

УДК 620.92

## СУПЕРМАХОВИКИ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Каранкевич В.В., Таранчук А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

В последнее время в энергетике все большее внимание уделяется вопросам аккумулирования энергии. В условиях предстоящего ввода АЭС и существенного увеличения базовых генерирующих мощностей в Беларуси регулирование суточного графика усложнится.

Выходом может быть применение аккумуляторов энергии, которые будут выдавать энергию при пиковых нагрузках и аккумулировать электроэнергию в другое время суток при спаде нагрузки, а также участвовать в режиме регулирования частоты в сети.

Известны различные виды аккумулирующих систем: гидро- и пневмо-аккумулирующие станции; тепловые аккумуляторы; батареи; аккумуляторы на сверхпроводниках; суперконденсаторы и пр.

До последнего времени практически единственным приемлемым типом аккумулирования энергии считались гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), которые используются с начала XX века. В часы минимальной нагрузки системы агрегаты ГАЭС работают в насосном режиме, перекачивая воду из нижнего водохранилища в верхнее, а в часы максимальной нагрузки системы они работают в турбинном режиме, сбрасывая воду из верхнего водохранилища и вырабатывая тем самым дополнительную электроэнергию для покрытия пиковых нагрузок. Недостатки ГАЭС: большие капиталовложения, затопление больших территорий и вредное воздействие на природные экосистемы, необходимость в большой разности высот водохранилищ, относительно низкие КПД гидродожима и выработки электроэнергии.

В последнее время многие фирмы, такие как *Siemens* (Германия), *Urenco Power Technologies* (Великобритания), *Beacon Power* (США) проводят исследования сравнительно нового вида аккумуляторов энергии: супермаховиков [1, 2]. При этом используется накопленный этими фирмами опыт в области высокооборотных центрифуг для ообгащения урана. По такому показателю, как удельная емкость энергии (кВт·ч/кг) супермаховики вышли на первое место. При этом их срок службы намного больше, чем, например, у батарей.

Например, в Исследовательском центре имени Гленна и Космическом центре Джонсона создана маховичная энергетическая установка для международной космической станции (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 [2]. С июля 2000 г. *Siemens* испытывает на одной из действующих линий трамвая в Кёльне длиной 20 км опытный высокооборотный инерционный аккумулятор энергии мощностью 600 кВт [2].

Супермаховик способен запасать больше энергии на единицу массы (5–15 МДж/кг или 1.4–4.17 кВт·ч/кг), чем все известные накопители энергии – электрохимические аккумуляторы, конденсаторы, пружины и пр. Это объясняется тем, что супермаховик можно разогнать до огромных скоростей, причём «зарядка» такого накопителя происходит очень быстро [1].

По данным исследований *Beacon Power* потеря энергии, закачанной и позднее забранной из этих накопителей, составляет 2 %, что заметно лучше, чем у систем хранения энергии, основанных на иных принципах (химические аккумуляторы, ГАЭС).

Компания *Active Power* выпускает накопители *CleanSource*, в которых маховики объединены с мотором/генератором в один агрегат [1]. Компания *Active Power* подписала

*OEM* соглашение с *GE* в декабре 2005 года на внедрению маховиков в источники бесперебойного питания, выпускаемые *GE*.

Накопители энергии на базе маховиков обладают рядом существенных преимуществ перед химическими аккумуляторами: они более компактны, могут работать в широком диапазоне температур, чрезвычайно надежны и не требуют ремонта в течение 15–20-летнего срока эксплуатации, имеют более высокий КПД [1].

Для покрытия пиковых нагрузок в энергосистеме и участия в общем, первичном регулировании частоты (ОПРЧ) сети *Beacon Power* предлагает применять целые кластеры маховичных накопителей с соответствующей управляющей электроникой, которые обладают высокой пиковой мощностью и могут очень быстро реагировать на скачки частоты в подключённой к ним сети [3].

Этот проект *Beacon Power*, названный *Smart Energy Matrix*, будет представлять собой 18-тонный контейнер, содержащий 10 маховичных накопителей *Smart Energy 25*, с продолжительной суммарной мощностью в 1 МВт (на короткое время в несколько минут – до 2 МВт), и с накапливаемой энергией – до 250 кВт·ч (рисунок 1). Время реакции системы на изменение частоты сети – порядка 5 миллисекунд.

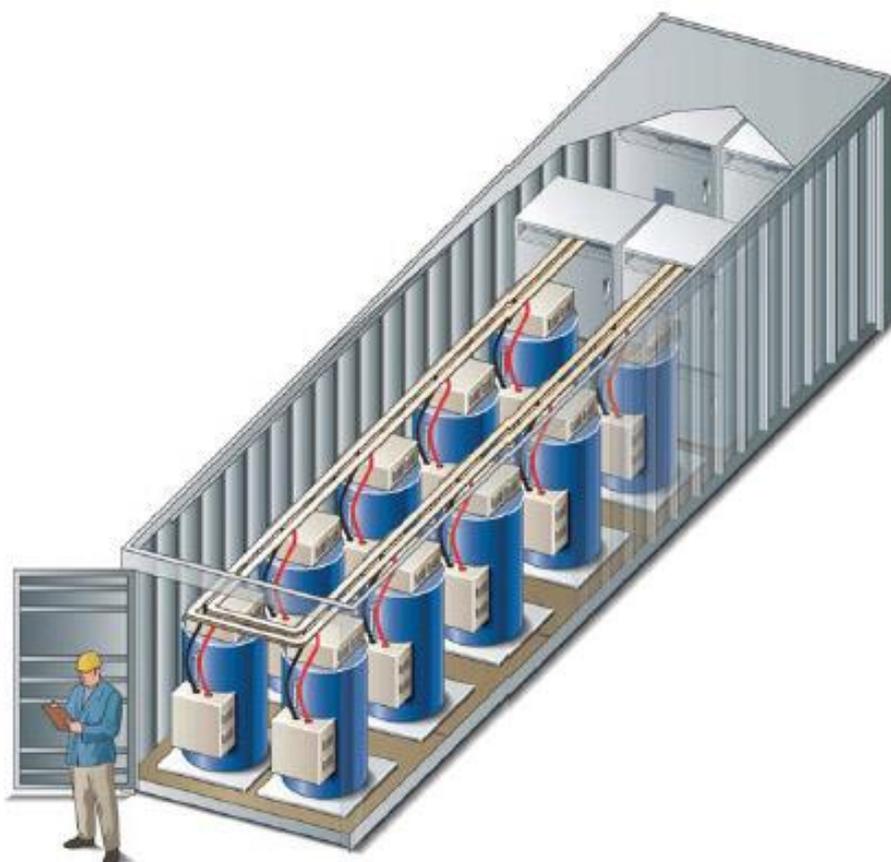


Рисунок 1 – Контейнер с цилиндрическими накопителями *Beacon Power* с цилиндрическими маховиками внутри

Накопители, разработанные *Beacon Power*, представляют собой цилиндрические ёмкости, высотой примерно в рост человека (следующие модели будут выше), внутри которых на активных магнитных подшипниках и подвешены супермаховики (рисунок 2). Выполнены они из огромного числа слоёв углеволоконного композита, так что могут раскручиваться до 22,5 тысяч оборотов в минуту. Вес их составляет сотни килограммов, а вместе с корпусом – более тонны. На стальном валу маховика внутри герметичного стального цилиндра, установлен ротор высокоэффективной обратимой электрической машины – мотора-генератора (она выполнена на постоянных магнитах), который и раскручивает маховик при приёме энергии и вырабатывает ток – при подключении нагрузки [3].

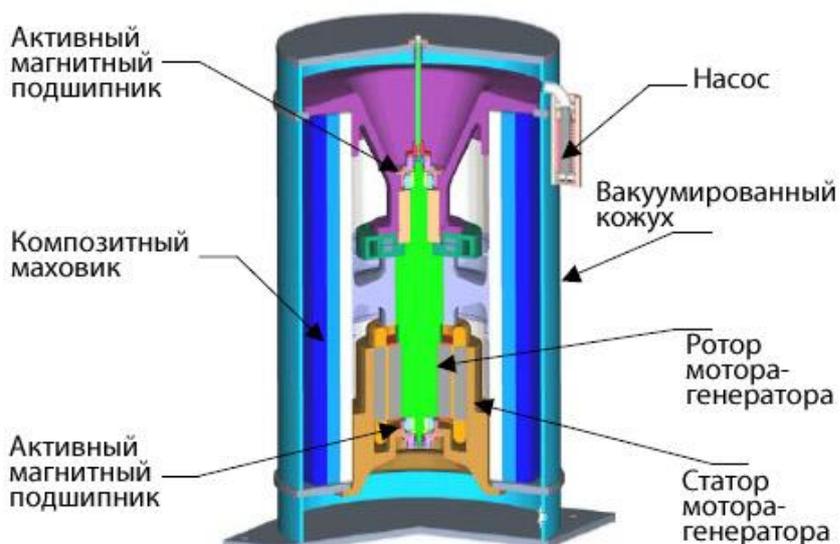


Рисунок 2 – Устройство супермаховичного накопителя *Beacon Power Smart Energy*

В 2011 году компания *Beacon Power* построила в городе Стивентаун, штат Нью-Йорк, первый в мире кластер из 200 маховичных накопителей с суммарной мощностью 20 МВт. Регулирующий завод суммарным запасом энергии 5 МВт·ч и временем подключения в сеть всей пиковой мощностью – менее 4 секунд занимает со всем сопутствующим оборудованием площадь всего 20 соток [3].

В случае использования подобных аккумуляторов для регулирования частоты и мощности блоки АЭС будут работать в базовом режиме, а, следовательно, с наивысшим коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ). Установка 500 МВт аккумулирующих мощностей эквивалентна строительству нового блока АЭС в 1000 МВт, а стоимость одного блока колеблется в диапазоне 1,5–1,6 млрд. долларов США [15]. Стоимость аккумуляторов оценивается на уровне 400–500 \$/кВт установленной мощности [4], и это при сроке монтажа не более 3–4 месяцев.

Аккумуляторы энергии на базе супермаховиков могут быть также использованы для: аварийного электропитания систем безопасности АЭС и других промышленных объектов, требующих надежного резервирования электропитания; источника электропитания электромобилей, электропоездов, водных судов и других транспортных средств; источников бесперебойного электропитания в быту и промышленности [1].

#### Литература

1. Наиболее эффективные способы аккумулирования энергии и перспективы использования технологии аккумулирования энергии в атомной отрасли / В.Н. Нуждин, А.А. Просвирнов // ВНИИАЭС – Федеральное агентство по атомной энергии ФГУП «ЦНИИАТОМИНФОРМ» Центр «Атом-инновация» - Материалы инновационного форума РОСАТОМА – Июнь, 2007 год Москва. <http://refdb.ru/look/1283386-p3.html>.
2. Аккумуляторы энергии в тяговом электроснабжении // *International Railway Journal*, 2001, №4, р. 42 – 43.
3. Попов, Л. Вращающаяся армия бережёт 60 герц стабильного электричества // <http://www.membrana.ru/particle/3111>
4. Ali Nourai, “Comparison of the Cost of Energy Storage Technologies for T&D Applications” Based on EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for T&D Applications, 2004, [www.electricitystorage.org](http://www.electricitystorage.org).