

ее элементов. При испытаниях модель была опробована на путях различного профиля (ровная дорога, уклоны) и в различных режимах движения (вперед, назад) и их комбинациях. Все испытания были проведены успешно, в том числе подхват едущего назад с горки электромобиля и режим реверса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анучин А.С.** Разработка системы управления многофазного вентильно-индукторного привода с промежуточным регулируемым звеном постоянного тока: Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Москва, 2004.
2. **Амелькин А.В.** Оптимизация способов управления вентильно-индукторным двигателем на электрическом транспорте в тормозном режиме: Автореф. дис. ... канд. техн. наук, Москва, 2004.
3. **Вентильно-индукторный электропривод.** – Доклады научно-практического семинара. – М.: Изд-во МЭИ, 2006.
4. **Байрыева Л.С., Прокопович А.В.** Теория электрической тяги: Методическое пос. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.
5. **Фисенко В.Г., Попов А.Н.** Проектирование вентильно-индукторных двигателей: Методическое пос. – М.: Изд-во МЭИ, 2005.
6. **Розенфельд В.Е., Исаев И.П., Сидоров Н.Н.** Теория электрической тяги: Учебник для вузов ж.-д. трансп., 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983.
7. **Основы** электрического транспорта: Учебник для студентов О-75 высш. учеб. заведений/Под общ. ред. М.А. Слепцова. – М.: Изд. центр «Академия», 2006.
8. **Кузнецов В.А., Кузьмичев В.А.** Вентильно-индукторные двигатели. – М.: Изд-во МЭИ, 2003.

Авторы: Слепцов Михаил Александрович окончил факультет электрооборудования и автоматизации промышленности и транспорта Московского энергетического института (МЭИ) в 1963 г. Защитил кандидатскую диссертацию «Исследование характеристик тиристорных, применяемых на электрическом транспорте». Профессор кафедры электрического транспорта МЭИ.

Климов Владимир Иванович окончил физический факультет МГУ в 1979 г. Защитил кандидатскую диссертацию «Резонанс в квантово-механической системе трех тел». Заместитель генерального директора ФГУП ВЭИ по спецтехнике.

Маматов Александр Игоревич окончил Институт электротехники МЭИ в 2010 г. Аспирант кафедры электрического транспорта МЭИ.

Москалев Максим Викторович окончил Институт электротехники МЭИ в 2010 г. Ведущий инженер отделения специальных систем электроснабжения ФГУП ВЭИ. Аспирант кафедры электрического транспорта МЭИ.

* * *

Возобновляемые источники энергии

ХУДЯКОВ В.В.

Представлен обзор материалов периодической печати, касающихся возобновляемых источников энергии. Подробно рассмотрены электроустановки с использованием энергии ветра и солнца, накопители энергии, аккумуляторы, а также тепло- и электрозапасные устройства.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, накопители энергии, аккумуляторы, электро- и теплозапасные установки

Энергия ветра. Ветрогенератор (ВГ) является наиболее популярным и активно развиваемым источником возобновляемой энергии. Ветрогенератор приводится во вращение ветротурбиной (ВТ), установленной на опоре – все это в комплексе можно назвать ветроэнергетической (электрической) установкой (ВЭУ). Такие установки могут располагаться либо на суше (наземные), либо в море (морские). В ВЭУ применяют индукционные явнополюсные тихоходные генераторы, которые соединяются с валом ветротурбины через коробку передач [1]. Материал опоры – сталь (на бетонном фундаменте), материал лопастей – стекловолокно

A review of information on renewable sources of energy published in periodicals is given. Power installations using wind and solar energy, energy storage devices, accumulators, as well as heat and electricity storage devices are considered in detail.

Key words: renewable sources of energy, energy storage devices, electricity and heat storage installations

или углеродистое волокно. Ветротурбина автоматически поворачивается в сторону ветра, лопасти турбины поворачиваются для изменения угла атаки в зависимости от силы и направления ветра.

Мощность ветрогенератора пропорциональна скорости ветра в кубе. Турбина начинает выдавать мощность при скорости ветра 19 км/ч и достигает номинальной мощности при 45–48 км/ч. При дальнейшем росте скорости ветра регулятор скорости ограничивает выработку мощности, а при скорости 80 км/ч он останавливает турбину во избежание поломок. Теоретический КПД турбины 59%, однако фактическая мощность турбины составляет

10–40% номинальной мощности. Индукционный ветрогенератор потребляет при работе реактивную мощность. Поскольку скорость ветра и мощность ветрогенератора непрерывно меняются, то для присоединения ветрогенератора к электрической сети применяются преобразователи напряжения, которые обеспечивают как компенсацию реактивной мощности, так и регулирование напряжения и активной мощности, выдаваемой ветрогенератором в систему. Одиночные ветрогенераторы редко используются для электроснабжения потребителей распределительной сети, а десятки и сотни ветрогенераторов, объединенные в так называемые ветрофермы или ветроэлектростанции (ВЭС), присоединяются к питающим сетям. Каждый ВГ присоединяется к шинам подстанции с помощью кабеля, который называется коллектором (в США – это шины 34,5 кВ). Морские ВГ подключаются к подстанции через кабели постоянного тока.

Для ВЭС необходима достаточно большая площадь: 20 га/МВт. Ряды ВЭУ располагаются перпендикулярно преимущественному направлению ветра. Расстояние между опорами в ряду составляет четыре диаметра ротора, а между рядами – 10 диаметров ротора. Например, в Техасе (США) ВЭС занимает площадь 40469 га, имеет 627 ВЭУ мощностью 781,5 МВт. Стоимость сооружения – более 1 млрд USD [8]. Энергетическая готовность, т.е. использование установленной мощности ветрогенератора в течение года, составляет 35–40% по данным за 2005 г. Готовность составляет 95–98%. Стоимость энергии ВЭС в настоящее время в США – 3–5 цент/кВтч, т.е. сравнима со стоимостью энергии ТЭС на угле.

Мощность одной наземной ВЭУ выросла за период с 1980 по 2008 гг. с 50 кВт до 3,6 МВт. Американские специалисты считают, что при мощности больше 3,6 МВт затраты на транспортировку и монтаж наземной ВЭУ будут чрезмерно высоки и не оправдают экономии на укрупнении агрегата.

В настоящее время проводится модернизация ВЭС за счет увеличения мощности единичного ВГ и привода. Отказ от коробки передач, т.е. переход на прямой привод без промежуточного звена позволяет значительно снизить вес ВГ и упростить эксплуатацию. Предлагается также применение теплой сверхпроводимости в изоляции ротора ВГ для увеличения его мощности в тех же габаритах. Норвежская компания Sway AS спроектировала ВГ мощностью 10 МВт с диаметром ротора 145 м и высотой оси ротора (высотой опоры) 160 м для установки в море в Оегарден в 2013 г. [2].

Минэнерго США выпустило в 2008 г. доклад, предписывающий увеличить выработку электроэнергии с помощью ВЭУ с 2% всей выработки в

2008 г. до 20% в 2030 г., для чего были введены кредиты на стоимость электроэнергии от ветрогенераторов [1]. Установленная мощность ВЭУ в США в январе 2011 г. составляла 40180 МВт.

Энергия солнца. Преобразование солнечной энергии в электрическую проводится с помощью следующих способов:

с использованием фотоэлементов (ФЭ) – непосредственное преобразование солнечной энергии в электрическую; на выходе ФЭ при его освещении появляется постоянное напряжение;

с помощью солнечного водонагревателя, или концентратора солнечной энергии (КСЭ) – преобразование солнечной энергии в тепловую. Солнечные лучи с помощью зеркал концентрируются на емкости с теплоносителем; теплота может использоваться непосредственно для нужд потребителя, либо теплоноситель может нагревать воду, превращать ее в пар, который может вращать турбогенератор, выдающий переменное напряжение.

Рассмотрим различные виды преобразователей солнечной энергии в электрическую.

1. *Фотоэлемент из кристаллического кремния (КК).* Кремний легируется бором и фосфором для получения *pn*-перехода. Солнечное излучение представляет собой поток фотонов – частиц, обладающих нулевой массой покоя и движущихся со скоростью, равной скорости света в вакууме. Фотоны попадают на полупроводник и поглощаются его атомами, так что энергия фотонов передается электронам вещества. При этом возникает вентильный фотоэффект в *pn*-переходе: возникают пары свободных зарядов (электронов и дырок), которые разделяются электрическим полем *pn*-перехода: электроны переходят преимущественно в *n*-полупроводник, а дырки – в *p*-полупроводник. В результате дырочный полупроводник заряжается положительно, а электронный – отрицательно. Между ними возникает разность потенциалов, и при включении на выходе нагрузки в ней начинает течь постоянный ток [3]. Толщина пластинки кремния КК фотоэлемента составляет 170–200 мкм. Пластинка полупроводника, освещенная солнцем, представляет собой генератор постоянного тока подобно аккумулятору. Коэффициент полезного действия КК фотоэлемента – около 20%.

2. *Тонкопленочный фотоэлемент (ТП).* Это следующий более новый тип ФЭ. Активный слой ТП представляет собой пленку толщиной 2–3 мкм из теллурида кадмия или интерметаллического соединения меди, иридия, галлия, селена. Этот ФЭ более легкий, требует меньше материала, его можно изгибать, что позволяет изготовить более удобную конструкцию, он дешевле, чем КК ФЭ. Пленку ТП можно нанести на зеркало параболической формы

из стали или пластмассы. Его недостаток – меньший КПД – всего 11% [3].

3. *Многослойный фотоэлемент с концентрацией солнечных лучей (МК)*. В этом ФЭ применяется многослойная структура из элементов III и V групп периодической системы. Пример такого ФЭ приведен на рис. 1 [3]: верхний слой – фосфид галлия и индия, средний – арсенид галлия и индия, а нижний – германий. ФЭ этого типа может иметь КПД до 40%, потому что каждый слой поглощает и использует только определенную полосу солнечного спектра. Этот ФЭ достаточно дорогой, потому что дороги элементы III и V групп периодической системы. Стоимость этого ФЭ можно уменьшить, если применить концентрацию солнечных лучей на маленькой площади ячейки с помощью дешевых линз и зеркал. Например, если линза диаметром 250 мм фокусирует лучи солнца на ячейке диаметром 12,5 мм, то коэффициент концентрации будет равен $400 (250 : 12,5)^2$. Такой ФЭ будет преобразовывать солнечную энергию как и ФЭ с ячейкой диаметром 250 мм без линзы. Модуль из 12 ячеек ФЭ может быть использован для требуемой мощности в сборке [3].

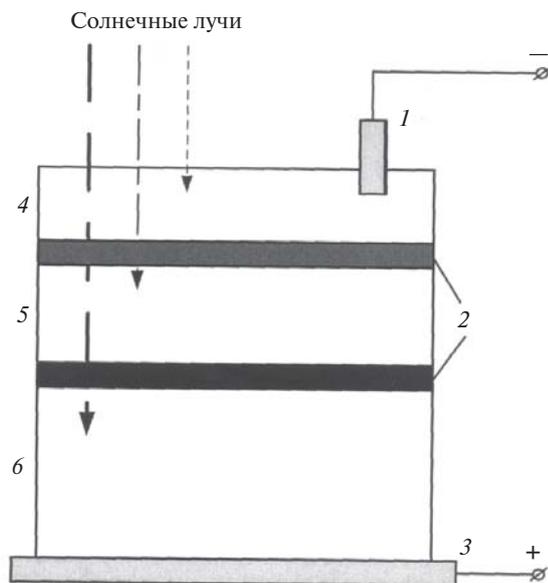


Рис. 1. Схема трехслойного фотоэлемента: 1 – металлическая сетка (верхний контакт); 2 – туннельные переходы; 3 – нижний контакт; 4 – слой GaInP; 5 – слой GaInAs; 6 – слой Ge (©[2009] IEEE)

4. *Будущие ФЭ третьего поколения*, которые разрабатываются в настоящее время, будут представлять собой усовершенствованный вариант МК, имеющий КПД до 40,8% при коэффициенте концентрации, равном 326. Такой многослойный ФЭ состоит из слоев: GaInP/GaAs/GaInAs.

Поскольку ФЭ вырабатывает постоянный ток, он может применяться либо для питания осветительной нагрузки, либо для зарядки аккумулятора

электромобиля. Для питания нагрузки переменного тока последовательно с ФЭ должен быть включен инвертор. Для практического использования ФЭ устанавливают на раме, которая автоматически поворачивается вслед за движением солнца, обеспечивая освещение плоскости фотоэлемента перпендикулярно солнечным лучам. Фотоэлементы ТП или МК устанавливают таким образом, чтобы солнечные лучи проникали через линзы, обеспечивающие концентрацию света на ячейках ФЭ.

Фотоэлементы КК устанавливают также на плоских крышах домов для питания местной нагрузки. Удельная мощность выработки электроэнергии таким фотоэлементом на единицу его площади составляет 638 Вт/м^2 . Стоимость установки ФЭ – $4,2 \text{ USD/Вт}$ [4].

5. *Солнечный водонагреватель, или концентратор солнечной энергии (КСЭ)* представляет собой установку, состоящую из нескольких зеркал, концентрирующих солнечные лучи на теплоприемнике, который превращает солнечную энергию в теплоту. Применяются четыре вида КСЭ: параболические (корытные), линейные, башенные (центральные) и тарелочные. Принцип работы этих КСЭ один и тот же, они отличаются только конструктивным выполнением зеркал, отражающих солнечные лучи. Удельная мощность КСЭ составляет 50 Вт/м^2 .

Схемы отражателей различных типов КСЭ приведены на рис. 2 [3]. Все типы КСЭ состоят из нескольких параллельных отражателей.

Схема параболического КСЭ приведена на рис. 2,а [3]. Ряд длинных параллельных отражателей параболической формы размещаются на большой площади на рамах. В фокусе каждого отражателя помещена труба – теплоприемник, заполненный теплоносителем, чаще всего высокотемпературным маслом. Теплоприемники переносят масло в бак, где оно отдает тепло воде через теплообменник. Вода превращается в пар, который поступает на лопатки паровой турбины, вращающей генератор. Часть масла отбирается и поступает в теплозапасующие баки, где оно может храниться и использоваться в пасмурные дни или ночью.

Некоторые КСЭ используются в гибридных электростанциях, на которых применяются газовые

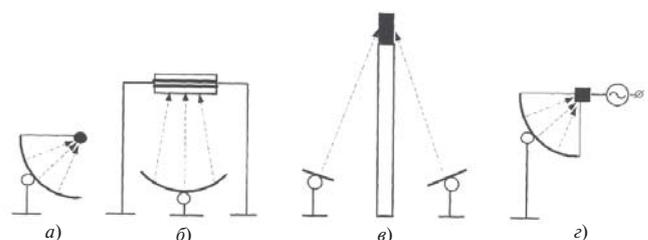


Рис. 2. Схемы различных типов КСЭ: а – параболический отражатель (корыто); б – линейный; в – башенный (центральный) отражатель; г – тарелочный отражатель; ●, ■ – теплоприемник (©[2009] IEEE)

нагреватели или газопаровые подогреватели. Наиболее крупная установка такого типа в США имеет мощность 80 МВт.

Тарелочный отражатель размещен на раме, которая автоматически отслеживает движение солнца. В солнечных батареях КСЭ применяются теплозапасующие элементы (ТЗЭ), которые позволяют использовать запасенное днем солнечное тепло в пасмурные дни или ночью. В качестве теплоносителя применяется либо расплавленный нитрат, либо песок. В настоящее время в США энергия солнечных батарей для населения и коммерческих предприятий стоит 15 цент/кВтч. Ожидается, что к 2015 г. установленная мощность КСЭ в США достигнет 4 ГВт, и тогда тариф на электроэнергию солнечных батарей снизится до 10 цент/кВтч. В октябре 2010 г. компания BrightSource Energy в США приступила к сооружению СЭС в Калифорнии мощностью 392 МВт с тремя солнечными башнями высотой 140 м каждая общей стоимостью 1,4 млрд USD. Две фирмы США получили разрешение на сооружение СЭС мощностью 1000 МВт, соединенную ВЛ 230 кВ с энергосистемой Калифорнии при удельной площади 2,84 га/МВт [8].

Применение солнечных батарей. Германия занимает первое место в мире по общей мощности установленных солнечных батарей – 3800 МВт в 2007 г., 8900 МВт – в 2010 г. [5]. Всего в Германии в 2007 г. было установлено 34 ГВт ВИЭ, в том числе: ВЭС – 22,2 ГВт, ФЭ – 3,8 ГВт, ГЭС – 4,7 ГВт, электростанции на биомассе – 3,2 ГВт. Солнечные батареи применяются большей частью на плоских кремниевых фотоэлементах (КК). Достаточно хорошо проработаны вопросы режимов работы ФЭ в системе. Фотоэлементы могут устанавливаться на крышах зданий и монтироваться на земле.

В 2007 г. в Японии было установлено ФЭ мощностью 1928 МВт [6]. Организация развития новых энергетических и технических установок Японии (NEDO) разработала несколько проектов для демонстрации внедрения ФЭ в энергосистемы Японии. Наиболее значительные установки: в г. Охта для электроснабжения частных домов и в г. Вакканай – для более крупных потребителей. Схема проекта СЭС Вакканай приведена на рис. 3 [6]. Всего в этом проекте должны быть установлены ФЭ общей мощностью 5 МВт. Там же установлены натрий-серные аккумуляторы мощностью 1,5 МВт и электрохимический конденсатор мощностью 1,5 МВт.

Разработки фотоэлементов в России. В ВЭИ им. В.И. Ленина были проведены работы по использованию фотовольтарического эффекта (ФВЭ). Были разработаны кремниевые высоковольтные многопереходные преобразователи (КВМП), в которых

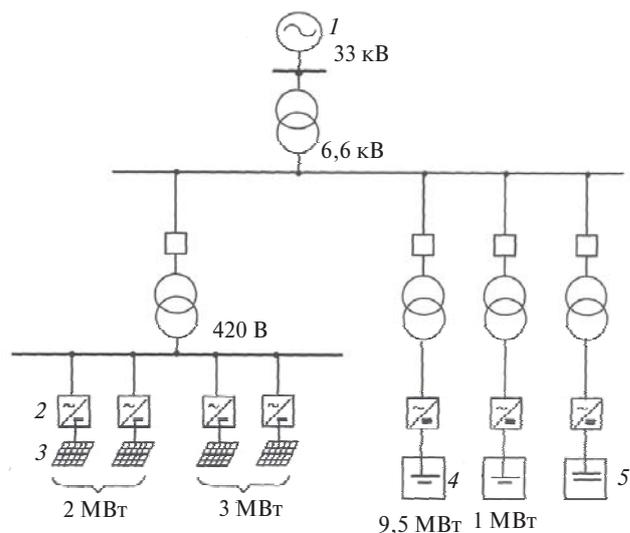


Рис. 3. Схема СЭС Вакканай в Японии: 1 – питающая сеть; 2 – инвертор; 3 – ФЭ; 4 – аккумулятор; 5 – электрохимический конденсатор (©[2009] IEEE)

солнечное излучение поступает на световоспринимающую поверхность параллельного *pn*-перехода множества последовательно соединенных планарных фотопреобразователей (ФП). Такие КВМП имеют КПД элемента 12,6% при цене на 35% ниже цены планарного ФП [7].

Накопители энергии. В качестве энергозапасующих устройств или накопителей энергии применяются аккумуляторы, маховики, теплозапасующие элементы, электрохимические конденсаторы (суперконденсаторы) и прочие установки. Ниже приводятся основные характеристики различных аккумуляторов [8].

Свинцовые аккумуляторы (СА) широко используются в агрегатах бесперебойного питания и для автомобилей. Эти аккумуляторы являются наиболее освоенными и наиболее дешевыми. Они до сих пор применяются в электрических сетях как источники энергии для запуска элементов сетей после аварий. Добавка 40% активированного угля к отрицательному электроду увеличивает срок службы этих аккумуляторов до 2000 циклов «заряд–разряд».

Натрий-серный аккумулятор (НСА) относится к высокотемпературным и состоит из элементов напряжением 2 В. Расплавленная сера при температуре +300 °С является положительным, а расплавленный натрий – отрицательным электродом. Натрий находится в алюминиевом сосуде. Положительные ионы натрия проходят сквозь стенку этого сосуда и образуют сульфид натрия предположительно структуры Na_2S_4 . При замыкании внешней цепи через нагрузку электроны движутся в цепь. Аккумулятор имеет КПД 89% и допускает 2500 циклов «заряд–разряд». Он может разряжаться 6 ч

в сутки. Крупные НСА используются в Японии как энергозапасующие устройства.

Цинк-бромистый аккумулятор (ЦБА) относится к аккумуляторам с прокачкой электролита. Он работает при комнатной температуре. Соль – бромид цинка – растворена в воде и содержится в двух баках. Аккумулятор заряжается и разряжается при прокачивании электролита насосом через набор элементов с обменом ионов через пористую мембрану.

Литиевый аккумулятор (ЛА) широко применяется для мобильных телефонов и ноутбуков. Они имеют наибольшую удельную энергию из всех известных типов [8, табл. 2]. Усовершенствованные ЛА применяются для гибридных электромобилей. В этих аккумуляторах используются комбинации соединений лития, никеля, кобальта и окиси алюминия. Такие электрохимические ячейки называются НСА-ячейками.

Никель-кадмиевый аккумулятор (НКА) успешно применяется для регулирования ветрогенераторов. Наиболее мощный НКА мощностью 26 МВт используется для поддержания нагрузки в течение 15 мин в качестве горячего резерва на Аляске.

Другие энергозапасующие устройства [8].

Маховик как устройство запасаения механической энергии. Вращающаяся масса – маховик на валу электродвигателя и генератора – используется как запас электрической энергии при кратковременных снижениях выработки или отключениях генераторов энергосистемы (рис. 4). На одном валу установлены электродвигатель, маховик и генератор. Ротор генератора может быть совмещен с на-

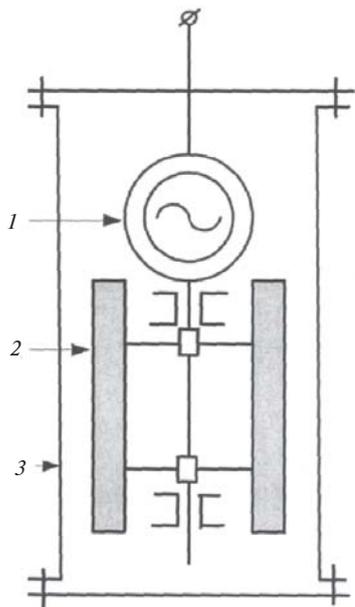


Рис. 4. Схема маховика как инерционного способа энергосбережения: 1 – мотор-генератор; 2 – маховик; 3 – корпус (© [2009] IEEE)

ружной оболочкой маховика. Все устройство помещено в корпус, из которого откачан воздух, а для снижения трения подшипники выполнены на магнитах. Такой маховик может развивать скорость вращения до 60000 об/мин.

Гидроаккумулирующая станция (ГАЭС). Такие станции начали сооружать еще в XIX в. Первая ГАЭС была построена в Швейцарии в 1882 г. Для ее сооружения нужно иметь два водохранилища, находящиеся на разных уровнях друг над другом. Турбина Френсиса, применяемая на ГАЭС, может работать либо как турбина, либо как насос. На валу турбины находится реверсивный мотор-генератор, работающий при регулируемой скорости вращения. Изменение скорости вращения генератора достигается регулированием открытия направляющего аппарата.

Источник энергии на сжатом воздухе (ИСВ). В этой установке сжатый воздух закачан в подземное хранилище, например выработку шахты, пещеру и пр. (рис. 5) Сжатый воздух поступает из этого хранилища в турбину, где смешивается с газом и приводит турбину во вращение. Поскольку часть газа заменена воздухом, то и расход газа для газовой турбины комбинированного цикла уменьшается на 40%, а для газовой турбины простого цикла – на 60%. Сжатие воздуха проводится компрессором в период минимальной нагрузки, когда цена электроэнергии низкая, а выработка электроэнергии – в период максимума нагрузки, при более высокой цене, которая оказывается все же ниже, чем дает обычная газовая турбина.

Электрохимический конденсатор с двойным диэлектриком (ЭКДД). Такие конденсаторы называют также «суперконденсаторы». Они работают аналогично литий-натриевым аккумуляторам. Такой конденсатор состоит из двух последовательно

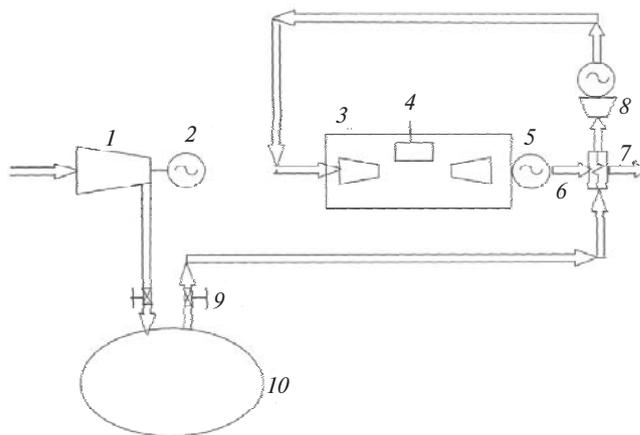


Рис. 5. Схема источника энергии на сжатом воздухе, разработанного ЭПРИ: 1 – компрессор; 2 – мотор компрессора; 3 – газовая турбина; 4 – топливо для турбины; 5 – генератор; 6 – выхлоп воздуха; 7 – рекуператор; 8 – расширитель; 9 – клапан-редуктор постоянного давления выходного воздуха; 10 – хранилище сжатого воздуха (©[2009] IEEE)

включенных конденсаторов с двухслойным диэлектриком. Промежуток между противоположно заряженными пластинами составляет несколько ангстрем. Огромная площадь пластин и плотность энергии позволяют получить емкость ЭКДД в тысячи раз больше емкости обычных электролитических конденсаторов.

Теплозапасающие элементы (ТЗЭ). В этих устройствах во время минимума нагрузки тепло запасается в теплоемкой жидкости, размещенной в керамических баках, которая используется для производства электроэнергии в период пиков нагрузки. В качестве теплоемкой жидкости используется расплавленная соль или масло. В некоторых установках в качестве теплозапасающего вещества используется песок. Применяться ТЗЭ могут как для распределительных сетей, так и для отдельных потребителей. Их преимущество в том, что для них не требуется особых природных условий, так как они могут быть установлены в любом месте. Они могут быть либо стационарные, либо передвижные.

Заключение. Широкое применение возобновляемых источников энергии в современных энергосистемах приводит к пересмотру требований к проектированию и эксплуатации энергосистем. Практика сооружения дальних электропередач от мощных электростанций заменяется проектированием электрических сетей с распределенными генераторами небольшой мощности на возобновляемых источниках энергии.

Авария на АЭС в Фукусиме в марте сего года привела к пересмотру практики проектирования и эксплуатации АЭС. Во многих странах проводится ревизия действующих АЭС и разрабатываются меры по повышению надежности реакторов, что вызывает значительное их удорожание. Хотя применение АЭС и ТЭС мощностью 1000 МВт и более предусматривает их работу в базе графика нагрузки, но прорабатывается вопрос и о проектировании АЭС небольшой мощности, применяемых в качестве распределенных генераторов. Применение возобновляемых источников энергии становится более популярным. Проектирование крупных ветроэлектростанций в районах, где дуют сильные ветры, приводит к необходимости сооружения передач постоянного тока.

В последнее время рассматриваются проекты совмещенных ТЭС и солнечных электростанций. Теперь диспетчеру требуется поддерживать в эксплуатации вращающийся резерв ТЭС на угле и газе, чтобы компенсировать снижение или прекращение выработки энергии от возобновляемых источников энергии в часы, когда эти источники не работают в необходимом объеме.

Применительно к России для внедрения возобновляемых источников энергии необходимо провести следующие мероприятия.

Для того чтобы обосновать применение ветроэлектростанций, нужно составить подробную карту ветров в России, как это сделано, например, в Германии и США, что позволит проектировать ветроэлектростанции применительно к конкретным районам и предусматривать электропередачи от этих ветроэлектростанций к нагрузкам.

Аналогичная работа по составлению карты солнечной активности требуется для обоснования размещения солнечных электростанций в России подобно тому, как в свое время были выполнены программа и карта размещения электростанций на всей территории СССР под руководством академика Л.А. Мелентьева. В России имеются районы, где максимальная плотность потока солнечного излучения составляет 1 кВт/м². Это Астраханская, Волгоградская, Амурская, Читинская области и др. Если в таком районе соорудить солнечную электростанцию, то с учетом КПД 12% удельная выработка ее составит 200 кВтч в год на 1 м² поверхности солнечной батареи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Thresher R., Robinson M. and Veers P. To Capture the Wind. – IEEE Power & Energy Magazine, November/December 2007, vol. 5, No 6.
2. Wolf G. Green Energy on a Gigawatt Scale. – A Supplement to Transmission & Distribution World Magazine, March 2011, vol. 63, No.3.
3. Kroposki B., Margolis R. and Ton D. Harnessing the Sun. – IEEE Power & Energy Magazine, May/June 2009, vol. 7, No 3.
4. Nelsen D., Perez R., Holmes D. and Nelson M. – Megawatts of Solar. – Transmission & Distribution World, June 2009, vol.61, No 6.
5. Braun M., Arnold G. and Laukamp H. Plugging into the Zeitgeist. – IEEE Power & Energy, May/June 2009, vol. 7, No 3.
6. Hara R., Kita H., Tanabe T. et al. Testing the Technologies. – IEEE Power & Energy Magazine, May/June 2009, vol. 7, No 3.
7. Мавляпбеков Ю.У., Алексеенко В.Н., Симакин В.В. Анализ и перспективы развития возобновляемых источников энергии в Российской Федерации. – Сборник научных трудов ВЭИ им. В.И. Ленина. – М., 2006.
8. Roberts B. Capturing Grid Power. – IEEE Power Energy Magazine, July/August 2009, vol. 7, № 4.

А в т о р: Худяков Владимир Васильевич окончил электроэнергетический факультет Московского энергетического института (МЭИ) в 1950 г. В 1953 г. защитил в МЭИ кандидатскую диссертацию «Питание распределенных потребителей по линии постоянного тока высокого напряжения». В течение 45 лет работал во Всесоюзном электротехническом институте им. В.И. Ленина (ВЭИ). В настоящее время – пенсионер, независимый инженер-консультант, проживает в США.