Черкашин И.В.¹, Новичков С.В.¹, Прописнов Н.А.¹, Бурденкова Е.Ю.²
Супермаховик как средство аккумуляции внепиковых излишков электроэнергии

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

²Саратовский научный центр РАН
(Россия, Саратов)

doi:10.18411/lj-09-2018-104

idsp: 000001:lj-09-2018-104

Аннотация

Различные аккумуляторы электрической энергии используют для заряда избыточную электроэнергию в режиме внепиковой нагрузки. Затем в режиме пиковой нагрузки они разряжаются, отдавая вырабатываемую электроэнергию в сеть.

Ключевые слова: режим пиковой нагрузки, режим внепиковой нагрузки, аккумуляторы энергии, энергоёмкость маховика

В современном динамично развивающемся мире с каждым годом всё больше возрастает потребность в электроэнергии. По этой причине ведутся работы по созданию мощных, экологически чистых и безопасных систем генерации электрической энергии. Однако опыт эксплуатации энергетических систем показывает, что энергию необходимо не только вырабатывать, но и уметь аккумулировать, запасать для её более грамотного и экономичного использования и передачи на большие расстояния. В работе объединённых электросетей есть два условных режима – режим пиковой нагрузки и внепиковой нагрузки. Утром и в течение целого дня потребность в электроэнергии максимальна, заметных провалов в её потреблении нет, и электростанции стабильно работают на полной мощности, а вся выработанная энергия используется без остатка. Это и называется режимом пиковой нагрузки. Ночью же потребление электричества заметно снижается, но электростанции так же работают на полной мощности, по причине того, что её снижение невыгодно с экономической точки зрения и очень нежелательно вследствие особенностей конструкции самих электростанций. Такой режим называется внепиковым. Эта особенность вынуждает искать пути аккумуляции излишков электрической энергии. Здесь на помощь приходят преобразователи и аккумуляторы различных видов энергии.

Одним из устройств накопления энергии, известных с древнейших времён, является маховик. В классическом исполнении он представляет собой массивное вращающееся колесо, насаженное на ось, предназначенное для аккумуляции кинетической энергии.

Однако у обычного маховика есть существенное ограничение скорости вращения и количества запасаемой энергии. Это связано с тем, что при превышении допустимой скорости вращения диска маховика происходит его разрыв на отдельные крупные части, как результат действия центробежных сил и разбалансировки маховика, что является большой опасностью и приводит к серьёзным повреждениям всей установки с маховиком. Это обстоятельство вынуждает создавать маховики с очень большим значением запаса прочности, что приводит к снижению его общей эффективности и сильному удорожанию. Следствием этого является малая, по сравнению с другими видами аккумуляторов энергии удельная энергоёмкость обычного маховика.

Решение проблемы низкой энергоёмкости маховика нашёл талантливый советский учёный Нурбей Владимирович Гулия. В 1964 году он разработал так называемый супермаховик. Отличие его конструкции от обычного монолитного маховика состоит в том, что супермаховик наматывается на ось вращения из тонкой стальной ленты или же полимерных материалов, которые обладают значительно большей удельной прочностью, чем цельнолитая деталь, поэтому и предельная скорость вращения, и удельная энергоёмкость такого маховика значительно выше, чем у классического монолитного

маховика. По экспериментальным данным энергоёмкость составляет $500 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$, или же $1,8 \text{ МДж/кг}$ [1]. Помимо этого, в случае разрыва супермаховика не образуется крупных и опасных осколков, так как первым отрывается внешний конец ленты, который тормозится о внешний кожух маховика, благодаря чему маховик безопасно останавливается.

Современный супермаховик представляет собой конструкцию, состоящую из герметичного барабана-кожуха, внутри которого располагается ось с намотанной на неё тонкой пластичной лентой, изготовленной из стекловолокна или композитных материалов. Ось вращения с маховиком устанавливается на магнитных подвесах (так называемых магнитных подшипниках), которые не соприкасаются с осью, а внутри барабана-кожуха создаётся вакуум, таким образом маховик вращается в подвешенном состоянии и не происходит потерь аккумулируемой энергии на трение поверхностей, благодаря чему коэффициент полезного действия (КПД) маховика достигает 98%-99% [6], что является рекордом на настоящий момент.

Наиболее перспективно применение супермаховика для выравнивания суточной неоднородности графика электрической нагрузки промышленной электроэнергетики. Первоначально эта технология получила развитие в США. Начиная с 1997 года американская компания Beacon Power занимается проектированием и созданием аккумулирующих станций с большими стационарными маховиками в качестве аккумулятора энергии. Предназначены эти станции именно для включения в промышленные электросети и аккумуляции внепиковой электроэнергии. Компанией разработан целый ряд установок, мощностью от 100 кВт, до нескольких мегаватт [1], [2]. Энергоёмкость маховика зависит от его массы. Принцип работы такой установки основан на обратимости и взаимозаменяемости электрических машин благодаря их одинаковой конструкции, его можно пояснить на примере работы электродвигателя: электродвигатель постоянного тока будучи отключён от внешнего питания продолжает вращаться по инерции и при этом сразу же переходит в режим электрогенератора, так как в нём возникают электродвижущая сила, в результате кинетическая энергия движения преобразуется в электрический ток. Электромотор разгоняет маховик до скорости от 16000 до 22000 оборотов в минуту, таким образом заряжая его [2]. А в режиме разряда уже маховик вращает ротор электромотора, который преобразует кинетическую энергию в электрическую. Благодаря герметичному корпусу с вакуумом исключаются потери энергии на трение. Высота цилиндра от 2 до 3 метров [1]. Вся конструкция является модульной, поэтому мощность аккумулирующей станции зависит от количества супермаховиков, то есть можно создавать станции практически любой мощности. И при этом модули могут транспортироваться, что делает станцию ещё и мобильной, так как всё оборудование модуля, содержащего 10 маховиковых накопителей, мощностью 1 МВт помещается в морской транспортный контейнер [1]. КПД модуля, как уже было сказано выше, достигает 98%. По заявлению конструкторов, супермаховик способен выполнять более 175000 циклов заряд – разряд, а расчётный срок службы всего модуля составляет не менее 20 лет [2]. К достоинствам станции относятся её экологическая чистота и безопасность, большой срок службы, чувствительность к колебаниям электросети и способность быстро реагировать на изменения в ней. Возводить станцию можно на любой территории. Аккумулирующие модули оборудованы средствами управления качеством и мощностью электроэнергии, способны работать полностью независимо друг от друга, что позволяет очень быстро синхронизироваться с электросетью [2]. Аккумулирующая станция промышленного значения, мощностью 20 МВт построена в штате Пенсильвания и успешно эксплуатируется [1]. Важным экономическим показателем работы станции является удельная стоимость сохранённой энергии. Для этой станции он составляет порядка 300 долларов за киловатт-час энергии [3]. Это большое значение по сравнению со стоимостью электричества, выработанного на тепловых станциях, однако при массовом строительстве маховиковых станций удельная стоимость энергии должна значительно

снизится. Аналог этой системы создала российская компания «Kinetic Power» под руководством самого Нурбея Гулии. Конструкция установки и принцип работы полностью повторяет американскую систему, однако сейчас в России станция аккумулирования на основе супермаховиков вызывает больший интерес, чем в США, поэтому в настоящий момент планируется строительство экспериментальной аккумулирующей станции с супермаховиками.

Реализация проекта во многом зависит не от его эксплуатационных характеристик, а от экономической выгоды и себестоимости всей технологии в целом [3].

Следует отметить, что описанная система аккумуляции электроэнергии требует больших капиталовложений для её создания. По расчётам специалистов компании Kinetic Power станция промышленного масштаба мощностью 500 МВт будет стоить 1,5 миллиарда долларов, что эквивалентно постройке одного энергоблока атомной электростанции мощностью 1000 МВт [3].

1. Попов, Л. «Вращающаяся армия бережёт 60 герц стабильного электричества» // <http://www.membrana.ru/particle/3111>.
2. Официальный сайт компании «Beacon power». <http://beaconpower.com/>.
3. Наиболее эффективные способы аккумулирования энергии и перспективы использования технологии аккумулирования энергии в атомной отрасли / В.Н. Нуждин, А.А. Просвиринов // ВНИИАЭС – Федеральное агентство по атомной энергии ФГПУ «ЦНИИАТОМИНФОРМ» Центр «Атом-инновация» - Материалы инновационного форума РОСАТОМА – Июнь, 2007 год Москва. <http://refdb.ru/look/1283386-p3.html>.
4. Водно-энергетические и водохозяйственные расчеты: Учебное пособие по курсу "Теоретические основы энергетики возобновляемых источников". В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин и др./Под ред. В. И. Виссарионова. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. С. 6 – 54.
5. «Технология накопления энергии ARES» <https://www.facte.eu/energiya/tekhnologiya-nakopleniya-energii-ares>.