

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.355.9

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: s.andreev@aol.com

ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: energo-viz@mail.ru

ШИБАРОВ ДМИТРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

E-mail: dmitriy16@mail.ru

АККУМУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В МАЛОМОЩНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Возрастающую роль в структуре электроснабжения коттеджей играют автономные системы. Эти системы первоначально рассматривались как средства аварийного питания при кратковременном отсутствии централизованного электроснабжения, однако впоследствии начали применяться в качестве основного энергетического источника. Среди автономных систем электроснабжения особое место занимают гелиосистемы, использующие фотоэлектрические преобразователи. Благодаря стремительному прогрессу в производстве фотоэлектрических модулей, повышению их эффективности и резкому снижению стоимости автономные гелиосистемы находят широкое круглогодичное применение в большинстве регионов РФ. Вместе с тем специфика преобразования солнечной энергии определяет необходимость использования эффективных энергоаккумулирующих средств. Наибольшее распространение получили химические аккумуляторы, которые, однако, имеют высокую стоимость и ограниченный срок эксплуатации в пределах 5-7 лет. Анализ современных устройств для кратковременного хранения энергии показал, что для работы в составе маломощных гелиосистем вполне эффективно могут использоваться инерционные динамические накопители. Эти накопители обычно выполняются в виде маховиков, работающих совместно с электрической машиной, которая в зависимости от режима выполняет функции двигателя или генератора. Современные инерционные динамические накопители по сравнению с химическими аккумуляторами имеют гораздо более высокую удельную энергетическую емкость, абсолютно экологичны, допускают широкое варьирование режимами заряда и разряда и характеризуются практически неограниченным сроком эксплуатации. В качестве примера рассчитаны основные габаритные размеры стального цилиндрического маховика в составе гелиосистемы для коттеджа с суммарной установленной мощностью электрооборудования 3 кВт и режимом разряда продолжительностью 15 ч.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, гелиосистема, фотоэлементы, аккумулятирование энергии, химические аккумуляторы, инерционные динамические аккумуляторы, маховики.

Введение. Электроснабжение коттеджей с полным или частичным использованием возобновляемых источников энергии требует повышенного внимания к обеспечению бесперебойности. Одной из главных задач при этом является эффективное аккумулятирование энергии, позволяющее обеспечить электропитанием потребителей в периоды неработоспособности энергетических преобразователей.

Цель работы – обоснование целесообразности аккумулятирования энергии в маломощных гелиоси-

стемах электроснабжения с помощью инерционных динамических накопителей.

Материал и методы. В качестве материалов исследования была использована информация о технических характеристиках фотоэлектрических преобразователей, электрохимических и инерционных динамических накопителей энергии. При изучении вопроса был применен дедуктивный метод познания. Работа основывалась на известных физических закономерностях в области электротехники и теоретической механики.

Результаты и обсуждение. При проектировании электроснабжения коттеджей заказчики все чаще обращают внимание на использование автономных источников, стремясь снизить свою зависимость от поставщиков электроэнергии, исключить ограничения по максимальной потребляемой мощности, а иногда – повысить надежность обеспечения электроэнергией.

В большинстве случаев в качестве автономных энергетических источников используются тепловые мини-электростанции, основу которых составляют электрогенераторы с двигателями внутреннего сгорания (реже – паровыми или газотурбинными двигателями).

На втором месте по распространению находится солнечная энергия, успешно используемая как для покрытия тепловых расходов, так и для получения электроэнергии с помощью фотоэлектрических преобразователей [1]. КПД современных лабораторных образцов, созданных на основе нанопроволок или специфических биоматериалов, превышает 42...44% [2]. За последние 20 лет произошло многократное снижение стоимости фотоэлектрических преобразователей и увеличение объема их производства примерно в 15 раз. Отвечая на возросший спрос, многочисленные торгово-промышленные организации России предлагают услуги по поставке, монтажу и наладке преобразователей солнечной энергии. Эти преобразователи обычно устанавливаются на крышах зданий, а в состав гелиосистем входят статические инверторы и микропроцессорные блоки управления.

Есть несколько заблуждений относительно гелиосистем. Первое связано с оценкой продолжительности автономного электроснабжения коттеджей при перерывах в поступлении солнечной энергии.

К примеру, поставщики гелиосистем заверяют: двух-трех аккумуляторных батарей емкостью по 240 А · ч вполне достаточно для электроснабжения жилого дома с суммарной мощностью потребителей 2,5...3,0 кВт. При этом объявляется, что продолжительность службы аккумуляторных батарей составляет 8-10 лет, а стоимость всей гелиосистемы – 70...90 тыс. руб. [3].

Произведем оценку реальности заявляемых показателей.

При выборе гелиосистемы менеджеры торговой организации обычно суммируют мощности отдельных потребителей, принимая во внимание коэффициент одновременности. Однако полученный результат оказывается неточным, поскольку при простом суммировании не учитывается зависимость электропотребления от количества проживающих в доме людей. Например, если в доме проживает один человек, то одновременное использование им электроутюга и гидромассажера маловероятно. Аналогично один человек не может одновременно эксплуатировать пылесос и электрофен, электромясорубку и электробритву, звукопроизводящую аппаратуру и электродрель

и т.п. Однако при проживании в доме двух, трех и большего количества людей вероятность одновременного использования перечисленных пар электроприборов возрастает. Опытные инженеры обычно не доверяют результатам простого суммирования мощностей и корректируют полученную сумму «на глазок». Утвержденная методика такой корректировки не предусматривает и явно нуждается в совершенствовании.

Следующее заблуждение состоит в утверждении о неизменности характеристик фотоэлементов во времени. Выбирая гелиосистему в соответствии с пожеланиями заказчика, менеджер торговой организации исходит из характеристик новых фотоэлектрических преобразователей. В то же время в процессе их эксплуатации происходит уменьшение КПД. Например, через 5 лет работы КПД фотоэлементов составляет только 90% от первоначального значения [4].

Третья ошибка заключается в оценке длительности периода работы автономной системы от аккумуляторных батарей. Этот период повторяется ежедневно, приходится на ночное время и характеризуется отсутствием поступления электроэнергии от фотоэлектрических преобразователей. Как правило, поставщики гелиосистем оценивают продолжительность пассивного периода десятью часами, что, по нашему мнению, существенно занижено. По подсчетам, длительность пассивного периода гелиосистемы составляет 16 ч, а фактически этот период оказывается еще больше из-за облачности, тумана или осадков.

Будем считать, что продолжительность периода работы от аккумуляторных батарей составляет 15 ч.

Таким образом, для надежного электроснабжения коттеджа с суммарной мощностью потребителей 3 кВт в течение 15 ч потребуется энергия объемом 45 кВт · ч. Эту энергию могли бы обеспечить аккумуляторные батареи напряжением 12 В и суммарной емкостью 3750 А · ч. Однако реальные условия эксплуатации батарей весьма далеки от идеальных.

Во-первых, реальная емкость аккумуляторных батарей будет соответствовать их паспортной емкости только при штатном режиме эксплуатации. Как правило, такой режим в условиях коттеджа не выдерживается из-за случайного характера нагрузки. По этой причине фактически используемая энергия окажется еще на 25...30% меньше [5].

Во-вторых, паспортная емкость аккумуляторных батарей обеспечивается только при положительной (как правило – комнатной) температуре [6]. При несоблюдении температурного режима фактическая емкость аккумуляторных батарей станет еще ниже. Опыт показывает, что в реальных условиях это снижение достигает 10...15%.

В-третьих, фактический срок службы аккумуляторных батарей ограничен несколькими годами. Из практики известно, что уже на четвертый-пятый год эксплуатации аккумуляторных батарей их емкость заметно уменьшается, а через шесть-семь лет

они обычно приходят в полную негодность. Отсюда следует, что на протяжении значительного периода объявленного срока службы гелиосистемы характеристики аккумуляторных батарей не будут соответствовать первоначальному.

На сегодняшний день наилучшими характеристиками обладают гелиевые аккумуляторы, содержащие сухой электролит. Для удобства транспортировки и обслуживания в современных гелиосистемах малой мощности используют несколько батарей, суммарная емкость которых соответствует расчетной. Анализ коммерческой информации показал, что стоимость гелиевого аккумулятора емкостью 200...250 А · ч составляет 35...40 тыс. руб. Следовательно, для обеспечения накопления энергии в нашем примере с учетом выявленных особенностей потребуются 18 гелиевых аккумуляторов на сумму 630 тыс. руб.

Нельзя забывать о том, что при работе фотоэлектрических преобразователей произведенная электрическая энергия расходуется не только на зарядку аккумуляторных батарей, но и на питание потребителей в активный период.

Это обстоятельство еще более ужесточает требования к фотоэлементам гелиосистем. Кроме того, для любых современных аккумуляторов отношение объемов и подведенной энергии всегда меньше единицы ($KПД \leq 06...08$). Поэтому количество энергии, снимаемой с фотоэлементов, всегда должно быть на 30...60% больше энергии, отдаваемой аккумулятором при номинальной нагрузке.

Принимая во внимание, что стоимость современных фотоэлектрических преобразователей для обеспечения мощности 5 кВт составляет примерно 330 тыс. руб., а стоимость инвертора – 25 тыс. руб., приходим к выводу, что без учета стоимости контроллера, вспомогательных устройств, транспортных расходов и монтажно-наладочных работ стоимость гелиосистемы превысит 950 тыс. руб.

При условии отсутствия затрат на обслуживание гелиосистемы и ее исправной работы в течение 7 лет в условиях Центрального региона РФ будет выработана электроэнергия в объеме 114975 кВт · ч. Тогда эффективность автономной гелиосистемы можно оценить стоимостью единицы произведенной энергии. Эта стоимость определяется величиной частного от деления стоимости гелиосистемы на объем электроэнергии. Для нашего примера при всех вышеперечисленных допущениях стоимость электроэнергии превысит 8...10 руб. за 1 кВт · ч.

Итак, рекламные обещания торговых организаций явно не соответствуют реальности.

Таким образом, наряду с явными успехами по преобразованию энергии Солнца в электрическую форму довольно острым остается вопрос аккумулирования полученной энергии. Из вышеприведенных рассуждений следует, что для снижения затрат на аккумулирование энергии необходимо либо уменьшить стоимость аккумуляторов, либо

увеличить срок их службы [7]. К сожалению, решение обеих задач для химических аккумуляторов в обозримом будущем маловероятно. Актуально использование накопителя энергии какого-то иного типа.

Установлено, что для накопления энергии в автономных гелиосистемах вполне могут быть использованы инерционные динамические аккумуляторы, называемые также маховиками. Производственное использование маховиков имеет полуторазековую историю [8], однако возможность их применения в системах автономного электропитания появилась лишь в последнее десятилетие.

Уравнение динамики вращения маховика имеет вид [9]:

$$M_{\text{вн}} = I \frac{d\omega}{dt} - M_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{вн}}$ – внешний момент (активный при зарядке и тормозящий при разрядке); I – момент инерции маховика; ω – угловая скорость вращения; $M_{\text{тр}}$ – момент трения, являющийся суммой момента аэродинамического трения $M_{\text{м.а}}$ и момента трения в подшипниках и уплотнениях $M_{\text{м.н}}$.

В результате умножения слагаемых выражения (1) на ωt и последующего интегрирования получим уравнение баланса энергии:

$$\int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{вн}} dt = \int_{t_1}^{t_2} I \frac{\omega dt \omega}{dt} - \int_{t_1}^{t_2} M_{\text{тр}} \omega dt, \\ \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{2} - \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{м.а}} dt - \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{м.н}} dt = \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{вн}} dt, \quad (2)$$

где ω_1 и ω_2 – начальная и конечная угловые скорости (в моменты времени t_1 и t_2 соответственно).

Из выражения (2) следует, что в режиме разрядки кинетическая энергия маховичного накопителя, определяемая выражением $W_{\text{кин}} = 0,5I(\omega_1^2 - \omega_2^2)$, расходуется на полезную отводимую энергию $W = \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{вн}} dt$ и на энергию потерь трением $W_{\text{тр}} = \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{м.а}} dt + \int_{t_1}^{t_2} \omega M_{\text{м.н}} dt$.

Очевидно, что для повышения эффективности маховичных накопителей необходимо обеспечить максимальный уровень начальной кинетической энергии $M_{\text{к1}} = \frac{I\omega_1^2}{2}$ и минимальные потери $W_{\text{тр}}$ с помощью тех или иных технических решений.

Объективным показателем эффективности накопителей энергии любого принципа действия является удельная энергоемкость

$$\text{Уд.эн.} = \frac{V}{m},$$

где V – объем запасенной энергии, кВт · ч (или МДж); m – масса накопителя энергии, кг.

По мере научно-технического прогресса этот показатель постепенно изменяется. Поэтому для срав-

нения химических и маховичных аккумуляторов значения этого показателя были проанализированы за несколько десятилетий [10-12].

По представленным на рисунке 1 зависимостям можно сделать вывод, что уже в середине шестидесятых годов двадцатого столетия удельные энергоёмкости химических и маховичных аккумуляторов практически сравнялись. В последующие годы (и вплоть до наших дней) эффективность химических накопителей увеличивалась незначительно,

войдя в стадию насыщения в наши дни. И, напротив: удельная энергоёмкость маховичных накопителей энергии начиная с 40-50-х гг. постепенно повышалась и в последние годы устремилась вверх. Резкое увеличение энергоёмкости маховичных аккумуляторов объясняется широким распространением магнитных подшипников, использованием особо прочных материалов и положительным опытом применения нанотехнологий для изготовления маховиков [13].



Рис. 1. Зависимости удельных энергоёмкостей химических и маховичных накопителей энергии от времени разработки

Вследствие малосерийного производства стоимость маховичных накопителей пока остается несколько выше стоимости химических аккумуляторов. В то же время срок службы супермаховиков превышает аналогичный показатель химических аккумуляторов в несколько раз. Однако вряд ли стоит ожидать, что первоочередные усилия разработчиков будут направлены на достижение еще большего срока службы маховиков, поскольку продолжительность эксплуатации современных фотоэлектрических преобразователей составляет всего 13-15 лет. На сегодняшний день более актуальными являются следующие задачи:

- разработка высокоэффективных конструкций собственно маховиков (увеличение момента инерции, повышение механической прочности);
- разработка безопасной системы подвески, оказывающей минимальное тормозящее действие;
- создание управляемой системы преобразования электрической энергии в механическую и наоборот.

Инерционные динамические аккумуляторы, выполненные с использованием современных материалов, обладают весьма высокими эксплуатационными свойствами. Среди них следует отметить исключительную продолжительность сохранения накопленной энергии. Например, маховик из борного волокна, раскрученный до частоты порядка $40 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$ и установленный на электромагнитной подвеске в вакуумной камере, в режиме холостого хода будет вращаться в течение нескольких недель. По сравнению с химическими аккумуляторами маховики абсолютно экологичны и допускают произвольные режимы пополнения и выдачи энергии. Поскольку автономные гелиосистемы эксплуатируются в стационарном

режиме, масса и габариты супермаховиков особого значения не имеют. Для достижения безопасности и исключения воздействия акустических и вибрационных помех инерционные динамические аккумуляторы могут быть установлены в подвале или в отдельном сооружении хозяйственного назначения.

Иногда скептики, возражая против использования маховиков в автономных гелиосистемах, приводят довод о необходимости двухкратного преобразования энергии (из световой формы – в электрическую и из электрической – в кинетическую). Однако при использовании традиционных химических аккумуляторов количественно энергетических преобразований оказывается не меньшим (из световой формы – в электрическую и из электрической – в химическую). Кроме того, КПД современных электрических машин, преобразующих электрическую энергию в кинетическую и обратно, обычно превышает 90%, что определяет общий КПД цикла, не меньший 81%. Помимо этого, в отличие от химических процессов, происходящих в аккумуляторе, электромагнитные процессы в электрических машинах практически безынерционны, легко контролируются и управляются.

Оценим возможность использования инерционного динамического накопителя кинетической энергии для работы в составе автономной гелиосистемы для нашего исходного примера ($P = 3 \text{ кВт}$, $t = 15 \text{ ч}$, $Q = 45 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 162 \cdot 10^6 \text{ Дж}$).

Энергия, запасаемая маховиком, определяется выражением $E = 0,5I\omega^2$ [14]. Для маховика в форме цилиндра с радиусом R , высотой H и плотностью материала ρ момент инерции рассчитывается как $I = 0,5\rho\pi R^4 H$.

Подставив момент инерции из второго выражения в первое, будем иметь

$$E = 0,25\rho\pi R^4 H\omega^2. \quad (3)$$

Известно, что предельная линейная скорость точек, расположенных на поверхности стального маховика, составляет величину 200 м/с ($v_{max} = 200$ м/с) [15]. Выразив круговую скорость через линейную в соответствии с соотношением $\omega_{max} = \frac{v_{max}}{R}$ и подставив результат в выражение (3), получим

$$E = \frac{0,25\rho\pi R^4 H v^2}{R^2} = 0,25\rho\pi R^2 H v^2. \quad (4)$$

В выражении (4) произведение $\pi R^2 H$ соответствует объему цилиндра, произведение этого объема и плотности материала – массе m . Тогда

$$E = 0,25 m v^2. \quad (5)$$

Подставив предельное значение линейной скорости в выражение (5), получим $E = 10 \cdot 10^3 m$.

По величине требуемой энергии найдем массу цилиндрического маховика: $m = \frac{E}{10^4} = 16200$ кг.

С учетом плотности маховика ($\rho = 8000$ кг/м³) определим его объем: $V = \frac{m}{\rho} = 2,03$ м³. В условиях использования маховика с рассчитанными параметрами зададимся высотой цилиндра $H = 2$ м. Тогда площадь его основания S легко вычисляется как частное от деления объема на высоту ($S = 1,03$ м²). Радиус инерционного динамического аккумулятора рассчитываем по соотношению

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0,56 \text{ м.}$$

Видно, что размеры маховика не слишком одиозны (рис. 2). Такой маховик, размещенный в защитном кожухе, вполне можно расположить в подвале коттеджа или подсобном помещении.

При оценке размеров маховика мы сделали несколько допущений:

- в качестве частоты вращения маховика использовано максимально допустимое значение для выбранного материала;
- не принято во внимание КПД процессов преобразования электрической энергии в кинетическую и наоборот;
- не учтены потери энергии на трение в подшипниках и на аэродинамическое трение.

С другой стороны, наша оценка производилась для маховика примитивной конструкции, в форме цилиндрического монолита. Современные промышленные маховичные накопители энергии имеют иные формы, выполнены с использованием полимерных тросов, позволяющих достичь высоких моментов инерции при гораздо меньших массах и существенно повысить частоту вращения.

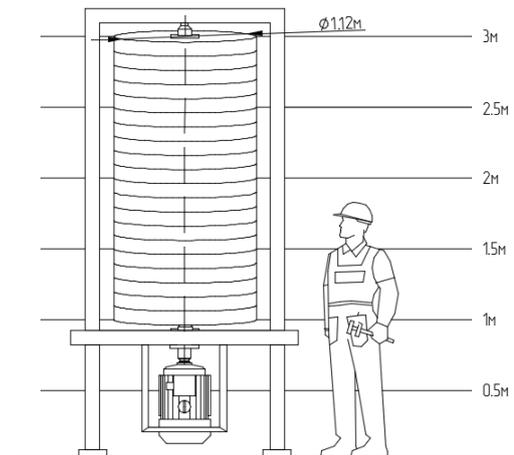


Рис. 2. Оценка относительных размеров стального цилиндрического маховика

Выводы

Инерционные динамические аккумуляторы могут рассматриваться как перспективные технические средства для накопления энергии в гелиосистемах автономного электроснабжения.

Библиографический список

1. Бринкворт Дж. Солнечная энергия для человека / Пер. с англ. В.Н. Оглоблева; Под ред. и с предисл. Б.В. Тарнижевского. М.: Мир, 1976. 288 с.
2. B.D. Reiss, D.B. Hanson, and M.A. Firestone. Evaluation of the photosynthetic reaction center protein for potential use as a bioelectronic circuit element, *Bioelectron. Prog.* 23 (2007) 985-989.
3. Альтэко. URL: <http://www.altecology.ru>.
4. Солнечные батареи – энергия Солнца в электричество. URL: http://www.domastroim.ru/articles/electro/electro_1495.html.
5. Вайлов А.М., Эйгель Ф.И. Эксплуатация аккумуляторных батарей. М.: Талер, 2009. 170 с.
6. Устинов Т.И. Обслуживание стационарных свинцово-кислотных аккумуляторов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1974. 120 с.
7. Шибаров Д.В., Андреев С.А. Оценка эффективности маломощных гелиосистем // Современные достижения в области технических наук: Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции. Оренбург: ЭВЕНСИС, 2016. № 1. С. 14-17.
8. Гулиа Н.В. Удивительная механика // НЦ ЭНАС. ISBN5-9. М., 2006. 48 с.
9. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: Учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1990. 607 с.
10. Каштанов В.П., Титов В.В., Усков А.Ф. и др. Свинцовые стартерные аккумуляторные

батареи. Руководство по эксплуатации. М.: МО СССР, 1983. 5 с.

11. Тройнин М.Ф., Ушаков Н.С. Электрокары и электропогрузчики. Л.: Машиностроение, 1967. 216 с.

12. Шателен М.А., Миткевич В.Ф., Толвинский В.А. Справочная книга для электротехников. Т. 4. Л.: КУБУЧ, 1930. 391 с.

13. Шибаров Д.В., Андреев С.А. Эффективность использования химических и маховичных накопителей энергии в автономных гелиосистемах // EUROPEAN RESEARCH: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2016. С. 49-52.

14. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумуляция энергии: Учебно-справочное руководство. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 296 с.

15. Андреев С.А., Шибаров Д.В. Оценка эффективности инерционных динамических аккумуляторов в системах автономного электроснабжения // International Innovation Research: Сборник статей VI Международной научно-практической конференции / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. С. 51-54.

Статья поступила 19.06.2017

ACCUMULATION OF ENERGY IN SMALL-SIZE HELIOSYSTEMS OF AUTONOMOUS POWER SUPPLY

SERGEY A. ANDREYEV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: s.andreev@aol.com

VLADIMIR I. ZAGINAILOV, DSc (Eng), Professor

E-mail: energo-viz@mail.ru

DMITRY V. SHIBAROV

E-mail: dmitriy16@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

Autonomous systems play an increasing role in the structure of power supply of cottage houses. These systems were originally considered as emergency power supplies in short-term interruptions of centralized power supply, but subsequently they started being used as the main energy sources. Among autonomous power supply systems, a special place is occupied by solar systems using photoelectric converters. Due to the rapid progress in the production of photovoltaic modules, their efficiency increase and a sharp decrease in cost, autonomous solar systems have found wide year-round use in most regions of the Russian Federation. At the same time, the specific technique of solar energy conversion determines the need to use efficient energy storage facilities. The most widespread are chemical accumulators, which, however, have a high cost and a limited service life of 5-7 years. The analysis of modern devices for short-term energy storage has shown that inertial dynamic storage can be used effectively to operate in low-power solar systems. These accumulators are usually performed in a form of flywheels working together with an electric machine, which, depending on the mode, performs the functions of an engine or a generator. Modern inertial dynamic storage devices having a much higher specific energy capacity are absolutely ecological, in comparison with chemical accumulators, they also allow wide variation by charging and discharge modes and feature a practically unlimited lifetime. As an example, the authors have calculated main overall dimensions of a steel cylindrical flywheel as a component of a solar system for a cottage with a total installed electrical equipment capacity of 3 kW and a discharge rate of 15 hours.

Key words: autonomous power supply, solar system, photocells, energy storage, chemical accumulators, inertial dynamic accumulators, flywheels.

References

1. Brinkworth J. Solnechnaya energiya dlya cheloveka [Solar Energy for Man]. Translated from Eng-

lish by V.N. Ogloblev; Ed. By and with the preface of B.V. Tarnizhevsky. Moscow, Mir, 1976. 288 p. (in Rus.)

2. B.D. Reiss, D.B. Hanson, and M.A. Firestone, Evaluation of the photosynthetic reaction center protein

for potential use as a bioelectronic circuit element, *Biotechnol. Prog.* 23 (2007) 985-989.

3. Alteko. URL: <http://www.alteco.ru>. (in Rus.)

4. Solnechnyye batarei – energiya Solntsa v elektrichestvo [Solar batteries – turning the Sun energy into electricity]. URL: http://www.domastroim.ru/articles/electro/electro_1495.html.

5. Vaylov A.M., Eygel' F.I. Ekspluatatsiya akkumulyatornykh batarey [Storage battery operation]. Moscow, Taler, 2009. 170 p. (in Rus.)

6. Ustinov T.I. Obsluzhivaniye statsionarnykh svintsovo-kislotnykh akkumulyatorov [Maintenance of stationary lead-acid batteries]. 3rd ed., revised and extended. Moscow, Energiya, 1974. 120 p. (in Rus.)

7. Shibarov D.V., Andreyev S.A. Otsenka effektivnosti malomoshchnykh geliosistem [Evaluation of the efficiency of low-power solar systems]. *Sovremennyye dostizheniya v oblasti tekhnicheskikh nauk: Sbornik nauchnykh trudov po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Orenburg, EVENSIS, 2016. No.1. Pp. 14-17. (in Rus.)

8. Gulia N.V. Udivitel'naya mekhanika [Astonishing mechanics] // NTS ENAS. ISBN5-9. Moscow, 2006. 48 p. (in Rus.)

9. Nikitin N.N. Kurs teoreticheskoy mekhaniki: Ucheb. dlya mashinostroit. i priborostroit. spets. Vuzov [Course of Theoretical Mechanics: Textbook for machine building and instrument-making majors in universities]. 5th Ed., reviewed and extended. Moscow, Vyssh. shk., 1990. 607 p. (in Rus.)

10. Kashtanov V.P., Titov V.V., Uskov A.F. i dr. Svintsovyye starternyye akkumulyatornyye batarei. Rukovodstvo po ekspluatatsii [Lead starter storage

batteries. Manual]. Moscow, MO SSSR, 1983. 5 p. (in Rus.)

11. Troynin M.F., Ushakov N.S. Elektrokary i elektropogruzchiki [Electric vehicles and electric forklifts]. L., Mashinostroyeniye, 1967. 216 p. (in Rus.)

12. Shatelen M.A., Mitkevich V.F., Tolvinskiy V.A. Spravochnaya kniga dlya elektrotekhnikov [Reference book for electrical engineers]. Vol. 4. L., KUBUCH, 1930. 391 p. (in Rus.)

13. Shibarov D.V., Andreyev S.A. Effektivnost' ispol'zovaniya khimicheskikh i makhovichnykh nakopiteley energii v avtonomnykh geliosistemakh [Efficiency of the use of chemical and flywheel energy storage in autonomous solar systems]. *EUROPEAN RESEARCH: Sbornik statey VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ed.by G.Yu. Gulyayev. Penza, ICSR "Nauka i Prosveshcheniye", 2016. Pp. 49-52. (in Rus.)

14. Sorensen B. Preobrazovaniye, peredacha i akkumulirovaniye energii: Uchebno-spravochnoye rukovodstvo [Transformation, transmission and accumulation of energy: Study-reference manual]. Dolgoprudnyy, Izdatel'skiy Dom Intellect", 2011. 296 p. (in Rus.)

15. Andreyev S.A., Shibarov D.V. Otsenka effektivnosti inertsiyonnykh dinamicheskikh akkumulyatorov v sistemakh avtonomnogo elektrosnabzheniya [Evaluation of the efficiency of inertial dynamic accumulators in autonomous power supply systems]. *International Innovation Research: Sbornik statey VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Ed.by G.Yu. Gulyayev. Penza, ICSR "Nauka i Prosveshcheniye", 2017. Pp. 51-54. (in Rus.)

The paper was received on June 19, 2017

УДК 631.371:621.31:004

СТУШКИНА НАТАЛЬЯ АЛЕКСЕЕВНА, канд. техн. наук, доцент

E-mail: energo-stushkina@mail.ru

СИЛАЙЧЕВ СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ

E-mail: silis123@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Энергообеспеченность и конкурентоспособность сельскохозяйственных предприятий в современных условиях во многом зависит от применения современных методов контроля и учёта энергоресурсов на основе новейших разработок в сфере автоматизации и оптимизации процессов, сопровождающих энергоснабжение. Целью настоящей статьи выступает представление аналитического исследования мирового опыта