

Стратегия развития системы энергоснабжения студгородка МЭИ на основе концепции зеленого строительства

И.А. Султангузин¹, Е.В. Жигулина¹, Ю.В. Яворовский¹, И.Д.Калякин¹, А.В. Говорин¹,
А.А. Кролин², С.В. Гужов²

¹ Кафедра промышленных теплоэнергетических систем, Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия

² Отдел энергоменеджмента, Национальный исследовательский университет "МЭИ", Москва, Россия

E-mail: ZhigulinaYV@mpei.ru

Аннотация

В статье представлена стратегия развития системы энергоснабжения для Национального исследовательского университета "Московский энергетический Институт" (НИУ «МЭИ») зданий на основе концепции зеленого строительства. Показана разработка математической модели одного из учебных корпусов МЭИ (корпуса М), связанного с научно-технической библиотекой университета. Модель была создана в графической программе designPH и пакете планирования пассивного дома PHPP. Представлены результаты расчета системы энергоснабжения здания с низким потреблением энергии.

Ключевые слова

Зеленое строительство, пассивный дом, дом с нулевым потреблением энергии, потребление энергии

Строительство энергоэффективных зданий и сооружений с минимальным потреблением энергии в России является одной из основных задач в решении проблем энергосбережения. Здесь оптимальных решений должны быть оценены для Северной, средней и Южной климатических зон с учетом их специфических особенностей.

Решение задач оптимизации на основе математической модели позволяет определить оптимальные параметры системы энергоснабжения, при которой необходимая мощность рассматриваемого объекта будет достигнута. Это позволит использовать возобновляемые источники энергии и сохранению ископаемого топлива, которое является актуальным, поскольку существующих запасов снижаются.

В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ от 23.11.2009 "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" начиная с 01.01.2010 государственного (муниципального) учреждения должны обеспечить снижение в сопоставимых условиях потребления воды, дизельного и иного топлива, природного газа, тепловой и электрической энергии, угля в течение пяти лет не менее чем на 15% от объема фактически потребленного ими в 2009 году каждого из указанных ресурсов с ежегодным снижением такого объема не менее чем на 3%.

Национальный исследовательский университет "Московский энергетический Институт" является одним из крупнейших технических университетов России. Инфраструктура МЭИ состоит из девяти учебных корпусов, которые содержат сотни учебных и научных лабораторий, учебно-экспериментальная ТЭЦ, пять зданий студенческого общежития, опытно-производственный завод, медицинский центр, Дом культуры, столовая, спортивный комплекс "Энергия", бассейн.

Основной энергетический университет в России Национальный исследовательский университет МЭИ осознает свою ответственность за студентов, так и для общества представляют собой пример наиболее эффективной организации энергии и развивать энергосберегающие технологии. Несмотря на то, что в МЭИ регулярно проходят энергетические обследования (Рис. 1) [1,2] и были реализованы многие меры по повышению энергоэффективности, все здания кампуса находятся довольно далеко от пассивного дома или зданий с около нулевым потреблением энергии.

Авторский коллектив разработал и предложил следующую стратегию системы энергоснабжения зданий МЭИ на основе применения технологий "зеленого" строительства.

В последние годы аналогичные проекты реализуются в Европе. Например, учебно-административное здание Венского технического университета [3,4], отремонтированное в 2015 году, является первым высотным зданием в Европе, которое производит больше энергии, чем потребляет. Это здание функционировало как общественное здание, которое посещают около 800 человек и до 1800 студентов каждый день. В октябре 2015 года, Венскому техническому университету, в чьей собственности находится здание, присуждена Австрийская Государственная премия за выдающиеся достижения в области технологий охраны окружающей среды и энергоэффективности (Категория "научные исследования и инновации"). Есть также подобные примеры среди многоэтажных жилых домов, таких как Aktiv-stadthaus в Франкфурт-На-Майне, с общей площадью 10714 квадратных метров, который был построен в 2015 году [5].

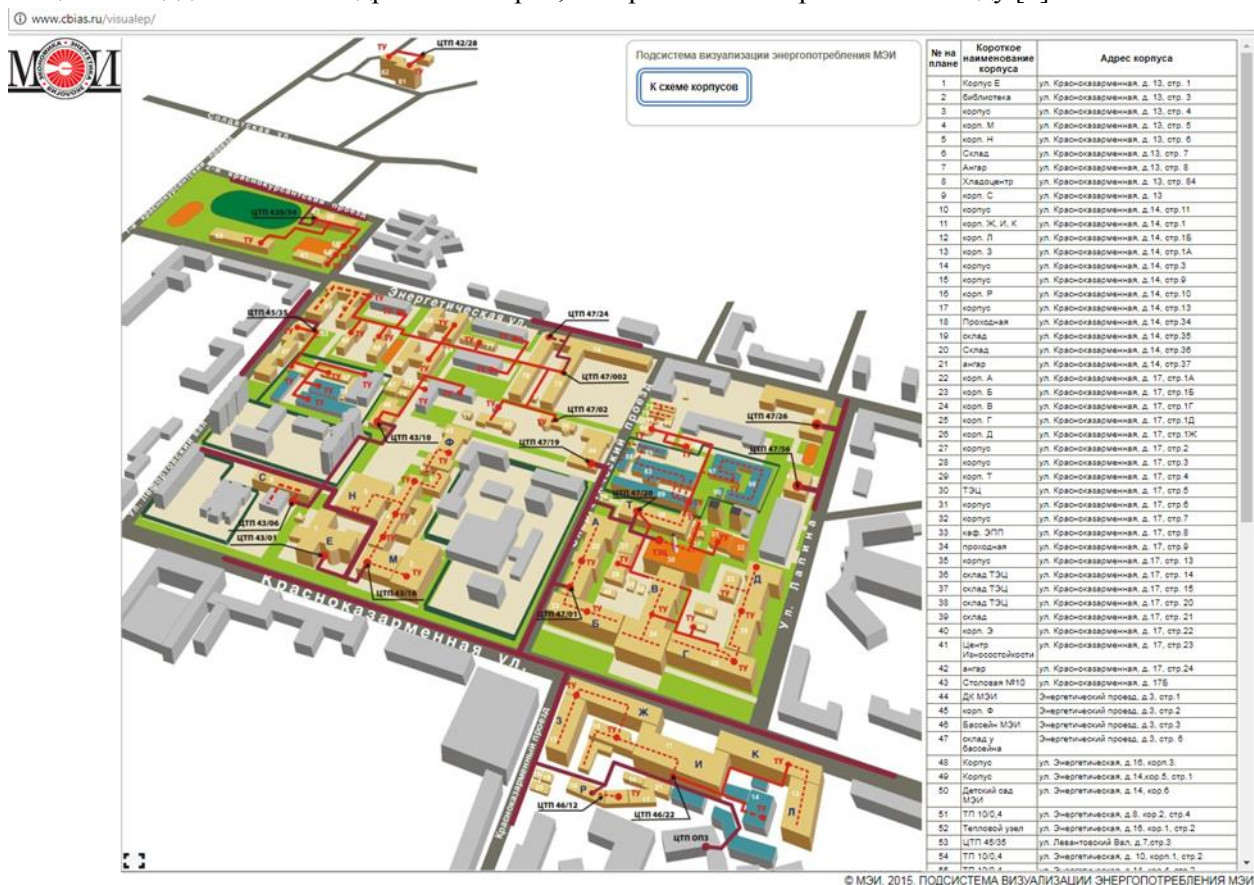


Рис. 1. Подсистема визуализации распределения и потребления энергии в МЭИ.

Основные этапы предстоящей работы в МЭИ:

Первый этап.

Реконструкция следующих блоков МЭИ:

Е, М и научно-технической библиотеки (НТБ) МЭИ на основе реализации стратегии формирования пакета зеленого пассивного планирования дома (PHPP)

1. Определение существующего энергопотребления и настройки математических моделей на работ Е, М И STL в трехмерный пакет программного обеспечения моделирования, designPH и пассивного дома PHPP дизайн на основе результатов энергоаудита.

2. Разработка и реализация программы утепления зданий на основе применения современных и перспективных строительных материалов и технологий

- Тепловая защита наружных стен
- Применение энергосберегающих окон и дверей
- Утепление крыши и технического этажа

- Утепление подвалов
 - Применение материалов с фазовым переходом (PCM)
3. Развитие системы электроснабжения зданий на основе современных и перспективных энергосберегающих технологий
 - Система отопления
 - Система горячего водоснабжения
 - Система вентиляции
 - Система кондиционирования воздуха
 - Система освещения
 - Системы электроснабжения
 - Системы автоматизации отдельных подсистем
 - Система мониторинга и комплексного управления всей системы энергоснабжения
 4. Реализация стратегии внедрения зеленых технологий через использование возобновляемых источников энергии:
 - Солнечные коллекторы
 - Солнечные панели
 - Комбинированное производство электрической и тепловой энергии на основе технологий BIPV и BIPVT (Building Integrated Photo Voltaic Thermal) встраивания в крышу и фасад здания солнечных батарей-коллекторов
 - Тригенерация электроэнергии, тепла и холода с использованием PVT-технологии и абсорбционных холодильных машин для обеспечения систем кондиционирования воздуха в летний период
 - Ветроэнергетические установки
 - Инверторы и электрические аккумуляторы
 - Система суточного, недельного и сезонного аккумулирования тепловой энергии
 5. Экономическая оценка реализации проектов зеленого строительства
 6. Анализ и выбор энергосберегающих проектов при минимальном финансировании
 7. Анализ и отбор проектов зеленого строительства с полным необходимым финансированием до уровня энергопотребления, близкого к нулевому

Второй этап.

Реконструкция других зданий студгородка МЭИ на основе реализации стратегии "зеленого" строительства:

1. Учебных и административных корпусов;
2. Жилых зданий и общежитий;
3. Учреждений культуры и медицины, зданий общественного питания и магазинов.

Сейчас реализуется первый этап. Была построена математическая модель корпуса М и НТБ в программе трехмерного моделирования designPH и пакете проектирования пассивного дома PHPP [6,7] на основе результатов энергетических обследований [1,2].

Модель корпуса М и научно-технической библиотеки представлена на рис.2. Результаты моделирования зданий до реконструкции приведены в таблице 1.

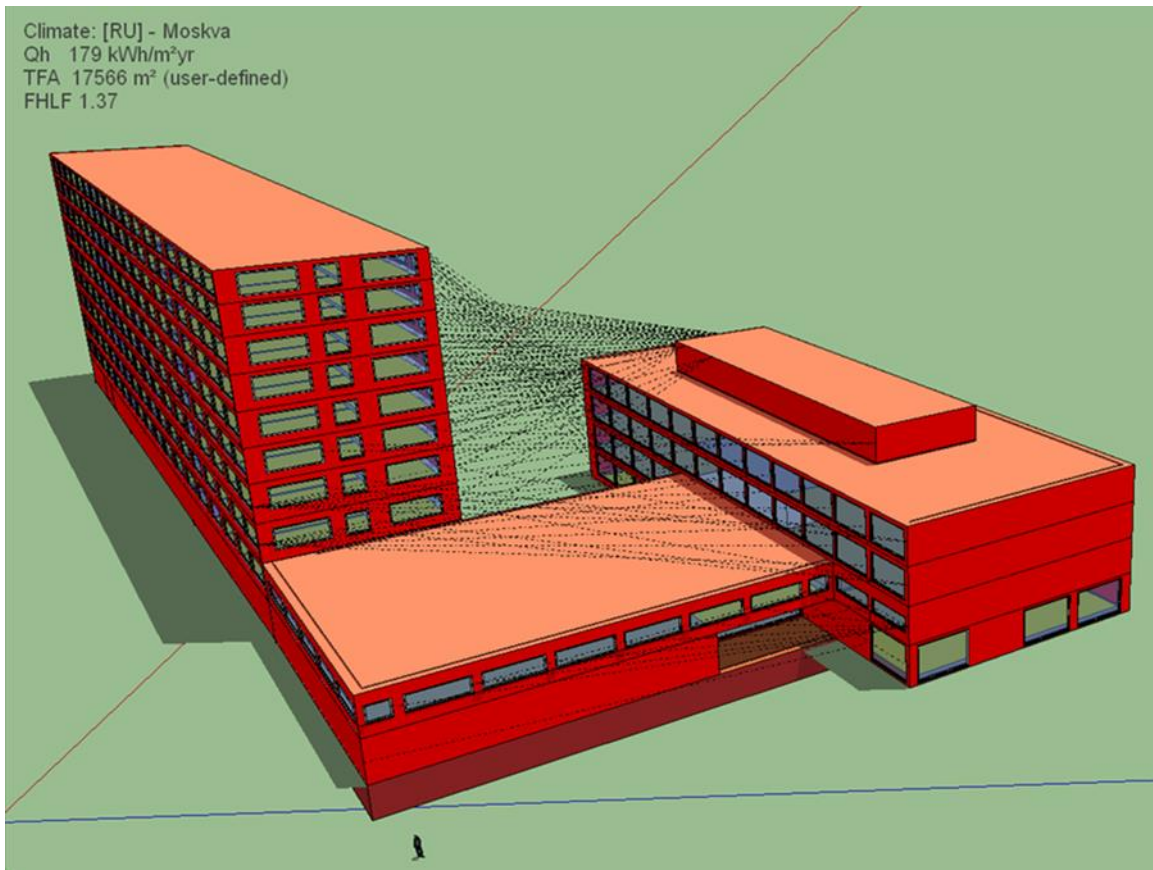


Рис. 2. Здания корпуса М и научно-технической библиотеки МЭИ

Таблица 1. Результаты моделирования зданий в настоящее время

▼ Annual Heat Demand								
Total heat losses (kWh/a)	Total free heat gains (kWh/a)	Utilisation factor	Treated Floor Area (m ²)	Ann. Heat Demand (kWh/a)	Specific Ann. Heat Demand, Q _h (kWh/m ² a)			
3663513.34	527381.10	1.00	17566.41	3136160.15	178.53			
▼ Transmission heat losses								
Total Heat Loss Area (m ²)	Area Weighted U-value (W/m ² K)	Av. Temp. Factor	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Transmission Heat Loss (kWh/a)	Q _t (kWh/m ² a)			
24111.59	1.34	0.89	116.00	3431520.82	195.35			
▼ Ventilation heat loss								
Treated Floor Area (m ²)	Ventilation volume (m ³)	Eff. air exchange rate	Heat capacity of air	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Ventilation heat loss (kWh/a)	Q _v (kWh/m ² a)		
17566.41	43916.02	0.14	0.33	116.00	231992.52	13.21		
▼ Solar heat gains								
Group nr.	Area Group	Win. area (m ²)	Glazing area (m ²)	g-value	Reduction factor	Radiation, G _s	Solar heat gain (kWh/a)	Q _s (kWh/m ² a)
2	North Windows	219.10	176.06	0.50	0.49	148.15	7898.35	0.45
3	East Windows	2108.01	1734.09	0.50	0.50	322.18	169187.71	9.63
4	South Windows	338.83	277.24	0.50	0.50	448.60	37659.61	2.14
5	West Windows	2116.02	1737.66	0.50	0.50	219.29	115380.12	6.57
6	Horizontal Windows	0.00	0.00				0.00	0.00
		4781.95	3925.05				330125.80	18.79
▼ Internal heat gain								
Treated Floor Area (m ²)	Internal heat gain rate (W/m ²)	Heating period (days/a)	Heating period (kh/a)	Internal heat gain (kWh/a)	Q _i (kWh/m ² a)			
17566.41	2.10	222.80	5.35	197255.30	11.23			

Энергоаудит показал, что здания М и НТБ имеют большие потери тепла. Были проведены тепловизионные исследования этих зданий. На рис. 3 явно видны температурные дефекты ограждающих конструкций здания (стен и окон). Это означает, что необходимо увеличить толщину теплоизоляции стен и заменить некоторые окна на энергосберегающие.

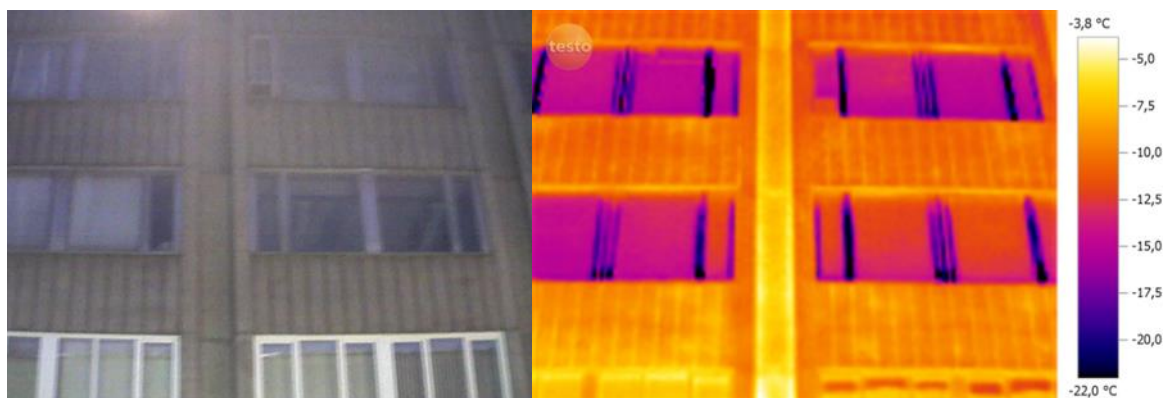


Рис. 3. Тепловизионный осмотр вне здания М.

Кроме того, энергетический аудит показал, что внутренняя температура в здании М 22,5 – 25,2 °С в декабре 2016 – январе 2017 года, когда температура наружного воздуха была в пределах +1,5 - °С -26. Температура в помещении существенно превышает норму при температуре 20 - 22 °С. Это означает, что необходимо разработать систему автоматизации отопления, что позволит получить существенный энергосберегающий для систем отопления.

Система вентиляции для здания М И НТБ используется без рекуперации отработанного воздуха. Монтаж вентиляционных блоков с 80 – 90 % эффективности рекуперации тепла и 50 – 80 % влажности эффективность рекуперации позволяет снизить потери тепла с вытяжного воздуха. По рекомендации Института пассивного дом [8] ограждающие конструкции здания должны быть построены в очень герметичными, $N_{50} < 0,6 \text{ ч}^{-1}$ является обязательным и < 0.3 рекомендуется. Кроме того, в интересах снижения эксплуатационных расходов, системы вентиляции в зданиях университета должны работать периодически. Регулирование количества воздуха в зависимости содержания CO_2 в воздухе и зависит от количества людей в помещении.

Для решения задачи системы кондиционирования воздуха в летнее время необходимо для выбора энергоэффективного оборудования для конкретных условий. Возможны разные схемы, в том числе тепловые насосы могут быть проанализированы и выбраны.

Реализация программы энергосбережения и реконструкции позволяет снизить удельный расход энергии на отопление с 179 кВт·ч/(м² год) до 25 кВт·ч/(м² год) примерно. Результаты предварительного моделирования зданий после реконструкции приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты моделирования зданий после реконструкции

▼ Annual Heat Demand								
Total heat losses (kWh/a)	Total free heat gains (kWh/a)	Utilisation factor	Treated Floor Area (m ²)	Ann. Heat Demand (kWh/a)	Specific Ann. Heat Demand, Q _h (kWh/m ² a)			
954294.72	533305.57	0.98	17566.41	434216.34	24.72			
▼ Transmission heat losses								
Total Heat Loss Area (m ²)	Area Weighted U-value (W/m ² K)	Av. Temp. Factor	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Transmission Heat Loss (kWh/a)	Q _t (kWh/m ² a)			
24111.59	0.27	0.89	116.00	722302.20	41.12			
▼ Ventilation heat loss								
Treated Floor Area (m ²)	Ventilation volume (m ³)	Eff. air exchange rate	Heat capacity of air	Ann. Htg. Degree Hours (kKh)	Ventilation heat loss (kWh/a)	Q _v (kWh/m ² a)		
17566.41	43916.02	0.14	0.33	116.00	231992.52	13.21		
▼ Solar heat gains								
Group nr.	Area Group	Win. area (m ²)	Glazing area (m ²)	g-value	Reduction factor	Radiation, G _s	Solar heat gain (kWh/a)	Q _s (kWh/m ² a)
2	North Windows	219.10	179.58	0.50	0.50	148.15	8056.39	0.46
3	East Windows	2108.01	1764.93	0.50	0.51	322.18	172194.94	9.80
4	South Windows	338.83	282.30	0.50	0.50	448.60	38346.77	2.18
5	West Windows	2116.02	1768.85	0.50	0.51	219.29	117452.17	6.69
6	Horizontal Windows	0.00	0.00				0.00	0.00
		4781.95	3995.66				336050.27	19.13
▼ Internal heat gain								
Treated Floor Area (m ²)	Internal heat gain rate (W/m ²)	Heating period (days/a)	Heating period (kh/a)	Internal heat gain (kWh/a)	Q _i (kWh/m ² a)			
17566.41	2.10	222.80	5.35	197255.30	11.23			

Корпус М и НТБ, расположенные на Красноказарменной улице, и с южной стороны нет зданий, которые бы закрывали фасады и крыши от солнечного излучения. Это означает, что возможна установка интегрированных в здания фотоэлектрических панелей на вентилируемые фасады, а также панелей комбинированной выработки электрической и тепловой энергии BIPVT [9-11] на крышах корпуса М и НТБ.

Расчеты с программным обеспечением PHPP [6,8] показали, что можно перестроить корпус М и НТБ до почти нулевого энергетического баланса зданий, как в случаях хорошо теплоизолированных энергосберегающих зданий [3-5] с помощью технологий BIPV и BIPVT.

Мы надеемся, что это будет демонстрационный проект строительства энергосберегающего "зеленого" здания в МЭИ.

Все остальные здания университетского городка МЭИ могут быть также реконструированы, как зеленые здания корпуса М и НТБ с около нулевым потреблением энергии.

Заключение

В настоящей работе предложена стратегия развития системы электроснабжения студгородка МЭИ блоков на основе "зеленого" строительства.

Реализация данной стратегии рассматривается на примере задачи моделирования и дальнейшей реконструкции корпуса М и научно-технической библиотеки.

Исследования будут продолжены в будущем совместно с партнерами NESEFF.

Литература

1. Кролин А.А., Гужов С.В. МЭИ — современная площадка для продвижения энергосберегающих технологий // Региональная энергетика и энергоэффективность, 2015, спецвыпуск, стр. 4 – 5.
2. Драгунов в. К., А. А. Кролин, Гужов С.В. и др. Мониторинг энергопотребления и внедрения энергосберегающих мероприятий в ВУЗе с использованием информационной системы // Научно-методические проблемы и новые технологии образования, 2014, №6, С. 32 – 38.
3. Prize-winning energy-plus building in Vienna TU // SAUTER Facts, 2015, No. 33, pp. 22-23.
4. Бисмарк М. Реконструкция Венского технического университета // Здания высоких технологий, 2016, № 4, С. 18 – 21.
5. Елохов А. Е. Пример реализации в Германии многоквартирного жилого здания с положительным энергетическим балансом // ЕвроСтройПрофи, 2016, Тематический выпуск "Энергоэффективность. Энергосбережения. Экология", С. 28 – 33.
6. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. М.: ООО «KONTIPRINT», 2015. 144 с.
7. Sultanguzin I., Kalyakin I., Govorin A., Khristenko B., Yavorovsky Yu. Optimization of the energy efficient active house // 3. INGENIUERTAG 2016. Der Fakultat Maschinenbau, Electro- und Energiesysteme Gus- und Osteuropatag. NESEFF-NETZWERKTREFFEN 2016. Tagungsband. Brandenburgische Technische Universität. Cottbus-Senftenberg. 14-15 November 2016. Pp. 8 - 12.
8. Passive House schools – Requirements // https://passipedia.org/planning/non-residential_passive_house_buildings/passive_house_schools/passive_house_schools_requirements
9. Debbarma M., Sudhakar K., Baredar P. Thermal modeling, exergy analysis, performance of BIPV and BIPVT: A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, Vol. 73, Pp. 1276-1288.
10. Biyik E., Araz M., Hepbasli A., et.al. A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems // Engineering Science and Technology, an International Journal, 2017, Vol.20, Pp. 833-858.
11. Lamnatou Ch., Mondol J.D., Chemisana D., Maurer C. Modelling and simulation of Building-Integrated solar thermal systems: Behavior of the system // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, Vol. 45, Pp. 36-51.