Статья поступила в редакцию 03.12.13. Ред. рег. № 1880 The article has entered in publishing office 03.12.13. Ed. reg. No. 1880

УДК 621.311.2

ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОТРЕБИТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ БАТАРЕЙ

В.С. Афонин, М.Р. Бавин, Р.В. Пугачев, Т.А. Шестопалова

Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
ул. Красноказарменная, д.14, г. Москва, 111250, Россия
Тел.:(495) 362-72-51, e-mail: nvie@fee.mpei.ac.ru

Заключение совета рецензентов 05.12.13 Заключение совета экспертов 09.12.13 Принято к публикации 11.12.13

Рассмотрены энергетические комплексы на основе преобразования солнечной энергии голографическими фотоэлектрическими батареями, а также на основе преобразования низкопотенциальной энергии тепловыми насосами для покрытия нагрузок систем отопления, горячего водоснабжения и электроснабжения.

Ключевые слова: нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, солнечные коллекторы, фотоэлектрические модули, тепловые насосы, голографические фотоэлектрические батареи.

HYBRID ENERGY COMPLEXES OF RENEWABLE ENERGY FOR INDEPENDENT CONSUMERS USING HOLOGRAPHIC PHOTOVOLTAICS

V.S. Afonin, M.R. Bavin, R.V. Pugachev, T.A. Shestopalova

National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
14 Krasnokazarmennaya St., Moscow, 111250, Russia
Tel.: +7 (495) 362-72-51, e-mail: nvie@fee.mpei.ac.ru

Referred 05.12.13 Expertise 09.12.13 Accepted 11.12.13

Energy systems, based on solar energy conversion holographic photovoltaic panels, as well as on the basis of low-grade energy conversion heat pumps meeting loads of heating, hot water and electricity, are considered.

Keywords: alternative and renewable energy sources, energy efficiency, solar collectors, photovoltaic modules, heat pumps, photovoltaic holographic.



Вячеслав Сергеевич Афонин

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии».

Образование: Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (2011).

Область научных интересов: тепловые насосы.

Публикации: 12публикаций.

© Scientific Technical Centre «TATA», 2013



Максим Радомирович Бавин

Сведения об авторе: аспирант кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии».

Образование: Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (2011).

Область научных интересов: фотоэлектрические установки.

Публикации: 9 публикаций.



Роман Викторович Пугачев

Сведения об авторе: доцент кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии».

Образование: Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (1999).

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии.

Публикации: 37 публикаций.



Татьяна Александровна Шестопалова

Сведения об авторе: доцент кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии».

Образование: Фрунзенский политехнический институт (1978).

Область научных интересов: электроснабжение автономных потребителей на базе возобновляемых источников энергии.

Публикации: 61 публикация.

Введение

Современный топливно-энергетический комплекс (ТЭК) мира развивается в условиях, которые определяются рядом факторов как экономического, так и социально-экологического характера. С одной стороны, факторы, стимулирующие развитие ТЭК: рост населения Земли и повышение уровня его жизни во всех странах мира. С другой стороны, действуют факторы, сдерживающие развитие ТЭК, в том числе: ограниченность энергетических ресурсов на Земле, их неравномерное распределение по странам, рост стоимости ресурсов, рост роли социально-экологических факторов, определяющих сегодня темпы развития мировой экономики в целом [1].

Основу ТЭК составляют электростанции, базирующиеся на использовании ископаемых источников энергии: тепловые электрические станции (ТЭС), атомные электрические станции (АЭС), а также средние и крупные гидроэлектростанции (ГЭС). Все они дошли по масштабам до такого уровня развития, что их функционирование стало сказываться на условиях жизни человека на Земле. Понимая это, большинство стран мира в течение десятков лет исследуют возможности внедрения в ТЭК слабо использующихся на земле возобновляемых источников энергии (ВИЭ), обладающих минимальным влиянием на окружающую среду [2].

Согласно прогнозу МЭА, к 2035 г. мировое потребление энергии возрастет примерно в 1,5 раза. Наибольшими темпами будет развиваться использование ВИЭ. К 2035 г. предполагается удвоение вклада ВИЭ в мировой энергетический баланс (в среднем рост 2,6% в год) [3].

Большую роль в развитии ВИЭ играет фотовольтаика. Так производство солнечных фотоэлектрических установок (СФЭУ) в 2009 году составило 11,5 ГВт, прирост производства составил около 56% по сравнению с 2008 годом. С 2000 года общее производство СФЭУ возросло в 30 раз.

Теоретический анализ

ТЭК России является одним из важнейших секторов экономики страны. На территории России сосредоточены около 21% запасов природного газа (1 место в мире), 18% запасов угля (2 место в мире), 5% запасов нефти (8 место в мире) [4].

© Научно-технический центр «ТАТА», 2013

С ростом использования органических источников энергии повышается себестоимость энергии (топливная составляющая ТЭС), повышается опасность эксплуатации АЭС, увеличиваются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Кроме того, для России характерна высокая распределённость потребителей и отсутствие системы централизованного энергоснабжения удаленных участков страны. Ввиду этого установки на базе ВИЭ могут использоваться в качестве основных источников в автономных системах или в качестве резервных в системах гарантированного энергоснабжения.

Актуальные энергетические задачи, решаемые при разработке гибридных энергетических комплексов (ГЭК), заключаются в следующем:

1. Бесперебойное снабжение потребителя энергией.
2. Повышение качества электрической и тепловой энергии.
3. Применение оборудования с лучшими характеристиками.
4. Обеспечение надежной работы системы управления.
5. Объединение энергетических установок разного типа (в том числе и на основе ВИЭ) и оптимизация их работы с учетом особенностей каждого типа генерации [5].

Решение данных задач исключает вероятность аварийного отключения потребителей энергии, повышает срок службы устройств потребления тепловой и электрической энергии, позволяет регулировать перетоки энергии во всех направлениях при использовании потребителей-регуляторов, в том числе для ее накопления. Использование ВИЭ является стратегической задачей, определяющей перспективы устойчивого развития многих стран, а также удаленных от сетей централизованного энергоснабжения регионов в условиях постепенного истощения дешевых запасов ископаемого органического топлива и угрозы все большего антропогенного загрязнения окружающей среды. Многие технологии использования ВИЭ уже сегодня достигли уровня конкурентоспособности и постепенно выходят на рынок, в том числе и российский [6,7].

Методика исследования

Для решения задач, возникающих при разработке ГЭК, составлена универсальная структурная схема, общий вид которой приведен на рис. 1, где АЭ – аккумуляторы электрохимические, ТА – тепловые аккумуляторы, ПР – потребитель-регулятор, ОВК –системы отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения, ЭС – системы электроснабжения.

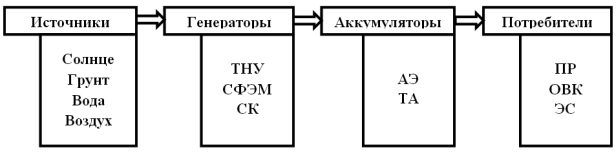


Рис. 1.Универсальная структурная схема ГЭК
Fig. 1. Universal block diagram of HES

На основе универсальной структурной схемы ГЭК разработана общая принципиальная схема ГЭК на базе использования ВИЭ, представленная на рис. 2, где: 1 – тепловой насос, 2 – водонагреватель (ГВС), 3 – солнечные коллекторы, 4 – теплообменник контура источника тепла, 5 – модуль отопления/кондиционирования, 6 – теплоаккумулятор, 7 – голографические фотоэлектрические модули, 8 – контроллер заряда АКБ, 9 – АКБ, 10 – инвертор, 11– блок ввода резервного источника электроснабжения.

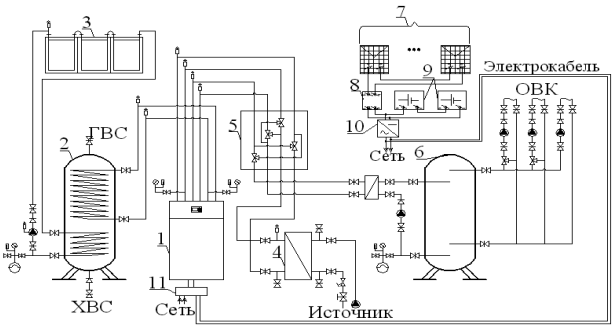


Рис. 2. Общая принципиальная схема ГЭК на базе ВИЭ
Fig. 2. General schematic diagram of HES, based on renewable energy

Методика моделирования работы ГЭК на базе НВИЭ описывается следующими основными расчетными формулами:

$$Э_{\Sigma}^{\beta\gamma} = Э_{ПР}^{\beta\gamma} + Э_{Д}^{\beta\gamma} + Э_{ОТР}^{\beta\gamma}, \quad (1)$$

где $Э_{\Sigma}^{\beta\gamma}$ – суммарный приход радиации на приемную площадку, $Э_{ПР}^{\beta\gamma}$, $Э_{Д}^{\beta\gamma}$, $Э_{ОТР}^{\beta\gamma}$ – прямой, диффузный и отраженный приходы солнечной радиации соответственно.

$$Q_{о.н.} = Q_{тр.} + Q_{инф.} - Q_{в.т.} - Q_{ост.}, \quad (2)$$

где $Q_{о.н.}$ – отопительная нагрузка, определяющаяся трансмиссионными и инфильтрационными потерями, а также бытовыми тепловыделениями и приходом солнечной радиации через остекления.

$$q_a = 10^9 \frac{Q_H(\frac{\eta-1}{\eta}) - Q_C(\frac{\varepsilon+1}{\varepsilon})}{T_{год}} = 31,71\left[Q_H(\frac{\eta-1}{\eta}) - Q_C(\frac{\varepsilon+1}{\varepsilon})\right], \quad (3)$$

© Scientific Technical Centre «TATA», 2013

где q_a – удельный съем тепла от источника тепла (в данном случае – грунт), зависящий от числа часов использования грунтовых скважин, холодо- и теплопроизводительности грунта и коэффициентов преобразования теплового насоса.

Результаты исследования и их обсуждения

В результате исследования были выделен ряд характерных схем построения ГЭК на базе возобновляемых источников энергии и определены их особенности.

Воздушная ТНУ для работы на системы отопления и СФЭМ для работы на систему электроснабжения. Данная схема характерна для южных регионов России, где целесообразна работа воздушных ТНУ ($t_{расч} \geq -20^{\circ}$ С). Источники энергии ГЭК – воздух и солнце. Генераторы – ТНУ и СФЭМ. Аккумуляторы – электрические (для покрытия графика электрической нагрузки в период недостаточной освещенности СФЭМ), тепловые (емкость с запасом теплоносителем ОВК). Потребители – системы ОВК и ЭС. В качестве потребителя-регулятора может выступать тепловой аккумулятор. Особенности – низкие капитальные затраты в ГЭК, зависимость графика электрической нагрузки от температуры атмосферного воздуха $t_{атм}$ (из-за изменения коэффициента преобразования (СОР)ТНУ).

Грунтовая (водяная) ТНУ для работы на системы отопления, вентиляции и кондиционирования и СФЭМ для работы на систему электроснабжения. Данная схема характерна для центральных и северных регионов России, где целесообразна работа грунтовых (водяных) ТНУ ($t_{расч}$<-20°С). Источники энергии ГЭК – грунт (вода) и солнце. Генераторы – ТНУ и СФЭМ. Особенности – высокие капитальные затраты в ГЭК (необходимо дорогое бурение), зато система обеспечивает гарантированное теплоснабжение. ГЭК также может работать и на систему охлаждения отдельных потребителей, в том числе вырабатывая параллельно тепловую энергию (например, на систему ГВС; тригенерационная система).

Грунтовая ТНУ и СК для работы на системы отопления, вентиляции и кондиционирования и СФЭМ для работы на систему электроснабжения. Данная схема характерна для центральных и северных регионов России, где целесообразна работа грунтовых ТНУ ($t_{расч}$<-20ºС). Источники энергии ГЭК – грунт (вода) и солнце. Генераторы – ТНУ и СФЭМ. Особенности – солнечные коллекторы в летнее время работают на систему горячего водоснабжения, в зимнее – на системы отопления и горячего водоснабжения (с приоритетом на ГВС). При этом любые излишки тепловой энергии от СК могут запасаться в потребителе-регуляторе, в качестве которого выступает грунт. В этом случае происходит его размораживание, и, как следствие, повышение коэффициента преобразования ТНУ и снижение потребления им электроэнергии. Данная схема является уникальной для российского рынка, позволяет обеспечивать потребителя бесперебойным энергоснабжением с наивысшей энергоэффективностью.

*Возможности технической оптимизации работы ГЭК***.** Среди путей оптимизации работы ГЭК можно выделить два направления: режимная оптимизация, заключающаяся в отладке работы всех элементов комплекса, по какому-либо критерию, а также повышение эффективности составных элементов. В рамках данной работы предлагается использование разработанных на кафедре «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» НИУ «МЭИ» голографических солнечных фотоэлектрических модулей (ГСФЭМ), принципиальная схема построения которых представлена на рис. 3.

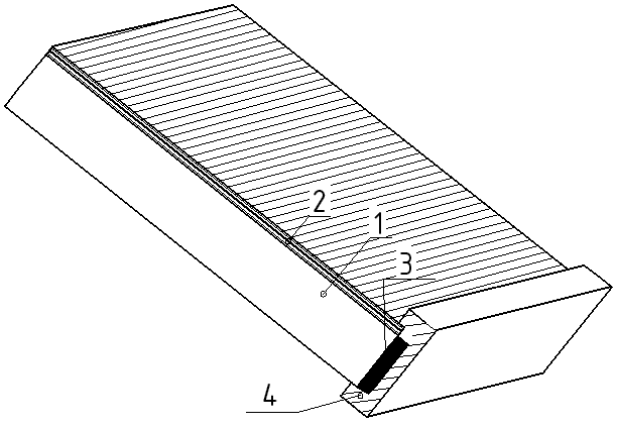


Рис. 3. Принципиальная схема построения ГСФЭМ (поперечное сечение)
Fig. 3. Schematic diagram of GSFEM construction (cross-section)

Здесь мультиплексная голограмма 2, находится на верхней грани условно оптически прозрачного слоя 1. В нижней торцевой поверхности модуля располагается набор фотоэлементов 3, который закреплен на металлическом каркасе 4, служащем радиатором охлаждения фотоэлемента.

Солнечное излучение попадает на мультиплексную голограмму, преломляется под углом меньшим угла полного внутреннего отражения оптического слоя и концентрируется на фотоэлемент.

Подобное решение помогает снизить стоимость установленной мощности фотоэлектрической установки до показателя 1-1,5 $/Вт.

Помимо снижения стоимости установки, происходит увеличение выработки электроэнергии за счет селективной работы голографической пленки при различных углах падения солнца. Увеличение выработки ГСФЭМ, определенное методами моделирования, по отношению к выработке стандартного кремниевого фотоэлектрического модуля продемонстрировано на рис. 4.

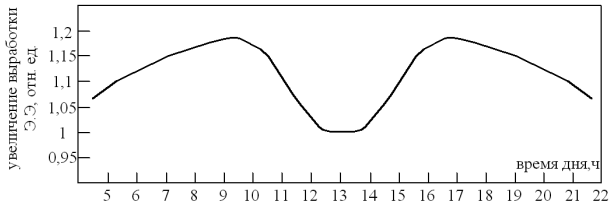


Рис. 4. Увеличение выработки ГСФЭМ по отношению к стандартному СФЭМ в течение летнего дня для г. Москва
Fig. 4. Increased GSFEM production relative to standard SFEM during summer days in Moscow

При пересчете выработки электроэнергии на годовой интервал времени прирост выработки ГСФЭМ по отношению к классическому фотоэлектрическому модулю достигает 35%.

Таким образом, использование ГСФЭМ в гибридных энергетических комплексах позволяет существенно увеличить энергетическую и экономическую эффективность рассматриваемых энергетических комплексов.

Заключение

Предложены схемы построения ГЭК на базе НВИЭ, которые характеризуются энергоэффективностью и минимумом выбросов CO_2 в атмосферу. Ряд предложенных схем построения ГЭК является инновационными для российского рынка. Применение голографических солнечных фотоэлектрических батарей позволяет повысить энергетическую эффективность ГЭК на 35% по сравнению с классическими фотоэлектрическими батареями. Дальнейшими путями совершенствования работы ГЭК является повышение энергетической эффективности составных элементов.

Список литературы

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технологические аспекты. Энергетическая безопасность. «Проблемы функционирования и развития электроэнергетики». М.: МГФ «Знание». 2001.

2. Окороков В.Р., Окороков Р.В. Современные энергетические технологии и социальные экономические последствия их использования // Академия энергетики. 2008. Т. 25. № 5. С. 16-25.

3. Фортов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире: Научное издание. Долгопрудный: Издательский дом “Интеллект”. 2011.

4. BP Statistical Review of World Energy. June 2012.

5. Афонин В.С., Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Тягунов М.Г., Шестопалова Т.А. Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. № 2 (44) М.: МИЭЭ. С. 20-27.

6. Баранов Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ. 2012.

7. Попель О.С., Фрид С.Е., Коломиец Ю.Г. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России. М.: Объединенный институт высоких температур РАН. 2010.

References

1. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-èkonomičeskie i naučno-tehnologičeskie aspekty. Ènergetičeskaâ bezopasnost'. «Problemy funkcionirovaniâ i razvitiâ èlektroènergetiki». M.: MGF «Znanie». 2001.

2. Okorokov V.R., Okorokov R.V. Sovremennye ènergetičeskie tehnologii i social'nye èkonomičeskie posledstviâ ih ispol'zovaniâ // Akademiâ ènergetiki. 2008. T. 25. № 5. S. 16-25.

3. Fortov V.E., Popel' O.S. Ènergetika v sovremennom mire: Naučnoe izdanie. Dolgoprudnyj: Izdatel'skij dom “Intellekt”. 2011.

4. BP Statistical Review of World Energy. June 2012.

5. Afonin V.S., Vas'kov A.G., Derûgina G.V., Tâgunov M.G., Šestopalova T.A. Sistemnye svojstva gibridnyh ènergokompleksov na osnove vozobnovlâemyh istočnikov ènergii // Ènergobezopasnost' i ènergosbereženie. 2012. № 2 (44) M.: MIÈÈ. S. 20-27.

6. Baranov N.N. Netradicionnye istočniki i metody preobrazovaniâ ènergii: učebnoe posobie dlâ vuzov. M.: Izdatel'skij dom MÈI. 2012.

7. Popel' O.S., Frid S.E., Kolomiec Û.G. Atlas resursov solnečnoj ènergii na territorii Rossii. M.: Ob"edinennyj institut vysokih temperatur RAN. 2010.

Транслитерация по ISO 9:1995

© Scientific Technical Centre «TATA», 2013