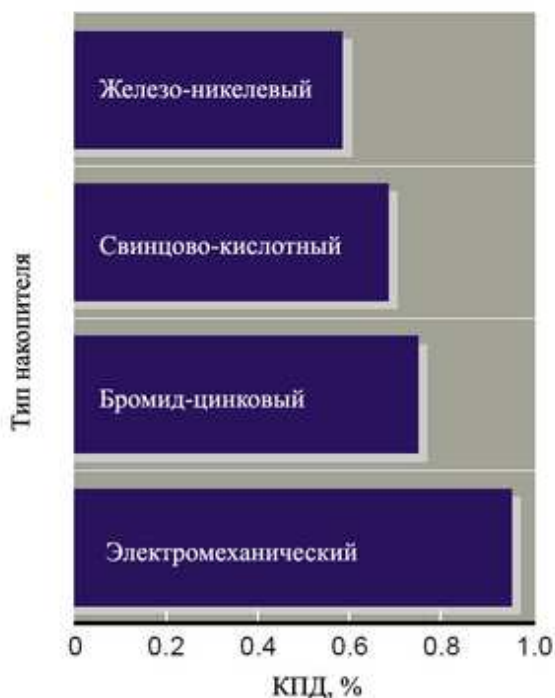


Рисунок 2. Сравнительные характеристики КПД некоторых типов накопителей.

Наконец, ещё один неприятный момент - запасённая маховиком энергия прямо зависит от его скорости вращения, поэтому по мере накопления или отдачи энергии скорость вращения всё время меняется и может достигать десятков тысяч оборотов в минуту. В то же время в нагрузке очень часто требуется стабильная скорость вращения, не превышающая нескольких тысяч оборотов в минуту. По этой причине чисто механические системы передачи энергии на маховик и обратно могут оказаться слишком сложными в изготовлении, как, например, многие конструкции вариаторов, позволяющих передавать большую мощность (несколько киловатт и более, для передачи меньших мощностей конструкция вариатора существенно упрощается - вплоть до ремня с раздвижными конусными шкивами). Иногда упростить ситуацию может электромеханическая передача с использованием мотор-генератора, размещённого на одном валу с маховиком или связанного с ним жёстким редуктором. Но тогда неизбежны потери энергии на нагрев проводов и обмоток, которые могут быть гораздо выше, чем потери на трение и проскальзывание в хороших вариаторах.

Особенно перспективны так называемые супермаховики, состоящие из витков стальной ленты, проволоки или высокопрочного синтетического волокна. Навивка может быть плотной, а может иметь специально оставленное пустое пространство. В последнем случае по мере раскручивания маховика витки ленты перемещаются от его центра к периферии вращения, изменяя момент инерции маховика, а если лента пружинная, то и запасая часть энергии в энергии упругой деформации пружины. В результате в таких маховиках скорость вращения не так прямо связана с накопленной энергией и гораздо стабильнее, чем в простейших цельнотельных конструкциях, а их энергоёмкость заметно больше. Помимо большей энергоёмкости, они более безопасны в случае различных аварий, так как в отличие от осколков монолитного маховика, по своей энергии и разрушительной силе сравнимых с пушечными ядрами, обломки пружины обладают гораздо меньшей «поражающей способностью» и обычно достаточно эффективно тормозят лопнувший маховик за счёт трения о стенки корпуса. По этой же причине и современные цельнотельные маховики, рассчитанные на работу в режимах, близких к пределу прочности материала, часто изготавливаются не монолитными, а сплетёнными из тросов или волокон, пропитанных связующим веществом.

Современные конструкции маховиков с вакуумной камерой вращения и магнитным подвесом супермаховика из кевларового волокна обеспечивают плотность запасённой энергии более 5 МДж/кг, причём могут сохранять кинетическую энергию неделями и месяцами. Однако пока они существуют лишь в виде экспериментальных экземпляров или опытных партий. По оптимистичным оценкам, использование для навивки сверхпрочного «суперкарбонового» волокна позволит увеличить скорость вращения и удельную плотность запасаемой энергии ещё во много раз – до 2–3 ГДж/кг (обещают, что одной раскрутки такого маховика весом 100–150 кг хватит для пробега в миллион километров и более, т.е. на фактически на всё время жизни автомобиля!). Однако стоимость этого волокна пока также во много раз превышает стоимость золота.

Основные преимущества электромеханических накопителей:

- высокая удельная мощность;
- высокая удельная плотность запасенной энергии;
- отсутствие влияния циклов заряда-разрядов на срок эксплуатации, длительный срок эксплуатации махового колеса;
- не требуется периодическое обслуживание;
- масштабируемость;

- низкое воздействие на окружающую среду.

В таблице приведены значения удельного энергосодержания некоторых современных накопителей энергии.

Таблица 1. Удельное энергосодержание накопителей

Накопитель энергии	Удельное энергосодержание, Вт·ч/кг
Электрические конденсаторы	до 5
Кислотно-свинцовые аккумуляторы	40
Никелевые металл-гидридные аккумуляторы	80
Жидкий азот	100-200
Литые стальные маховики	До 15
Супермаховики из углепластиков, стальных лент	100–200

Как видно из таблицы, применяя современные технологии, среди которых прочные и легкие материалы, магнитные подшипники, можно добиться серьезных значений удельного энергосодержания у механических накопителей.

Электромеханические накопители энергии применяются в электроэнергетической отрасли при создании пиковых электроустановок, предназначенных для включения в промышленные сети и компенсирующих резкие пики и спады потребления энергии, в качестве источников резервного питания. Обладая высокой удельной мощностью, электромеханические накопители способны быстро передавать и запасать энергию, что способствует их дальнейшему внедрению в электроэнергетику.

#### **Список литературы:**

1. Бут Д.А., Алиевский Б.Л., Мизюрин С.Р., Васюкевич П.В. Накопители энергии. – М.: Букинист, 1991. 400 с.
2. Гулиа Н. В. Накопители энергии. — М.: Наука, 1980