

УДК 531.8

**АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ РЕКУПЕРАТИВНЫХ  
СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЕРЦИОННЫХ (МАХОВИЧНЫХ)  
АККУМУЛЯТОРОВ**

**Виктор Владимирович Кобзев<sup>1</sup>**

студент

[kobzonv@yandex.ru](mailto:kobzonv@yandex.ru)

**Владимир Юрьевич Ланцев<sup>1</sup>**

доктор технических наук, доцент

[Lan-vladimir@yandex.ru](mailto:Lan-vladimir@yandex.ru)

**Михаил Андреевич Рязанов<sup>2</sup>**

студент

[mikheyev@mgau.ru](mailto:mikheyev@mgau.ru)

<sup>1</sup>Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

<sup>2</sup>Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина

г. Тамбов, Россия

**Аннотация.** В статье представлен анализ тенденций развития исследований и создания технических средств с системами рекуперации энергии. Представлены основные направления применения маховиков, которые нашли наибольшее распространение в высокотехнологичных отраслях промышленности. Выявлены основные требования к созданию систем аккумуляции энергии: плавность изменения передаточного числа; высокая передаваемая мощность; широкий диапазон передаточного числа; возможность рекуперации кинетической энергии.

**Ключевые слова:** рекуперация энергии, маховик, маховичные технологии, аккумулятор энергии.

Использование маховиков в технике известно давно. Маховик – это достаточно простой и эффективный способ аккумуляции энергии и возможность развивать огромные мощности за малый промежуток времени. Внедрение высоких технологий, новых сверхпрочных материалов и микропроцессорной техники позволило перевести использование маховиков из разряда эпизодических и эксклюзивных технических новшеств в разряд интенсивно развивающейся индустрии машиностроения [4].

В настоящее время применение маховиков наблюдается в высокотехнологичных отраслях промышленности (космическая, военная промышленность, современное автомобилестроение, тяжелая строительная техника, железнодорожный транспорт, электроэнергетика). Маховики используются как источники и накопители механической энергии, в системах рекуперации энергии, для сглаживания пиковых нагрузок, т.е. можно говорить о применении в названных отраслях, так называемых, «маховичных технологий», представляющих собой набор технических средств и технологических решений обеспечивающих эффективное функционирование различных систем аккумуляции и рекуперации с использованием кинетической энергии маховиков. Применение маховичных технологий в данных отраслях является развивающимся направлением.

Из множества рекуперативных систем, получивших наибольшее распространение, выделяются два основных направления [1-3]:

- системы рекуперации энергии для машинных агрегатов с внешним источником питания (например – электроприводной транспорт, лифтовое хозяйство, складские порталы и др.);

- системы рекуперации энергии для машинных агрегатов с индивидуальным (собственным) источником питания (например – автомобильный транспорт с ДВС или гибридными двигателями).

Принцип рекуперации (возврата) энергии основан на использовании «холостой» энергии машинного агрегата на совершение полезной работы.

Общим элементом данных систем является аккумулятор энергии (в основном – электрический или инерционный).

Актуальность внедрения маховичных технологий подтверждается рядом национальных стандартов США и европейской программы ЕС (Директива 96/61/ЕС) по применению концепции ВАТ (Best Available Techniques – лучшие имеющиеся технические средства), где определены требования к гибридным автомобильным двигателям, ветроэнергетическим агрегатам и силовым трансмиссиям.

В настоящее время наблюдается повсеместное внедрение рекуперативных систем с использованием инерционных (маховичных) аккумуляторов. Наиболее явно данная тенденция прослеживается в автомобильном транспорте и производстве ветроэнергетических установок.

Мировыми лидерами в данном направлении являются американские авиационные и автомобильные корпорации «Локхид» и «Крайслер», немецкие – «БМВ» и «Кларк», швейцарская – «Эрликон», японская – «Тойота». Специалистами перечисленных фирм разработаны и внедрены в производство различные элементы и системы маховичных технологий: гибридные двигатели на базе ДВС; высокооборотистые силовые агрегаты и элементы трансмиссии; маховичные аккумуляторы; электронные системы управления и др.

Довольно широкое распространение маховичные накопители энергии получили в электроэнергетике.

Фирма AFS Trinity выводит на рынок источники бесперебойного питания Flywheel Power System, предназначенные для корпоративного применения. Маховичные накопители серий М3 и М4 могут хранить 420-2000 кВт энергии и выдавать 650-900 вольт постоянного напряжения в течение 15-25 секунд. Кинетические ИБП можно объединять в сети, повышая, таким образом, надёжность системы питания.

Компания SatCon Power Systems предлагает линейку накопителей Starsine, обеспечивающих поддержку питания в течение 12 секунд. Модели различаются энергоёмкостью (315-2200 кВА) и выходным напряжением (380-

4160 вольт). Их монолитные стальные маховики вращаются со скоростью 1800-1980 об/мин и начинают отдавать энергию через две секунды после падения напряжения в сети. Правда, выработка напряжения начинается ещё позже, спустя 5-6 секунд, когда сработает система сцепления, и запустится генератор.

Американская компания Beacon Power, основанная в 1997 году, сделала большой шаг в этом направлении, создав целую линейку тяжёлых стационарных супермаховиков, предназначенных именно для включения в промышленные энергосети. Самые свежие разработки компании: маховичные накопители Smart Energy 6 и Smart Energy 25 (рис.1), с объёмом накапливаемой энергии в 6 и 25 киловатт-часов соответственно, и с мощностью (которая может ими поглощаться или вырабатываться) в 2 и 200 киловатт [1, 7].

Маховики накопители энергии Beacon вращаются со скоростью от 8 000 до 16 000 об/мин. имеют эффективность заряда/разряда 85 процентов и ожидаемый срок службы 20 лет. При 16 000 об/мин один маховик Smart Energy 25 может развивать 25 киловатт-часы (кВтч) извлекаемой энергии при уровне мощности 100 кВт в течение 15 минут.



Рисунок 1 - Маховик накопитель энергии Smart Energy 25

Разработки в области маховичных накопителей энергии ведутся и в NASA. Маховики давно применяются для управления положением спутников, теперь же аэрокосмическое агентство намеревается добавить гироскопам космических аппаратов ещё одну функцию - аккумулялирования энергии.

В Исследовательском центре имени Гленна и Космическом центре Джонсона создана маховичная энергетическая установка для МКС, заметно превосходящая использовавшиеся ранее никель-водородные аккумуляторы. Маховики могут запасать 5,5 кВт·ч энергии против 4,6 кВт·ч у электрохимических аккумуляторов, при этом срок их службы оценивается в 15 лет, а батарей - в 5-6 лет.

Существует механический инструмент, использующий энергию вращающегося маховика и обладающий свойством безинерционности – маховичная дрель или гайковёрт (патент № 207648).

Применение маховичных накопителей наблюдается и в железнодорожном транспорте. Британская компания Parry People Movers выпустила самоходные пассажирские вагоны с гибридным приводом. Маховики также используются для накопления энергии в вагонах метро.

В России представляют интерес разработки Московского государственного индустриального университета (МГИУ) и Курского государственного технического университета (КГТУ) [3, 5, 6, 8]. Большую работу в этом направлении проделал доктор технических наук Гулиа Нурбей Владимирович [2].

Однако, применение маховичных накопителей в нашей стране пока находится в зачаточном состоянии, на уровне экспериментальных образцов.

Развитие маховичных технологий сдерживается высокими требованиями к ним:

- высокая энергонасыщенность маховичных аккумуляторов при максимальном снижении их массы;
- плавность изменения передаточного числа. Передаточное число трансмиссии должно изменяться бесступенчато и плавно;
- высокая передаваемая мощность. Трансмиссия должна быть эффективной по всему широкому диапазону скоростей;
- широкий диапазон передаточного числа для обеспечения рационального регулирования скорости агрегатов;

- возможность рекуперации кинетической энергии. Обмен кинетической энергией между маховиком и агрегатом должен быть обратимым.

### Список литературы:

1. Баркова, А.А. Маховик как накопитель и аккумулятор энергии // В сборнике: Высокие технологии и инновации в науке. Сборник избранных статей Международной научной конференции, 2020. - С. 114-117.
2. Гулия Н.В. Удивительная механика: В поисках «энергетической капсулы». М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 176 с.
3. Двигатель-маховик с цифровым управлением для высокодинамичных космических аппаратов/ В.Н. Кубрак, В.Н. Кузьмин, В.В. Некрасов, И.В. Соколуни, М.Ю. Щетинин // В книге: Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты. Труды МКЭЭЭ-2016. С. 114-115.
4. Кучев Д.Н., Новиков Д.С. Маховик // Молодежная наука в развитии регионов, 2017. Т. 1. С. 276-279.
5. Война А.А., Бережной С.Б. Маховик с изменяемой геометрией и усовершенствованным зубчатым механизмом // В сборнике: ИННОВАЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ, НАУКА. Сборник статей Международной научно-практической конференции, 2016. С. 29-32.
6. Современные сеялки точного высева как интеллектуальные мехатронные системы / А.А. Завражнов, В.Ю. Ланцев, Б.С. Мишин, И.А. Елизаров, Н.И. Крецу // В сборнике: Цифровизация агропромышленного комплекса. Сборник научных статей II международной научно-практической конференции в 2-х т.. 2020. С. 401-407
7. Попов И.П. Электромагнитный маховик для ориентирования орбитальных объектов // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России, 2019. № 2 (142). С. 15-17.
8. Contemporary energy storage sources. Energy saving [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/46/130/46130088.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/130/46130088.pdf),  
свободный. – (дата обращения: 10.03.2022)

**UDC 531.8**

**ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT DIRECTIONS OF  
RECUPERATIVE SYSTEMS WITH THE USE OF INERTIA (FLYWHEEL)  
BATTERIES**

**Viktor V. Kobzev<sup>1</sup>**

student

[kobzonv@yandex.ru](mailto:kobzonv@yandex.ru)

**Vladimir Yu. Lantsev<sup>1</sup>**

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

[Lan-vladimir@yandex.ru](mailto:Lan-vladimir@yandex.ru)

**Mikhail A. Ryazanov<sup>2</sup>**

student

[mikheyev@mgau.ru](mailto:mikheyev@mgau.ru)

<sup>1</sup>Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

<sup>2</sup>Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Tambov, Russia

**Annotation.** The article presents an analysis of trends in the development of research and the creation of technical means with energy recovery systems. The main areas of application of flywheels, which are most widely used in high-tech industries, are presented. The main requirements for the creation of energy storage systems are identified: smoothness of gear ratio change; high transmitted power; wide range of gear ratio; possibility of recovery of kinetic energy.

**Key words:** energy recovery, flywheel, flywheel technologies, energy accumulator.

Статья поступила в редакцию 29.03.2022; одобрена после рецензирования 11.04.2022; принята к публикации 12.05.2022.

The article was submitted 29.03.2022; approved after reviewing 11.04.2022; accepted for publication 12.05.2022.