

БОРТОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ ЭНЕРГИИ
ON-BOARD ENERGY ACCUMULATORS

Статья поступила в редакцию 28.04.15. Ред. рег. № 2245

The article has entered in publishing office 28.04.15. Ed. reg. No. 2245

УДК 620.91: 658.286

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЗАРЯДКИ
ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

М.Г. Тягунов, П.С. Шуркалов

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
РФ 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д. 14
тел.: (495) 362-75-60, (495) 362-89-38; e-mail: universe@mpei.ac.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.10-11.011

Заключение совета рецензентов: 06.05.15 Заключение совета экспертов: 20.05.15 Принято к публикации: 03.06.15

Сегодня в мире развитие комплекса станций подзарядки электротранспорта, работающих как от электрической сети, так и от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), ведется довольно высокими темпами. В России распространение получили пока только сетевые станции подзарядки.

В данной статье рассматриваются результаты исследования эффективности использования гибридных энергетических комплексов (ГЭК) на основе ВИЭ, включающих в себя разные типы станций подзарядки, на территории России.

Ключевые слова: солнечная энергетика, ветроэнергетика, зарядная станция, станция замены аккумуляторных батарей, легкой электротранспорт.

**EFFICIENCY USE OF PLANTS BASED ON RENEWABLE ENERGY
SOURCES FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES IN RUSSIA**

M.G. Tyagunov, P.S. Shurkalov

«National Research University «MPEI»
14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250 Russian Federation
ph.: (495) 362-75-60, (495) 362-89-38; e-mail: universe@mpei.ac.ru

Referred 6 May 2015 Received in revised form 20 May 2015 Accepted 3 June 2015

The paper deals with the development of electric charging stations network for electric vehicles, operated both the power grid and renewable energy sources (RES), which is carried out fairly rapidly in the world today. In Russia only mains-operated charging stations have spread so far.

Moreover this paper discusses the results of investigation on efficiency of hybrid energy complexes based on RES, including different types of charging stations, in Russia.

Keywords: solar power engineering, wind power engineering, charging station, battery replacement station, passenger electric transport.



Михаил Георгиевич Тягунов
Mihail G. Tyagunov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии», ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

Образование: «Московский Энергетический Институт» (1970).

Область научных интересов: системный анализ процессов и систем управления энергетическими объектами.

Публикации: более 98, 3 авторских свидетельства.

Information about the author: DSc (engineering), professor of the "Hydropower and Renewable Energy" department, National Research University MPEI.

Education: Moscow Power Engineering Institute (1970).

Research area: system analysis of processes and management systems of energy facilities.

Publications: more than 98, 3 author's certificates.



Петр Сергеевич Шуркалов
Peter S. Shurkalov

Сведения об авторе: канд. техн. наук, ведущий инженер ОАО «Институт Гидропроект».

Образование: ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)» (2010).

Область научных интересов: гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии.

Публикации: 10.

Information about the author: PhD (engineering), principal engineer of Institute Hydroproject.

Education: MPEI (Technical University) (2010).

Research area: hydropower engineering and renewable energy sources.

Publications: 10.

Введение

С каждым годом количество автомобилей, загрязняющих атмосферу выхлопными газами, растет. В России на долю автотранспорта приходится 40 % всего объема загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, а в крупных городах этот показатель иногда достигает 90 %. Более того, по статистике средствами автотранспорта производится около 17 % глобального выброса парниковых газов [1, 2].

Одним из способов снижения уровня содержания загрязняющих веществ в атмосфере является разработка нетоксичных электрических транспортных

средств, их популяризация и внедрение в повседневную жизнь. На сегодняшний день рынок электрических транспортных средств в мире развивается довольно интенсивно, начался этот процесс и в России. Распределение электрических транспортных средств по странам (на сентябрь 2014 г) представлено на рисунке 1.

Согласно рисунку, мировыми лидерами по количеству действующих электромобилей являются США (более 260 тыс. шт.), Япония (более 95 тыс. шт.) и Китай (около 76 тыс. шт.) [3]. В России эксплуатируется чуть более 1 000 электромобилей.

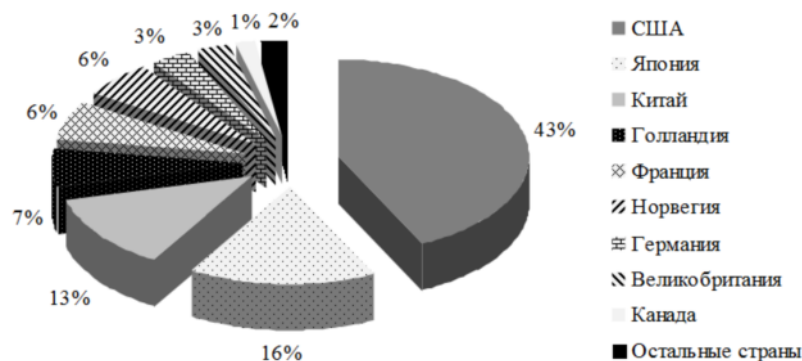


Рис. 1. Распределение электрических транспортных средств по странам (на сентябрь 2014 г.)

Fig. 1. Electric transport distribution in the countries of the world (September 2014)

Для нормальной эксплуатации электрических транспортных средств необходима соответствующая сеть станций подзарядки, которая сегодня представлена двумя типами, а именно:

– зарядными станциями, на которых осуществляется подзарядка аккумуляторных батарей (АКБ) электромобилей;

– станциями замены АКБ, на которых производится замена разряженных АКБ электромобилей на АКБ, предварительно заряженные на этих станциях.

В мире сеть станций подзарядки уже получила довольно широкое распространение. Так, в США их более 15 тыс., в Китае более 8 тыс., в Японии около 5 тыс., в России немногим более 40 станций первого типа [4–6]; станций второго типа в мире всего несколько десятков [4], а в России они вообще отсутствуют.

В настоящее время большинство зарядных станций и все станции замены АКБ работают от электроэнергии, получаемой из электрической сети. Это значит, что эффект от снижения выбросов за счет замещения автомобилей электромобилями нивелируется выбросами тепловых электростанций, которые обеспечивают рост мощности этого нового потребителя. Для того чтобы использование электромобилей дало ощутимый экологический эффект, энергоснабжение станций подзарядки целесообразно производить от гибридных энергетических комплексов (ГЭК) на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а в рекреационных зонах и заповедниках, согласно федеральному закону «О животном мире», такие станции становятся практически безальтернативными.

ГЭК на основе ВИЭ в структуре подзарядки средств электротранспорта способствуют:

- улучшению экологической обстановки в регионах;
- экономии ископаемых видов топлива;
- повышению энергобезопасности и энергонезависимости территорий.

Следует отметить, что в мире количество зарядных станций первого типа, работающих от ВИЭ, сегодня уже составляет более 300 штук [7]. В России, к сожалению, этих станций пока не существует.

Таким образом, оценка целесообразности сооружения ГЭК на основе ВИЭ для питания зарядных станций и станций замены АКБ весьма актуальна.

Цель и задачи исследования

Целью проведенного исследования являлась оценка эффективности использования ГЭК на основе

ВИЭ для питания зарядных станций или станций замены АКБ легковых электромобилей на территории России.

В рамках исследования были решены следующие задачи:

- Разработана математическая модель ГЭК, включающего зарядные станции или станции замены АКБ, электроустановки на основе солнечной и ветровой энергии, работающие параллельно с электрической сетью и автономно;

- Разработана методика и основанный на ней аппарат технико-экономического обоснования структуры и параметров ГЭК на основе ВИЭ для подзарядки АКБ легковых электромобилей;

- Оценена эффективность использования генерирующих установок на основе ВИЭ для энергоснабжения станций подзарядки АКБ в различных регионах России;

- Разработаны рекомендации по определению оптимальной структуры и мест размещения типовых ГЭК на основе ВИЭ и станций подзарядки.

Поставленные задачи решались при следующих условиях:

1. Исследуемые ГЭК обслуживают легковой электротранспорт:

- в городах;
- в рекреационных зонах и заповедниках;
- на промышленных предприятиях;
- на автомагистралях в зоне децентрализованного электроснабжения;

2. Для легкового электротранспорта используются следующие виды обслуживания:

- зарядка АКБ (на зарядных станциях);
- замена разряженных АКБ электромобилей на предварительно заряженные (на станциях замены АКБ);

3. Эффективность использования ГЭК в составе станций обслуживания электротранспорта рассматривается в 5 регионах России с различными климатическими и инфраструктурными условиями: в Московской, Ростовской, Свердловской областях, в Хабаровском и Приморском краях.

Математическая модель ГЭК

Задачи исследования решались с применением разработанной математической модели ГЭК в составе энергоустановок на основе ВИЭ и зарядных станций или станций замены АКБ. Структурно-функциональная схема такого ГЭК приведена на рисунке 2.

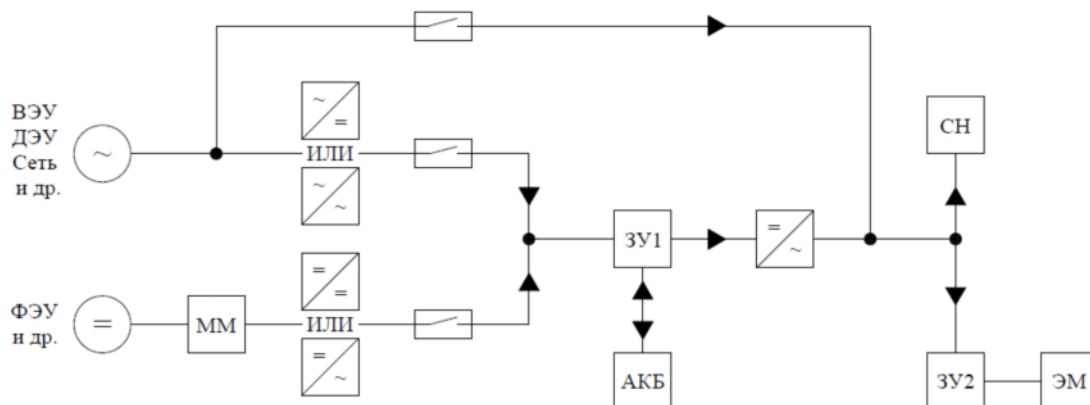


Рис. 2. Структурно-функциональная схема ГЭК:

ВЭУ – ветроэлектрическая установка; ДЭУ – дизельная электрическая установка; ФЭУ – фотоэлектрическая установка; ММ – устройство отбора максимальной мощности; АКБ – аккумуляторная батарея; СН – собственные нужды ГЭК; ЗУ – зарядное устройство; ЭМ – электромобиль

Fig. 2. Structural and functional diagram of hybrid energy complex:

ВЭУ – wind electrical plant; ДЭУ – diesel electric plant; ФЭУ – photovoltaic plant; ММ – maximum power take-off device; АКБ – storage battery; СН – needs of hybrid energy complex; ЗУ – charging device; ЭМ – electric vehicle

Так как в работе рассматривались только ресурсы солнца и ветра, в математическую модель ГЭК включены ресурсные и технологические модели ветроэнергетических и фотоэлектрических установок. Ресурсные модели представлены известными методами определения ресурсов солнечной и ветровой энергии, а технические модели – известными зависимостями мощности (выработки) электроустановок от режима поступления энергии ВИЭ.

Проведенный в ходе исследования анализ существующих научных работ [8–12] в области зарядки электротранспорта показал, что моделированию таких потребителей энергии, как станции подзарядки до настоящего времени в мире не было уделено достаточного внимания, а в России оно вообще не проводилось. Поэтому в статье были смоделированы несколько типов энергопотребителей:

- ночная зарядная станция;
- дневная зарядная станция;
- коммерческая зарядная станция;
- станция замены АКБ, обслуживающая таксопарк;
- станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия;
- станция замены АКБ, обслуживающая автопарк рекреационной зоны или заповедника;
- автономная станция замены АКБ.

Разница между этими типами станций заключается в различном графике их работы, а также в степени регулируемости этого графика собственником станции и характеризуется следующими показателями:

- ночная зарядная станция размещается на общественных или частных автостоянках, расположенных недалеко от жилых домов и организаций, где пик

спроса на подзарядку электромобилей приходится на ночное время суток;

- дневная зарядная станция размещается на автостоянках недалеко от муниципальных учреждений, торговых центров, зон отдыха, аэропортов, вокзалов и т.д., где пик спроса приходится на дневное время;

- коммерческая зарядная станция размещается на автозаправочных станциях; пик спроса приходится на дневное время;

- станция замены АКБ, обслуживающая автомобильный парк таксомоторной компании (пик спроса в ночное время суток);

- станция замены АКБ, обслуживающая автопарк промышленного предприятия, имеет равномерный в течение суток спрос (управляемый спрос);

- станция замены АКБ, обслуживающая автопарк рекреационной зоны, заповедника (пик спроса в дневное время – во время посещения зоны);

- автономная станция замены размещается на автомагистралях в зоне децентрализованного энергоснабжения (пик спроса в дневное время).

Моделирование зарядных станций и станций замены АКБ осуществляется с помощью графиков зависимости спроса на зарядку или замену АКБ электромобилей от времени суток и суточных графиков потребления этими станциями электрической и тепловой энергии с учетом введенных выше типов станций. В свою очередь, графики зависимости спроса от времени основываются на результатах зарубежных проектов [13–15] по внедрению и совместному тестированию электромобилей и зарядного комплекса, а графики потребления – на технических характеристиках оборудования ГЭК и АКБ электромобилей. Пример графиков, моделирующих станции подзарядки, приведен на рисунке 3.

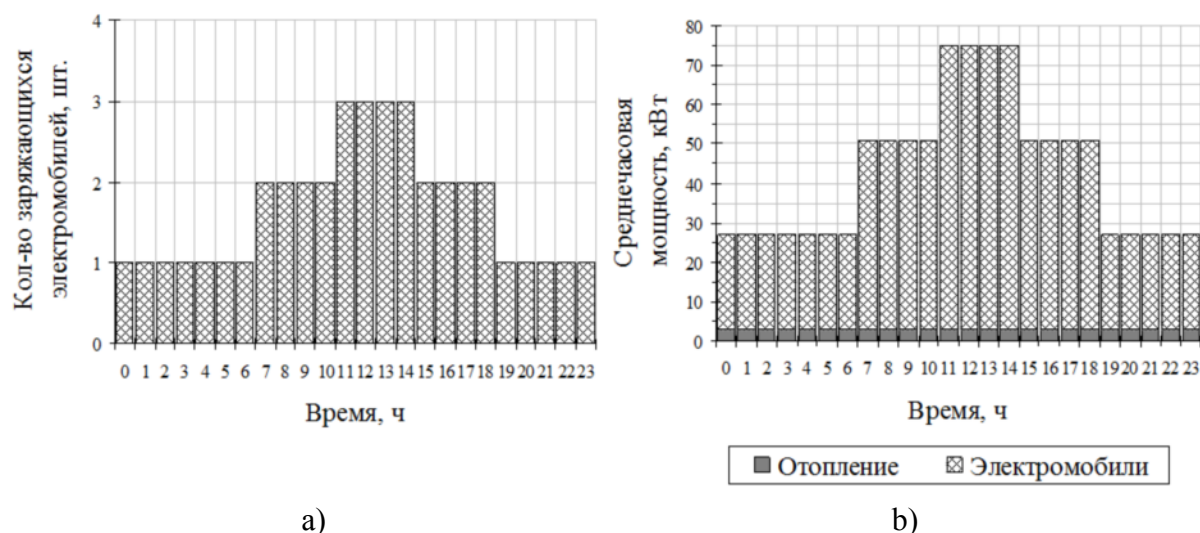


Рис. 3. Зависимость спроса на зарядку электромобилей от времени суток (а) и суточный график потребления тепловой и электрической энергии дневной зарядной станцией (б)
Fig. 3. The dependence of the demand for charging electric vehicles on the time of day (a) and the daily graph of heat and electric energy consumption for daily charging station (b)

Математическая модель ГЭК включает в себя условия, которые должны соблюдаться станциями всех типов в процессе их функционирования. Так, для ГЭК, включающих в себя зарядные станции, режим работы в упрощенном виде описывается в зависимости от того, какое количество АКБ ($n_{\text{АКБ}}$) имеется в составе ГЭК. Речь здесь идет о типовых аккумуляторных батареях, которые накапливают энергию

ВИЭ для последующего энергоснабжения собственных нужд (СН) ГЭК и подзарядки электромобилей.

В случае ГЭК с зарядными станциями возможны два варианта режима работы:

1) АКБ не входят в состав ГЭК, т.е. $n_{\text{АКБ}} = 0$. Тогда мощность, потребляемая из электрической сети, определяется как

$$N_{\text{Сети}}(t) = \begin{cases} P_{\text{ГЭК}}(t) - N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}\eta_{\text{Инв.}} & \text{при } P_{\text{ГЭК}}(t)/\eta_{\text{Инв.}} > N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}, \\ 0 & \text{при } P_{\text{ГЭК}}(t)/\eta_{\text{Инв.}} \leq N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}, \end{cases} \quad (1)$$

где $N_{\text{Сети}}(t)$ – мощность, потребляемая ГЭК из электрической сети, кВт; $P_{\text{ГЭК}}(t)$ – график нагрузки ГЭК, кВт; $N_{\text{ВИЭ}}(t)$ – мощность, вырабатываемая установками на основе ВИЭ, кВт; $\eta_{\text{Преобр.}}$ и $\eta_{\text{Инв.}}$ – КПД преобразователя и инвертора соответственно, о.е.;

2) в составе ГЭК имеются аккумуляторы в количестве $n_{\text{АКБ}} > 0$. Тогда при определении потребляе-

мой из сети мощности следует рассмотреть два варианта:

– если мощности ВИЭ недостаточно для выполнения баланса мощности, т.е. $P_{\text{ГЭК}}(t)/\eta_{\text{Инв.}} > N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}$, то из сети потребляется мощность

$$N_{\text{Сети}}(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } N_{\text{АКБ}}^{\text{Разр.}}(t) \geq P_{\text{ГЭК}}(t)/\eta_{\text{Инв.}} - N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}, \\ P_{\text{ГЭК}}(t) - (N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}} + N_{\text{АКБ}}^{\text{Разр.}}(t)\eta_{\text{Инв.}}) & \text{при } N_{\text{АКБ}}^{\text{Разр.}}(t) < P_{\text{ГЭК}}(t)/\eta_{\text{Инв.}} - N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $N_{\text{АКБ}}^{\text{Разр.}}(t)$ – мощность АКБ, кВт.

– если мощности ВИЭ достаточно для выполнения баланса мощности, т.е. $P_{\text{ГЭК}}(t)/\eta_{\text{Инв.}} \leq N_{\text{ВИЭ}}(t)\eta_{\text{Преобр.}}$, то

$$N_{\text{Сети}}(t) = 0. \quad (3)$$

Для ГЭК, включающих в себя станции замены АКБ, режим работы в упрощенном виде также описывается в зависимости от количества АКБ в составе ГЭК, однако в данном случае в качестве аккумуляторов энергии ВИЭ выступают АКБ электромобилей. В дальнейшем часть этих АКБ используется для энергоснабжения СН ГЭК, а часть – устанавливается на электромобили взамен разряженных АКБ.

Для ГЭК со станциями замены при $n_{\text{АКБ}} = n_{\text{АКБ}}^{\min}$, потребляемая из сети мощность составит:

$$N_{\text{Сети}}(t) = \begin{cases} P_{\text{ГЭК}}(t) - N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} & \text{при } P_{\text{ГЭК}}(t) > N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}}; \\ 0 & \text{при } P_{\text{ГЭК}}(t) \leq N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} \end{cases} \quad (4)$$

где $n_{\text{АКБ}}^{\min}$ – минимально допустимое количество полностью заряженных аккумуляторов электромобилей, которое должно быть доступно для замены АКБ.

При $n_{\text{АКБ}} > n_{\text{АКБ}}^{\min}$ возможны следующие варианты работы ГЭК с электрической сетью:

1) мощности ВИЭ недостаточно как для выполнения баланса мощности, так и для энергоснабжения СН комплекса, т.е. $P_{\text{ГЭК}}(t) > N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}}$ и $N_{\text{СН}}(t) > N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}}$, где $N_{\text{СН}}(t)$ – мощность СН ГЭК, кВт:

– если количества полностью заряженных аккумуляторов на станции достаточно и для удовлетворения спроса на замену АКБ, и для СН ГЭК, то $N_{\text{Сети}}(t) = 0$;

– если количества заряженных аккумуляторов недостаточно для энергоснабжения СН комплекса, то тогда недостающая часть питания СН потребляется из сети:

$$N_{\text{Сети}}(t) = N_{\text{СН}}(t) - N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} - n_{\text{АКБ}}^{\text{Част.разр.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}}^{\text{Текущ.}}(t) - n_{\text{АКБ}}^{\text{Доступ.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}} \quad (5)$$

где $n_{\text{АКБ}}^{\text{Част.разр.}}(t)$ – количество частично разряженных АКБ, шт.; $N_{\text{АКБ}}^{\text{Текущ.}}$ – текущий уровень заряда АКБ, кВт; $n_{\text{АКБ}}^{\text{Доступ.}}(t)$ – количество АКБ, которые можно

использовать для энергоснабжения СН ГЭК, шт.; $N_{\text{АКБ}}$ – полная мощность АКБ, кВт.

– если количества полностью заряженных аккумуляторов недостаточно для удовлетворения спроса на замену АКБ, то из сети потребляется мощность, необходимая не только для СН комплекса, но и для подзарядки необходимого количества АКБ,

$$N_{\text{Сети}}(t) = N_{\text{СН}}(t) - N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} - n_{\text{АКБ}}^{\text{Част.разр.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}}^{\text{Текущ.}}(t) + n_{\text{АКБ}}^{\text{Зар.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}} \quad (6)$$

где $n_{\text{АКБ}}^{\text{Зар.}}(t)$ – количество заряжающихся АКБ, шт.;

2) мощности ВИЭ достаточно для энергоснабжения СН комплекса или для выполнения баланса мощности, т.е. $P_{\text{ГЭК}}(t) > N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}}$ и $N_{\text{СН}}(t) \leq N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}}$ или $P_{\text{ГЭК}}(t) \leq N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}}$:

– если количества заряженных АКБ на станции достаточно для удовлетворения спроса на замену АКБ, то $N_{\text{Сети}}(t) = 0$;

– если количества полностью заряженных аккумуляторов недостаточно для удовлетворения спроса на замену АКБ, то тогда избыточная мощность ВИЭ, а также мощность из сети используются для подзарядки разряженных АКБ:

$$N_{\text{Сети}}(t) = \begin{cases} N_{\text{СН}}(t) - N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} + n_{\text{АКБ}}^{\text{Зар.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}} & \text{при } N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} < N_{\text{СН}}(t) + n_{\text{АКБ}}^{\text{Зар.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}}; \\ 0 & \text{при } N_{\text{ВИЭ}}(t) \cdot \eta_{\text{Преобр.}} \geq N_{\text{СН}}(t) + n_{\text{АКБ}}^{\text{Зар.}}(t) \cdot N_{\text{АКБ}} \end{cases} \quad (7)$$

Модели элементов ГЭК и условия их работы положены в основу методики и построенного на ней аппарата технико-экономического обоснования структуры и параметров ГЭК на базе ВИЭ и станций подзарядки.

Результаты исследования

Для численного анализа структуры и параметров ГЭК, в том числе эффективности его использования в различных районах России, была выбрана типовая структура его оборудования, приведенная в таблице 1.



Таблица 1

Оборудование, включенное в типовые варианты ГЭК

Table 1

Equipment included in the typical versions of the hybrid energy complex

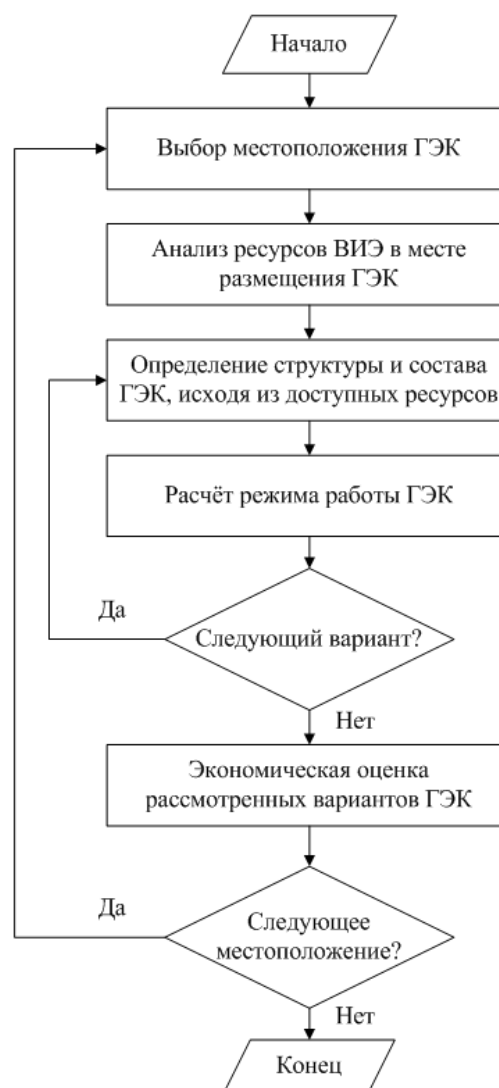
Ветроэлектрические установки			
Марка ВЭУ	PW-30/14 (ABЭУ-30)	TW 60	PK-10
Номинальная мощность установки, кВт	30	60	12
Высота башни, м	15	35	5,5
Скорость ветра включения, м/с	2,5	2,5	4
Расчетная скорость ветра, м/с	10	12	12
Солнечные модули			
Марка СМ	ТСМ-200В		
Мощность (пиковая), Вт	200		
Номинальный КПД, о.е.	0,15		
Дизельные электроустановки			
Марка ДЭУ	ДГУ АД-30	ДГУ АД-60	
Номинальная мощность установки, кВт	30	60	
Аккумуляторные батареи			
Марка АКБ	RA12-260		
Номинальная емкость, А·ч	260		
Аккумуляторные батареи электромобилей			
Электромобиль	Nissan Leaf	Chevrolet Volt	
Энергия, кВт·ч	24	16	

Алгоритм выбора структуры и параметров ГЭК приведен на рисунке 4. Алгоритм позволяет рассматривать разные варианты состава оборудования ГЭК, которые будут характерны для разных регионов России.

В ходе исследования был выполнен расчет режимов работы нескольких вариантов ГЭК, предполагающих размещение в разных регионах России. Результаты расчетов были представлены в графическом виде (примеры см. на рисунках 5 и 6).

Полученные зависимости отражают влияние состава и параметров оборудования ГЭК на такие показатели, как электропотребление из электрической сети или выработка дизельной электростанции (ДЭС), если в качестве резервного источника питания будет принята не электрическая сеть, а ДЭС. Это, в свою очередь, позволяет определить оптимальное с точки зрения минимума сетевого энергопотребления или экономии дизельного топлива количество оборудования разного типа.

Рис. 4. Алгоритм выбора структуры ГЭК в зависимости от его географического положения
Fig. 4. Hybrid energy complex structure selection algorithm depending on its geographical location



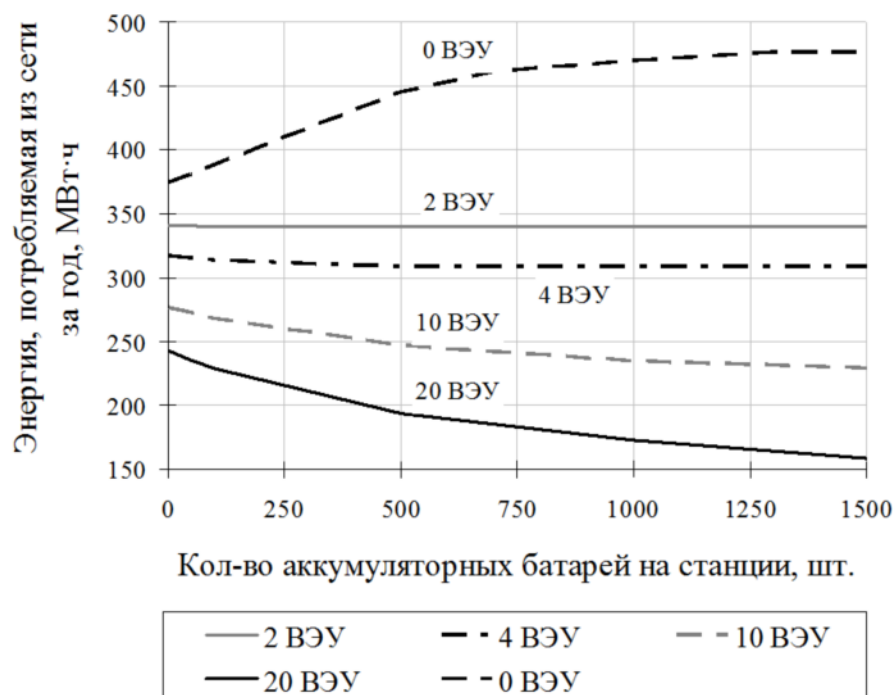


Рис. 5. Зависимость потребления из электрической сети от структуры ГЭК со станцией ночной зарядки
Fig. 5. The dependence of consumption from power grid on the structure of hybrid energy complex with nighttime charging station

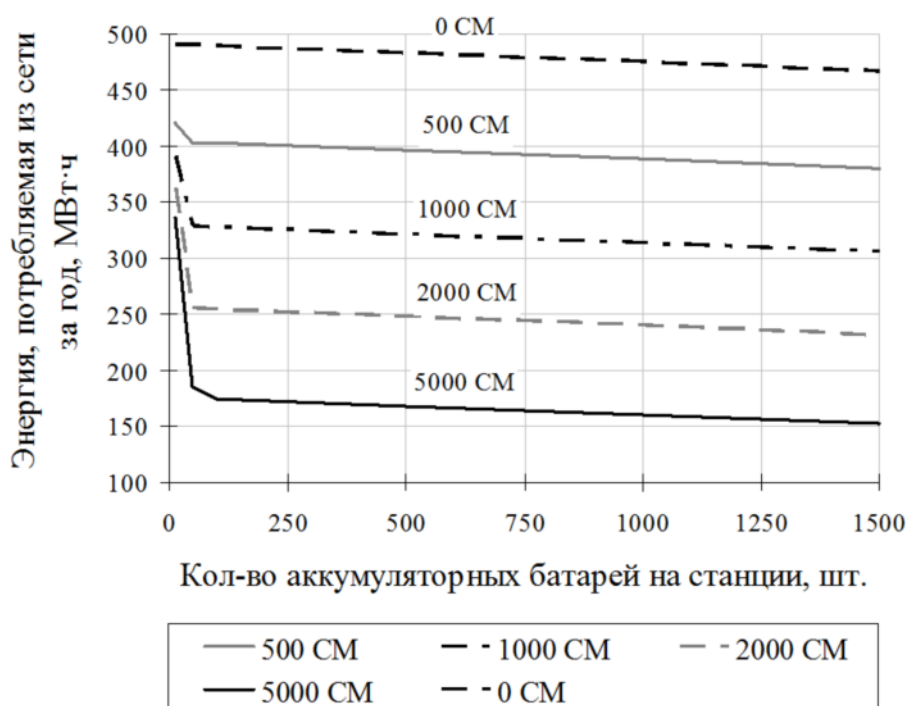


Рис. 6. Зависимость потребления из электрической сети от структуры ГЭК со станцией замены АКБ для таксопарка
Fig. 6. The dependence of consumption from power grid on the structure of hybrid energy complex with battery replacement station for taxi company

Оценка экономической эффективности осуществлялась на основе результатов расчетов режимов работы ГЭК двумя способами:

– по величине чистого дисконтированного дохода (ЧДД), т.е. стоимости будущих доходов за вычетом затрат, где первые и вторые приведены к сегодняшнему дню;

– путем сравнения стоимости подзарядки АКБ электромобиля со стоимостью заправки бензином автомобиля аналогичного класса.

Оценка эффективности по величине ЧДД ГЭК на основе ВИЭ, имеющих подключение к электрической сети, производилась путём сравнением этих комплексов с зарядкой от электрической сети. Для этого в ходе расчетов изменялись тарифы на сетевую электроэнергию. В свою очередь автономные ГЭК сравнивались с зарядкой от ДЭС. При этом изменялась стоимость дизельного топлива. Полученные в итоге результаты показали, что:

– ГЭК на основе ВИЭ станут эффективнее зарядки от электрической сети в том случае, если стоимость сетевой электроэнергии составит 8 руб./кВт·ч и более;

– автономные ветродизельные ГЭК, состоящие из ветроэлектрических станций (ВЭС) и ДЭС, при значительной удаленности комплексов от электрической сети по сравнению с зарядкой от ДЭС становятся эффективными уже при среднегодовой скорости ветра 4–4,5 м/с. Такие ветродизельные ГЭК могут сооружаться в Ростовской и Свердловской областях, в Хабаровском и Приморском краях, так как их вет-

ровой потенциал соответствует необходимым показателям [16].

Следует отметить, что для рекреационных зон и заповедников экологический эффект от использования ГЭК на основе ВИЭ превалирует над экономической эффективностью, поэтому в данном случае для всех рассматриваемых регионов России целесообразность использования ГЭК как на основе солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС), так и на ВЭС должна определяться условиями приобретения оборудования, строительства и монтажа, а также эксплуатации возводимых энергообъектов.

Для оценки сравнительной экономической эффективности зарядки электромобиля от ГЭК на основе ВИЭ по сравнению с заправкой легковых автомобилей бензином в ходе расчетов изменялась величина тарифа на продаваемую потребителям электроэнергию. Это позволило определить для каждого из рассмотренных вариантов ГЭК такую стоимость электроэнергии, при которой эти комплексы окупались бы в течение расчетного периода в 20 лет. Полученные результаты показывают, что при расходе топлива на 100 км пробега 8–10 л (стоимость эквивалентна 250–315 руб. для бензина А-95 и 260–320 руб. для дизельного топлива) и электропотреблении электромобилей Nissan Leaf и Chevrolet Volt на 100 км пробега соответственно 21 и 23 кВт·ч (стоимость подзарядки см. в таблице 2), стоимость зарядки электромобиля в некоторых случаях меньше стоимости заправки автомобиля.

Стоимость подзарядки электромобиля, приведенная для 100 км пробега

Таблица 2

Table 2

The cost of charging an electric vehicle, reduced to 100 kilometers run

Тип станции подзарядки	Электроснабжение станции подзарядки от			
	ДЭС	ГЭС на основе СФЭС	ГЭС на основе ВЭС	ГЭС на основе СФЭС и ВЭС
Для районов с централизованным энергоснабжением (дублирование от электрической сети)				
Зарядная станция	–	330–400 руб.	105–240 руб.	350–510 руб.
Станция замены АКБ	–	245–350 руб.	120–225 руб.	255–445 руб.
Для изолированных районов (дублирование от ДЭС)				
Станция замены АКБ	510 руб.	805–865 руб.	425–655 руб.	745–1 000 руб.

Выводы

В целом можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная математическая модель ГЭК позволяет имитировать режимы работы электроустановок на основе солнечной и ветровой энергии, ти-

повых АКБ или АКБ легковых электромобилей и зарядных станций или станций замены АКБ с дублированием энергоснабжения от электрической сети или ДЭС;

2. Исследование влияния состава и параметров ГЭК на режимы его работы показало, что:

– при одинаковой установленной мощности ВЭС, целесообразнее включать в ее состав ВЭУ и ДЭУ с большей единичной установленной мощностью;

– ГЭК, подключенные к электрической сети, наиболее эффективны для станций подзарядки, пик энергопотребления которых приходится на вечернее и ночное время суток;

3. Методика обоснования состава и параметров ГЭК может быть использована для анализа ГЭК различной структуры, которая изменяется путем замены или исключения моделей отдельных элементов ГЭК;

4. Эффективность использования ГЭК оценивается:

- для районов с централизованным электроснабжением:

– ГЭК на основе ВЭС и зарядной станцией или станцией замены АКБ эффективны при среднегодовой скорости ветра более 3,5 м/с (целесообразно использовать в Ростовской и Свердловской областях, в Хабаровском и Приморском краях);

– ГЭК со СФЭС и станцией замены АКБ эффективны при среднегодовом приходе солнечного излучения более 190 Вт/м² (целесообразно использовать в Хабаровском крае);

- для изолированных районов ГЭК с ВЭС и станцией замены АКБ более эффективны, чем аналогичные ГЭК с ДЭС, при среднегодовой скорости ветра 4–4,5 м/с (целесообразно использовать в Ростовской и Свердловской областях, в Хабаровском и Приморском краях);

5. Разработанные рекомендации по определению оптимальной структуры типовых ГЭК на основе станций подзарядки и ВИЭ позволяют оценивать эффективность использования ГЭК в различных регионах страны при задании для каждой территории значений валового потенциала ВИЭ и условий использования ГЭК.

Список литературы

1. Меморандум о реализации программы развития экологически чистого автономного электрического транспорта и зарядной инфраструктуры на территории г. Москвы (программа «Экополис»). М.: Пресс-релиз: Революта, 2011–2013. [Электронный ресурс]: http://revolta.ru/files/Press%20release%20RU%2015_02_2012.pdf.

2. Кудряшова Ю.С., Мельников С.А., Семутникова Е.Г. и др. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2012 году. Правительство Москвы, Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы. М.: Спецкнига, 2012.

3. Electric Car Use by Country. [Электронный ресурс]: Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_use_by_country

4. Electric Vehicle Network. [Электронный ресурс]: Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_network

5. Революта. Зарядная инфраструктура. Электро-транспорт. МОЭСК-EV. М.: Революта, 2011–2013. <http://revolta.ru>

6. МОЭСК-EV. [Электронный ресурс]: МОЭСК-EV, 2011–2013. <http://moesk-ev.ru>

7. SolarChargedDriving. Plugging the World into the Power of the Sun. [Электронный ресурс]: SolarChargedDriving, 2009–2013. <http://solarchargeddriving.com>

8. Sparacino A.R. Design and Simulation of a DC Electric Vehicle Charging Station Interconnected with a MVDC Network. University of Pittsburgh, 2012.

9. Johannes Urban, Manfred Bruckmann, Andreas Welsch. Evaluation of Solar DC/DC Charging Concepts in Off-Grid Operation. HS Regensburg, 2012.

10. Горинов К.А., Тюхов И.И. Фотоэлектрические станции для зарядки электромобилей // Возобновляемые источники энергии: материалы восьмой научной молодежной школы с международным участием. М.: Университетская книга. 2012. С. 80–85.

11. Patten John, Christensen Nathan, Srivastava Steven, Nola Gary. Wind Charged Plug-In Hybrid Electric Vehicle // Green Manufacturing Research Journal, 2011. [Электронный ресурс]: <http://scholarworks.wmich.edu/greenmanufacturing/1/>

12. Jessica Grove-Smith. Charging Station for Electric Vehicles. Nordic Folkecenter for Renewable Energy, 2008.

13. American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) – Light-Duty Electric Drive Vehicle and Charging Infrastructure Testing. The EV Project Vehicle Charging Infrastructure. [Электронный ресурс]: Idaho National Laboratory. <http://avt.inel.gov/evproject.shtml>

14. American Recovery and Reinvestment Act (ARRA) – Light-Duty Electric Drive Vehicle and Charging Infrastructure Testing. ChargePoint America Vehicle Charging Infrastructure. [Электронный ресурс]: Idaho National Laboratory. <http://avt.inel.gov/chargepoint.shtml>

15. John Smart, Jamie Davies, Matthew Shirk, Casey Quinn, Kenneth S. Kurani. Electricity Demand of PHEVs Operated by Private Households and Commercial Fleets: Effects of Driving and Charging Behavior // The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition, 2010.

16. Метеорологическая база данных «Meteonorm». [Электронный ресурс]: <http://meteonorm.com>.



References

1. Memorandum o realizacii programmy razvitiâ èkologičeski čistogo avtonomnogo èlektričeskogo transporta i zarâdnoj infrastruktury na territorii g. Moskvy (programma «Èkopolis»). Press-reliz: Revol'ta, M., 2011–2013. Available at: http://revol-ta.ru/files/Press%20release%20RU%2015_02_2012.pdf. (in Russ.).
2. Kudryashova Yu.S., Melnikov S.A., Semutnikova E.G. et al. Doklad o sostoânii okružâûšej sredy v gorode Moskve v 2012 godu. Pravitel'stvo Moskvy, Departament prirodopol'zovaniâ i ohrany okružâûšej sredy goroda Moskvy. Moscow: Spekniga Publ., 2012 (in Russ.).
3. Electric Car Use by Country. Available at: Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car_use_by_country (in Eng.).
4. Electric Vehicle Network. Available at: Wikipedia, the Free Encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_network (in Eng.).
5. Revol'ta. Zarâdnaâ infrastruktura. Èlektrotransport. MOÈSK-EV: Available at: Revol'ta, M., 2011–2013. <http://revolta.ru> (in Russ.).
6. MOÈSK-EV: MOÈSK-EV, 2011–2013. Available at: <http://moesk-ev.ru> (in Russ.).
7. SolarChargedDriving. Plugging the World into the Power of the Sun: SolarCharged-Driving, 2009–2013. Available at: <http://solarchargeddriving.com> (in Eng.).
8. Sparacino A.R. Design and Simulation of a DC Electric Vehicle Charging Station Interconnected with a MVDC Network. University of Pittsburgh, 2012 (in Eng.).
9. Johannes Urban, Manfred Bruckmann, Andreas Welsch. Evaluation of Solar DC/DC Charging Concepts in Off-Grid Operation. HS Regensburg, 2012 (in Eng.).
10. Gorinov K.A., Tyuhov I.I. Fotoèlektričeskie stan-cii dlâ zarâdki èlektromobilej. *Vozobnovlâemye istočniki ènergii: materialy vos'moj naučnoj molodežnoj školy s meždunarodnym učastiem*. Moscow: Universitetskââ kniga Publ., 2012, pp. 80–85 (in Russ.).
11. Patten John, Christensen Nathan, Srivastava Steven, Nola Gary. Wind Charged Plug-In Hybrid Electric Vehicle // *Green Manufacturing Research Journal*, 2011. Available at: <http://scholar-works.wmich.edu/greenmanufacturing/1/> (in Eng.).
12. Jessica Grove-Smith. Charging Station for Electric Vehicles. Nordic Folkecenter for Renewable Energy, 2008 (in Eng.).
13. American Recovery and Reinvestment Act (AR-RA) – Light-Duty Electric Drive Vehicle and Charging Infrastructure Testing. The EV Project Vehicle Charging Infrastructure. Available at: Idaho National Laboratory. <http://avt.inel.gov/evproject.shtml> (in Eng.).
14. American Recovery and Reinvestment Act (AR-RA) – Light-Duty Electric Drive Vehicle and Charging Infrastructure Testing. ChargePoint America Vehicle Charging Infrastructure. Available at: Idaho National Laboratory. <http://avt.inel.gov/chargepoint.shtml> (in Eng.).
15. John Smart, Jamie Davies, Matthew Shirk, Casey Quinn, Kenneth S. Kurani. Electricity Demand of PHEVs Operated by Private Households and Commercial Fleets: Effects of Driving and Charging Behavior. *The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition*, 2010 (in Eng.).
16. Meteorologičeskââ baza dannyh «Meteonorm». Available at: <http://meteonorm.com> (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

