

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Б. С. Андруцкий¹, С. М. Пономаренко¹

¹ *Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,
Физико-технический институт*

Аннотация

Представлены результаты моделирования солнечных электростанций одинакового состава на территории разных областей; выбраны оптимальные углы наклона для солнечных панелей на неподвижных конструкциях; проведено сравнение количества вырабатываемой энергии для неподвижных конструкций относительно одноосных и двусосных трекерными системами.

Ключевые слова: фотоэлектростанция, генерация, солнечные панели, угол наклона солнечных панелей, трекерные системы, «зеленый тариф»

Вступление

Солнечная энергетика относится к восстанавливаемым источникам энергии и обладает практически безграничным потенциалом для использования с точки зрения затрачиваемых ресурсов. Также это один из экологически безопасных источников энергии, который не загрязняет окружающую среду. Сегодня отрасль солнечной энергетике переживает стремительный рост, по всему миру активно исследуются возможности увеличения КПД солнечных батарей, мощности фотоэлектростанций растут, развиваются смежные отрасли (к примеру, системы хранения энергии).

Важным вопросом в рамках любой энергетической отрасли является вопрос КПД. Технический КПД солнечных батарей напрямую зависит от материала, который использовался при их создании. Более 90% солнечных панелей, предлагаемых сегодня на рынке, работают на кремниевых полупроводниках, которые обеспечивают КПД на уровне 15 – 25 % [1]. Для сравнения, КПД солнечных панелей на основе перовскита составляет 12 % [2], а для тонких пленок на основе теллурида кадмия КПД достигает 22 % [3]. Впрочем на практике существенное влияние оказывает правильное позиционирование батарей, основанное на задах, которые вы пытаетесь достигнуть. Важными факторами являются уровень инсоляции в регионе установки, азимут и угол наклона солнечных батарей, что обуславливает также расстояние между панелями с учетом взаимного затенения [4].

Развитие солнечной энергетике на территории Украины дополнительно стимулируется государством посредством «зеленого тарифа», который обязывает государство приобретать у коммерческих и частных организаций электрическую энергию, генерируемую с применением восстанавливаемых источников (солнечные панели, ветряки, биотопли-

во). «Зеленый тариф» прописан в законодательстве до 2030 года, тарифная ставка привязана к европейской валюте и будет последовательно снижаться с 0.2 евро за 1 кВт·ч в 2015 году до 0.14 евро за 1 кВт·ч в 2030 году.

Таким образом, есть необходимость в исследовании и определении оптимальных параметров для установки солнечных электростанций. Этим и обусловлено тема и направление исследований данной статьи. Основной задачей будет определение оптимального угла наклона солнечных панелей для трех разных областей Украины (Черниговской, Винницкой и АР Крым) в разные сезоны года, а также расчет количества производимой энергии на фотоэлектростанции и срока окупаемости.

1. Моделирование

Из данных за 2015 год производство электроэнергии в Украине составило 157 млрд кВт·ч [5], в то время как потребление – 118 кВт·ч. Исходя из этого, практической потребности в электростанциях большой мощности на данный момент нет, поэтому будем рассматривать фотоэлектростанцию предназначенную для частного домохозяйства. Типичный дом на два взрослых человека с умеренным потреблением энергии будет затрачивать порядка 300 кВт·ч, что за год составит 3600кВт·ч. Поднимем это значение дополнительно на 25 % для дополнительных расходов. Таким образом, солнечная электростанция должна вырабатывать 4500 кВт·ч в год. Продажа избытка позволит окупить электростанцию в среднем за 10 – 12 лет. В дальнейшем мы будем рассматривать электростанцию на 10 кВт, поскольку такая фотоэлектростанция не требует больших затрат, генерирует достаточное количество энергии и занимает незначительную площадь.

Площадь, занимаемая фотоэлектростанцией, зависит от способа расположения солнечных панелей. Наиболее компактным будет позиционирование солнечных батарей на скатной крыше. Это вынуждает нас использовать угол наклона крыши в качестве угла наклона солнечных модулей, однако площадь, занимаемая электростанцией при таком способе расположения – всего 75 м^2 , это с учетом места необходимого для кабелей и в целом монтажа. При размещении солнечных панелей на неподвижных конструкциях площадь вырастает до 130 м^2 , что связано с необходимостью оставлять расстояние между столами для панелей, чтобы избежать взаимного затенения. По этой же причине площадь фотоэлектростанции на одноосных и двуосных трекерах еще больше – порядка 170 м^2 и 200 м^2 .

Электростанция будет состоять из 40250 Вт модулей и одного сетевого инвертора мощностью 10 кВт. В качестве модулей мы выберем поликристаллические солнечные батареи фирмы JA Solar. Данные батареи имеют КПД на уровне 17.3%, а поликристаллическая структура позволяет улавливать больше солнца в пасмурную погоду и просыпаться утром при раннем солнце раньше монокристалла. К тому же, поликристаллические батареи стоят дешевле своих монокристаллических аналогов. Инвертором будет выступать инвертер компании Fronius USA, который имеет возможность крепления на стену а также подключения к интернету, что позволит легко отслеживать параметры системы в режиме онлайн.

Суммарная стоимость заявленных компонентов будет 10450 долларов (8050 долларов за солнечные панели и 2400 долларов). Также необходимо закупить дополнительные материалы (кабеля, автоматы и т.д.) и крепежную конструкцию, общей суммой ориентировочно 1300 долларов. Проектно-монтажные и пусконаладочные работы будут стоить около 1100 долларов, таким образом, общая стоимость электростанции составит порядка 13000 долларов.

При проведении расчетов важным показателем является среднемесячный приход солнечной радиации на горизонтальную площадку, что зависит от географического положения размещенной фотоэлектростанции, и азимут фотоэлектростанции. Для всех случаев мы будем выбирать азимут равный нулю (солнечные панели смотрят прямо на юг), что позволит оценить максимальную генерацию энергии. С точки зрения географии мы будем рассматривать три различных положения:

- 1) С. Равнополье, Черниговская область (51.60° с.ш. и 31.20° в.д.). Данное расположение было выбрано как наиболее северное расположение на территории Украины, поток солнечной радиации здесь меньше, чем на остальной территории.
- 2) С. Степановка, Винницкая область (49.10° с.ш. и 28.80° в.д.). Данное расположение было выбрано как наиболее типичное расположение для территории Украины со средним приходом солнечной радиации.
- 3) С. Урожайное, АР Крым (45.10° с. ш. и 34.10° в. д.). Данное расположение было выбрано как

наиболее благоприятное расположение на территории Украины с наибольшим приходом солнечной радиации.

Для моделирования мы будем пользоваться специализированной программой PVSYST [6]. Программа позволяет полностью моделировать солнечную электростанцию, начиная от ориентации солнечных панелей и системы, на которых она установлена и заканчивая моделированием окружающих объектов, с целью оценки затенения установленной электростанции. Производители солнечных панелей и инверторов сотрудничают с компанией, таким образом, база данных имеющихся на рынке комплектующих электростанции постоянно обновляется и является актуальной. С точки зрения метеорологических данных, пользователь может использовать любую базы данных, в частности для данного проекта использовалась база данных PVGIS [7]. Эта база данных принадлежит Европейскому центру исследований (Joining Research Centre) и включает в себя все необходимые данные для расчета солнечной электростанции, как то приход солнечной радиации на горизонтальную площадку, прямую нормальную радиацию, радиацию на оптимальный угол наклона и так далее.

Для каждого региона будут определены оптимальные углы для зимнего периода (октябрь-март), летнего периода (апрель-сентябрь) и в среднем для всего года. Будут приведены данные ежемесячной генерации для каждого из определенных углов. Также для сравнения генерации будут смоделированы электростанции на одноосных и двуосных трекерах.

2. Результаты исследований

Из полученных результатов (табл. 1 – 3), видно как зависит ежемесячная генерация энергии от выбранного угла наклона солнечных панелей. К примеру, для села Равнополье (табл. 1) будет выгоднее расположить солнечные батареи под углом ориентированным на выработку энергии летом – это сократит и без того небольшое количество выработанной энергии в зимний период (октябрь-март), но суммарное количество произведенной энергии повысится. Также следует обратить внимание на суммарное количество выработанной энергии, к примеру для села Степановки (табл. 2) – оно значительно превышает потребности частного домохозяйства в электричестве. Количество выработанной энергии повышается при смещении фотоэлектростанции к югу, суммарное количество выработанной энергии в селе Равнополье меньше количества сгенерированной энергии в селе Урожайное (табл. 3) на 30 процентов, что также обусловлено среднестатистическим количеством солнечных дней в году.

При установке солнечных панелей на трекерные системы, одноосные или двуосные, наблюдается прирост генерации на 25 процентов и 35 процентов соответственно, однако стоимость таких трекерных систем и их обслуживание фактически нивелируют экономический потенциал. Также трекерные системы увеличивают площадь занимаемую электростан-

Табл. 1. Результаты моделирования электростанции в с. Равнополье

		Распределение генерации				
		равномерно в году	больше зимой	больше летом	1осный	2осный
Генерация (МВт · ч)	Угол наклона панелей, °	39	60	31	—	—
	январь	0.284	0.320	0.264	0.278	0.322
	февраль	0.487	0.499	0.464	0.502	0.562
	март	1.006	0.986	0.984	1.0922	1.175
	апрель	1.282	1.195	1.284	1.528	1.646
	май	1.509	1.326	1.551	2.011	2.174
	июнь	1.411	1.199	1.470	2.006	2.186
	июль	1.423	1.227	1.476	1.931	2.072
	август	1.322	1.199	1.341	1.688	1.837
	сентябрь	1.011	0.974	0.995	1.178	1.300
	октябрь	0.683	0.692	0.655	0.727	0.813
	ноябрь	0.269	0.278	0.255	0.269	0.297
декабрь	0.184	0.195	0.172	0.179	0.204	
	целый год	10.872	10.071	10.912	13.389	14.589

Табл. 2. Результаты моделирования электростанции в с. Степановка

		Распределение генерации				
		равномерно в году	больше зимой	больше летом	1осный	2осный
Генерация (МВт · ч)	Угол наклона панелей, °	37	58	29	—	—
	январь	0.325	0.351	0.311	0.328	0.379
	февраль	0.477	0.497	0.462	0.502	0.551
	март	1.068	1.078	1.045	1.237	1.309
	апрель	1.296	1.212	1.296	1.665	1.700
	май	1.532	1.344	1.555	2.124	2.167
	июнь	1.468	1.268	1.498	2.064	2.127
	июль	1.499	1.306	1.527	2.063	2.114
	август	1.442	1.329	1.446	1.934	1.981
	сентябрь	1.059	1.038	1.045	1.301	1.348
	октябрь	0.823	0.861	0.796	0.916	1.002
	ноябрь	0.371	0.399	0.356	0.384	0.436
декабрь	0.253	0.278	0.241	0.249	0.296	
	целый год	11.613	10.953	11.577	14.766	15.409

цией, поскольку приходится оставлять больше места между солнечными панелями в связи с взаимным затенением. Таким образом, трекерные системы целесообразно использовать лишь в специфических условиях, когда прирост генерации будет ощутимо больше (например, в пустыне) и обладая при этом большими экономическими резервами.

Если рассмотреть экономический потенциал смоделированной нами электростанции, то после потребления домохозяйством оговоренного количества электроэнергии остаток можно будет продать согласно «зеленому тарифу» по цене 0.195 долларов за кВт·ч. К примеру, электростанция в селе Равнополье помимо обеспечения домохозяйства электричеством (экономия порядка 320 долларов в год) будет дополнительно давать 1325 долларов дохода в год, что

дает период окупаемости в 9 лет. Дополнительно следует оговорить, что срок службы инвертора составляет 20 лет, а солнечные панели после 30-ти лет службы теряют лишь до 10 процентов от своей номинальной мощности, что теоретически позволяет их использовать неограниченное количество времени.

Выводы

Моделирование показало, что количество вырабатываемой энергии увеличивается при уменьшении широты, что связано с увеличением количества солнечной радиации к югу. При этом даже самый неблагоприятный регион для размещения позволяет окупить фотоэлектростанцию такого размера за 9 – 10 лет. Использование трекерных систем повышает количество генерируемой энергии на 25% и 35%

Табл. 3. Результаты моделирования электростанции в с. Урожайное

		Распределение генерации				
		равномерно в году	больше зимой	больше летом	одноосный	двуосный
Угол наклона панелей, °		34	56	27	—	—
	январь	0.569	0.614	0.524	0.580	0.684
	февраль	0.748	0.775	0.707	0.796	0.883
	март	1.208	1.189	1.174	1.404	1.471
	апрель	1.415	1.302	1.422	1.862	1.897
	май	1.641	1.418	1.695	2.378	2.433
Генерация (МВт · ч)	июнь	1.565	1.306	1.640	2.302	2.364
	июль	1.658	1.403	1.722	2.469	2.539
	август	1.632	1.470	1.653	2.258	2.304
	сентябрь	1.343	1.296	1.320	1.671	1.724
	октябрь	1.147	1.189	1.083	1.291	1.422
	ноябрь	0.776	0.890	0.709	0.823	0.980
	декабрь	0.510	0.555	0.467	0.483	0.593
	целый год	14.212	13.368	14.115	18.318	19.294

соответственно, однако их использование сопряжено с увеличением затрат на установку и содержание, что делает фотозлектростанции на трекерных системах выгодными только в специфических случаях. Оптимальный угол наклона солнечных панелей также уменьшается к югу, что связано с углом падения солнечных лучей в течение дня.

Перечень использованных источников

1. Китаев Н. Солнечные панели с высоким КПД. — 2016. — Режим доступа: <http://savenergy.info/page/solnechnye-paneli-s-vysokim-kpd>.
2. da Silva Wilson. Trendy solar cells hit new world efficiency record. — 2016. — Access mode: <http://newsroom.unsw.edu.au/news/science-tech/trendy-solar-cells-hit-new-world-efficiency-record>.
3. Wesoff E. First Solar Hits Record 22.1CdTe Solar Cell. — 2016. — Access mode: <https://www.greentechmedia.com/articles/read/First-Solar-Hits-Record-22.1-Conversion-Efficiency-For-CdTe-Solar-Cell>.
4. Wittmer B., Mermoud A. A tool to optimize the layout of ground-based PV installations taking into account the economic boundary conditions // 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. — 2014. — P. 6.
5. Интерфакс-Украина. Производство электроэнергии в Украине за 12 мес. 2016 г. снизилось на 1.82017. — Режим доступа: <http://uaenergy.com.ua/post/28082/proizvodstvo-elektroenergii-v-ukraine-za-12-mes-2016-g/>.
6. Mermoud A., Viloz M. PVSYST. — 2012. — Access mode: <http://www.pvsyst.com/en/>.
7. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy, Transport. Photovoltaic Geographical Information System. — 2012. — Access mode: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.