



УДК 621

НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ НАКОПЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Кулаков Александр Дмитриевич

студент

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Аннотация. Статья посвящена анализу различных методов накопления механической энергии. Рассматриваются ключевые принципы работы механических накопителей, их классификация и особенности эксплуатации. Описаны основные типы накопителей, включая гравитационные, кинетические, гироскопические, пружинные и газовые механические устройства. Приводится сравнительный анализ их эффективности, сроков хранения энергии, а также эксплуатационных характеристик. Уделяется внимание энергосбережению и повышению эффективности хранения энергии в различных отраслях промышленности.

Ключевые слова: накопители энергии, механическая энергия, гравитационные накопители, кинетические накопители, гироскопические накопители, пружинные накопители, газовые накопители, супермаховики, энергосбережение, эффективность хранения энергии.

Как правило, источники даровой энергии не отличаются стабильностью. Поэтому практически любой генератор энергии обычно укомплектовывается накопителем, который устанавливается с целью запаса излишков энергии (зачастую в период её избытка) и дальнейшей её компенсации во времена нехватки, когда основной источник энергии временно иссякает или оказывается недоступным.

Типы, размеры, а также возможности подобных накопителей могут быть различными - от небольших конденсаторов и механических пружин, вес которых измеряется порой десятками долями грамма, запасующих минимум энергии на короткое время, до целых водохранилищ, изменяющих географию и климат областей в силу размеров и способных обеспечивать свой энергией целые регионы в течение многих месяцев. Но накопители отличаются не только объёмом запасаемой энергии, а также скоростью её накопления и отдачи (периодом «зарядки-разрядки»), удельной плотностью энергии, возможными сроками её хранения и другими параметрами, такими, как надёжность и стоимость эксплуатации. Правильный выбор накопителя способен скрыть многие недостатки генератора, и помимо этого улучшить его характеристики при эксплуатации. В свою очередь, ошибка в выборе накопителя может сделать эксплуатацию даже самого надежного источника практически невозможной.

Существует огромное количество характеристик, по которым можно было бы



классифицировать накопители. Самой распространенной из них, с практической точки зрения, является классификация по способу накопления и отдачи энергии, а также классификация этой самой энергии по типу (природе).

Механические накопители энергии являются первым и самым известным типом подобных устройств [1]. Конструкции подобного вида отличаются предельной простотой, а также чуть ли неограниченным сроком службы и хранения запасённой в них энергии.

Одним из подвидов механических накопителей энергии являются гравитационные накопители. Их суть крайне проста - на этапе накопления энергии груз поднимается вверх, «собирая» потенциальную энергию, а в нужный для нас момент опускается вниз, накаливая тем самым необходимое количество энергии. Конструкция данных накопителей может приобретать разную форму, в зависимости от рода груза (могут использоваться как твердые тела, так и жидкости), а также ряда других факторов. Время хранения однажды запасённой энергии ограничивается лишь долговечностью материалов изготовления накопителей и может исчисляться десятками и сотнями лет [2].

Однако энергоёмкость подобных устройств невелика. К примеру, чтобы запастись энергией, необходимую для нагрева 1 литра воды от 20°C до 100°C, нам нужно будет приложить усилия к поднятию целой тонны груза на высоту 35 метров. Поэтому, в случае возникновения необходимости запастись большим количеством энергии, подобная ситуация приводит к необходимости создания громоздких и дорогих в обслуживании сооружений, таких, как плотины ГЭС и «естественные моря» при них.

Энергию, запасаемую в момент поднятия твёрдых тел, можно высвободить за весьма короткий период времени. Ограничение на получаемую с подобных устройств мощность накладывает лишь ускорение свободного падения, которое и будет определять максимальный темп нарастания скорости груза при падении. Однако время хранения запасённой таким способом энергии будет практически неограниченным, если только груз и элементы конструкции не придут в негодность с течением времени.

Недостатком подобных систем является необходимость создания вертикальной или наклонной шахты на всю длину подъёма груза, при этом габариты конструкции на всём её протяжении должны обеспечивать проход груза. Конечно, не обязательно сооружать отдельную шахту, для движения груза будет достаточно выделить часть более обширного помещения, однако путь, по которому перемещается груз, должен быть свободным и носить линейный характер, а также нам нужно исключить возможность случайного попадания в эту область сторонних тел (известны случаи травм рабочего персонала в момент работы установок).

Рассматривая гравитационные жидкостные механические накопители можно сказать, что в отличие от твердотельных грузов, использование жидкостей не несет за собой необходимости



в создании шахт большого сечения на всю длину подъема, так как жидкость отлично осуществляет перемещение и по трубам изогнутой конструкции, сечение которых должно быть достаточным для прохождения по ним максимального потока. Поэтому верхний и нижний резервуары не обязательно должны быть размещены друг под другом, а могут быть разнесены относительно друг друга на определенное расстояние.

Именно к этому классу накопителей относятся гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) [3].

К сожалению, возможный срок хранения энергии в жидкостных гравитационных накопителях энергии значительно меньше, нежели в твердотельных, и на практике обычно составляет от нескольких дней до нескольких месяцев. Это возникает из-за процесса испарения рабочей жидкости из резервуаров. Кроме этого, такие системы имеют гораздо больше составных частей, и их труднее сохранять в должном техническом состоянии, прежде всего это касается уровня герметичности резервуаров и трубопроводов, а также уровня исправности запорного и перекачивающего оборудования.

И ещё одно не менее важное условие — в моменты накопления и использования энергии рабочее тело (большая его часть) должно находиться в состоянии жидкости, а не пребывать в состоянии льда или пара. Иногда в накопителях подобного рода возможно получение дополнительной энергии, например, в случае пополнения верхнего резервуара талыми или дождевыми водами.

В кинетических накопителях энергии она запасается за счет движения рабочего тела. Существует две разновидности движения — колебательное и поступательное (обычно представляет собой движение по замкнутому контуру, а чаще всего - вращение).

В колебательных накопителях кинетическая энергия накапливается в результате возвратно-поступательного (вращательного или линейного) движения груза за счет явления резонанса. При этом энергия должна как подаваться, так и использоваться порциями, совпадать с тактом движения груза. Это усложняет механизм и делает его требовательным в плане настройки. Однако, эти узлы уже многие годы используются в механических часах с пружинным или гравитационным маятником. Во многих случаях данные часы для начала работы необходимо «встряхнуть» или привести маятник в движение рукой — в целях экономии завода пружины за один такт на маятник падется лишь минимальная часть энергии, дабы её было достаточно для компенсации потерь во время работы, но не для запуска «с нуля», из начального состояния.

Целью подобных устройств зачастую является не непосредственное накопление энергии, а её стабилизация во время работы каких-либо приборов, так как абсолютные значения запасаемой энергии обычно незначительны, она годится только для внутреннего потребления



при эксплуатации самого устройства. Сам по себе процесс резонанса не увеличивает количество накопленной энергии. Однако с помощью резонансных накопителей возможна аккумуляция малых порций энергии, которые при подаче «в лоб» почти не отклонили бы маятник от точки равновесия, не говоря уже о тех углах поворота, которых он достигает в процессе резонанса.

В гироскопических накопителях запасание энергии происходит за счет быстрого вращения маховика, она обретает кинетический характер. Удельная энергия, запасаемая в расчете на килограмм веса самого маховика, значительно больше той энергии, которую можно было бы запасти в килограмме статического груза при поднятии его некоторую высоту, а последние высокотехнологичные разработки позволяют достичь плотности накопленной энергии, сопоставимой с запасами химической энергии в единице массы более эффективных видов топлива. Еще одним огромным плюсом маховиков является возможность быстрой отдачи, либо же приёма большого количества мощности, которая будет ограничиваться только пределом прочности материалов в случае передачи.

Минусом маховиков является их крайняя чувствительность к сотрясениям и поворотам в отличных от плоскости вращения направлениях, так как при этом возможно возникновение огромных гироскопических нагрузок, стремящихся согнуть ось. К тому же время хранения накопленной маховиком энергии относительно невелико, обычно оно колеблется в пределах от нескольких секунд до нескольких часов. Дальнейшие потери энергии со временем становятся слишком ощутимыми. Впрочем, с помощью современных технологий возможно кардинально увеличить время хранения энергии вплоть до нескольких месяцев.

Особенно перспективными является так называемые супермаховики, которые состоят из витков стальной ленты или 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, что изменяет момент инерции прибора, а если лента будет пружинной, то часть энергии начнет запасаться в виде энергии упругой деформации пружины. В результате в таких маховиках скорость вращения не так прямо связана с накопленной энергией, она гораздо стабильнее, нежели в простейших цельнотелых конструкциях, а их энергоёмкость заметно больше. Помимо большей энергоёмкости, супермаховики куда более безопасны в случае эксплуатационных аварий, так как в отличие от осколков монолитного маховика, обладающих энергией и силой, сопоставимой с пушечными ядрами, обломки пружины будут обладать гораздо меньшей «поражающей способностью», они достаточно эффективно тормозят маховик за счёт процесса трения о стенки корпуса. По этой же причине и современные цельнотелые маховики, рассчитанные на работу в режимах, близких к пределу прочности материала, часто



изготавливаются не в виде монолитной, а сплетаются из тросов или волокон, пропитанных связующим веществом.

Современные конструкции маховиков с вакуумной камерой вращения и магнитным подвесом супермаховика обеспечивают плотность запасённой энергии более 5 МДж/кг, при этом они могут сохранять кинетическую энергию длительное время - неделями и месяцами. Однако данные в настоящее время носят по большей роли экспериментальный характер.

Гирорезонансные накопители энергии. Накопители энергии данного типа также представляют собой маховик, однако выполнен он уже из эластичного материала (резины). В результате изменения материала маховик приобретает принципиально новые свойства. По мере нарастания оборотов на поверхности такого маховика начинают образовываться «выросты», называемые лепестками. Сначала маховик приобретает форму эллипса, затем превращается в «цветок» с тремя, четырьмя и большим количеством «лепестков». Причем после начала образования лепестков скорость вращения маховика сохраняет практически постоянное значение, а энергия запасается в резонансной волне упругой деформации материала маховика, которая формирует эти лепестки.

Таковыми конструкциями третьей четверти прошлого века (80е годы) занимались советские ученые. Полученные ими результаты впечатляют — при рабочей скорости маховика, составляющей всего 7—8 тысяч об/мин, запасенной энергии было достаточно для того, чтобы автомобиль мог проехать целых 1500 км, когда показатели обычного маховика тех же размеров достигали около 30 км.

Механические накопители с использованием сил упругости характеризуются тем, что они обладают большой удельной ёмкостью, запасаемой им энергии. При необходимости в соблюдении небольших габаритов прибора (около нескольких сантиметров) его энергоёмкость наибольшей среди всех представителей механических накопителей. Если требования к габаритным характеристикам прибора не столь жёсткие, то большие сверхскоростные маховики превосходят его по энергоёмкости, однако они являются куда чувствительнее к внешним факторам и обладают намного меньшим временем хранения энергии.

Пружинные механические накопители. Цикл сжатия-распрямления пружины способен обеспечить большой расход и поступление энергии в единицу времени. Пожалуй, именно пружинные накопители имеют наибольшую механическую мощность среди всех типов накопителей энергии. Так же, как и в случае с маховиками, она будет ограничена лишь возможностями (пределом прочности) материалов, но пружины обычно реализуют рабочее поступательное движение непосредственно, когда в маховиках сложно обойтись без передачи (например, в пневматическом оружии часто используются либо механические пружины, либо газовые баллончики, по сути являющиеся предварительно заряженными пневматическими

пружинами).

Накопленная в сжатой пружине энергия может храниться многие годы, но стоит учитывать, что находясь под действием явления постоянной деформации любой материал с течением времени накапливает усталость, а его кристаллическая решетка изменяется, причем происходит это тем быстрее, чем больше будут внутренние напряжения и выше окружающая температура. Поэтому через несколько лет эксплуатации сжатая пружина, не изменившись внешне, на деле может оказаться «разряженной» полностью или же частично. Тем не менее, качественные стальные пружины при соблюдении должных условий способны работать длительное время без ощутимой потери в емкости.

При необходимости равномерного цикла «зарядки-разрядки» пружины обеспечивающий этот процесс механизм зачастую оказывается весьма сложным и требовательным в изготовлении (например, механические часы). Упростить данную ситуацию возможно с помощью электромеханической передачи, однако она будет накладывать существенные ограничения в мгновенной мощности подобного устройства, а при работе с малыми мощностями (до нескольких сотен ватт) её КПД будет слишком низким. Отдельной задачей является накопление как можно большего количества энергии в как можно меньшем объеме, так как при этом создаются механические напряжения, показатели которых близки к пределу прочности используемых материалов, что, в свою очередь требует очень тщательных и сложных расчётов, а также соответствующего качества изготовления.

Заостряя внимания на пружинах, имеются в виду не только металлические конструкции, но и другие упругие цельнотелые элементы. Самыми распространёнными из подобных являются жгуты, изготавливаемые из резины. Важным фактом является то, что запасаемая на единицу массы энергия резины превосходит подобные показатели сталь в десятки раз. Однако срок службы резины является во столько же раз меньшим, при этом, в отличие от стали, она теряет свои свойства даже без активного использования. Это происходит в силу быстрого химического старения материала и его деградации.

В газовых механических накопителях запасание энергии происходит за счёт упругости, которой обладает сжатый газ. Когда энергия в избытке, то компрессор начинает закачивать газ в баллон. При необходимости использования запасённой энергии, происходит подача сжатого газа в турбину, которая выполняет необходимую работу, носящую механический характер и вращает электрогенераторы [4]. Вместе турбины возможно использование поршневого двигателя, который является более эффективным при небольших показателях мощности.

Многие современные компрессоры, используемые в промышленности, оснащены подобным аккумулятором - ресивером. Однако давление там редко превышает показателя в 10 атмосфер, поэтому запас энергии в подобном ресивере не довольно мал, но и это обычно



позволяет увеличить выдаваемый установкой ресурс, а также сэкономить энергию.

При сжатии газа до большого давления, достигающего сотни атмосфер, он может обеспечить достаточно высокие показатели удельной плотности запасенной энергии, при этом сохранять ее в течение практически неограниченного периода времени (может достигать десятков лет). Однако устройства, входящие в состав установки – компрессор и турбина, являются достаточно сложными в изготовлении, а также имеют весьма ограниченный ресурс (требуют ремонта уже через несколько тысяч, а то и через несколько сотен циклов).

Традиционная энергетика основана на возможности не только производить энергию, но также и запасать ее. При этом вопросы хранения энергии опережают вопросы ее производства. Например, запас воды в хранилище позволяет использовать ее в любое время для получения электроэнергии на гидроэлектростанциях, а запас угля обеспечивает бесперебойную работу тепловой электростанции. Проблема энергосбережения охватывает не только химические процессы, но и весь технологический цикл производства конечного продукта в целом, который включает в себя весьма важные стадии – а именно добычу и первичную переработку природного сырья. Новые методы, модифицированные установки и аппараты, новейшие технологии позволяют постепенно решать проблему энергосбережения. Разумеется, на всех действующих предприятиях всеми возможными мерами необходимо сокращать бесполезное рассеяние энергии. Подобными мерами являются, в первую очередь, оптимизация производственных процессов, утилизация рассеянного тепла, а также улучшение изоляции и герметичности, оптимизация процессов испарения и конденсации. Именно поэтому сохранение энергетических ресурсов является неотъемлемой и значимой задачей всех отраслей производства без исключения.

Список литературы:

1. Бут, Д. А. Накопители энергии. – М., 2011.
2. Современные системы накопления энергии / controleng.ru
3. Авруцкий, В. А. Накопители энергии и их применение. – М., 1982. – 77 с.
4. Накопители энергии / bigenc.ru