

УДК 62-533.6

**С.В. Иносов, О.В. Бондарчук***Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНОЙ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СОЛНЕЧНОЙ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО  
ЖИЛЬЯ**

*Методами статистического моделирования исследована энергетическая эффективность автономной автоматизированной солнечной электростанции малой мощности для индивидуального жилья в условиях Крыма.*

**Ключевые слова:** солнечная электростанция, индивидуальное жилье, энергетическая эффективность, статистическое моделирование, Крым.

### Постановка проблемы

Глобальные потребности в энергии непрерывно растут, но в скором времени эта тенденция должна столкнуться с исчерпанием мировых запасов нефти, что может породить энергетический кризис. В последние годы большие надежды, в смысле решения глобальной энергетической проблемы, возлагаются на альтернативные источники энергии и новейшие технологии. Солнечные электростанции с некоторых пор стали символом альтернативной и «экологичной» энергетики. Открытым остается вопрос энергетической и экономической эффективности солнечных электростанций в различных условиях эксплуатации по сравнению с традиционными источниками электроэнергии.

### Анализ последних исследований и публикаций

В связи с либерализацией экономики и индивидуализацией социума, в последнее время увеличился интерес к автономным автоматизированным электростанциям малой мощности, не связанным с электросетью и обслуживающим индивидуальное жилье [1;2].

### Цель исследования

Задачей является исследование энергетической и экономической эффективности автоматизированных автономных солнечных

электростанций малой мощности методами статистического моделирования.

Идея использовать «даровую» энергию солнца для получения электричества в собственном доме на первый взгляд очень привлекательна. Однако, как ни странно, электричество от домашней солнечной электростанции оказывается парадоксально дорогим.

С одной стороны, электроснабжение домашнего хозяйства должно соответствовать двум обязательным условиям:

- 1) это должен быть переменный ток 220 В частотой 50 Гц;
- 2) электропитание должно быть бесперебойным.

Солнечная радиация – явление непостоянное, и солнечные электропанели напрямую не смогут полноценно обеспечивать дом электричеством. Поэтому к затратам на солнечные панели нужно добавить расходы на громоздкие и дорогие электрические аккумуляторы, накапливающие энергию солнца. Аккумулятор вырабатывает постоянный ток, который должен быть преобразован в переменный. Для этого необходим инвертор, стоимость которого дополнительно увеличивает затраты на получение «бесплатной энергии».

С другой стороны, все эти дополнительные устройства приводят к потерям энергии при ее хранении и преобразовании.

**ДОСЛІДЖЕННЯ  
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ  
ЕФЕКТИВНОСТІ  
АВТОНОМНОЇ  
АВТОМАТИЗОВАНОЇ  
СОЛЯЧНОЇ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ  
ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЖИТЛА**

*Методами статистичного моделювання досліджена енергетична ефективність автономної автоматизованої сонячної електростанції малої потужності для індивідуального житла в умовах Криму.*

**STUDY OF ENERGY  
EFFICIENCY IN THE  
AUTONOMOUS AUTOMATIC  
SOLAR POWER FOR  
INDIVIDUAL HOUSING**

*Statistical modeling investigated the energy efficiency of solar power battery automated low power for individual housing in the Crimea.*

Представляет интерес вопрос, можно ли добиться энергетической автономности индивидуального жилья за счет использования солнечной электростанции, хотя бы в наиболее благоприятных для Украины условиях Крыма, где средняя продолжительность солнечного дня максимальна, а облачность минимальна.

### Изложение основного материала

Структурная схема установки представлена на рис. 1. Солнечная панель генерирует постоянный электрический ток (зависящий от инсоляции панели), заряжающий аккумуляторную батарею. Аккумуляторная батарея нужна для сглаживания суточных колебаний инсоляции (ночью электроэнергия не вырабатывается). Генерируемое напряжение практически не зависит от инсоляции и несколько превышает рабочее напряжение аккумуляторной батареи (48 В), что обеспечивает эффективный режим зарядки. Устройство отбора максимальной мощности позволяет более точно согласовать солнечную панель с аккумулятором по току и напряжению с целью минимизации потерь энергии. Процессом заряда управляет Контроллер заряда. Если аккумулятор уже заряжен, то генерируемая избыточная мощность просто не используется. Питание бытовых электроприборов переменным напряжением 220 В, 50 Гц осуществляется от аккумуляторной батареи через инвертор. В случае недостаточной инсоляции (ночь, зима, облака и т.п.), используется резервный бензиновый электрогенератор. Хотя резервный генератор может непосредственно питать бытовые электроприборы, такой режим энергетически невыгоден. Большую часть времени резервный генератор будет недогружен из-за непостоянства потребляемой мощности. Выгоднее заряжать от него аккумулятор (через выпрямитель). При этом резервный генератор будет включаться изредка и кратковременно, но на полную мощность. В таком режиме ресурс моточасов бензинового генератора и топливо будут использованы наиболее рационально.



Рис. 1. Структурная схема энергетической установки

Тонкопленочные батареи – наиболее дешевый вариант из всех видов солнечных батарей. Изготавливаются путем нанесения тонкого слоя

аморфного кремния на подложку из другого материала. Именно их мы принимаем в качестве расчетного варианта. Особенности данных панелей позволяют устанавливать их в любое удобное клиенту место (крыша, стена здания). Эти батареи остаются работоспособными при пасмурной погоде и в условиях запыленности. КПД тонкопленочных солнечных батарей – 10%. Это значит, что при максимальной инсоляции 1 кВт/кв.м (в полдень) панели этого типа выдают электрическую мощность 0.1 кВт/кв.м. Вольт-амперные характеристики солнечной батареи нелинейны и весьма благоприятны для совместной работы с аккумулятором. Напряжение холостого хода практически не зависит от инсоляции, что гарантирует зарядку даже при слабой инсоляции. Генерируемый ток пропорционален инсоляции, но слабо зависит от напряжения, что гарантирует оптимальный режим заряда аккумуляторной батареи при любых освещенностях.

Для исследования энергетической эффективности вышеописанной автономной автоматизированной солнечной электростанции для индивидуального жилья было проведено статистическое моделирование динамики ее работы в течение года.

На рис. 2 и 3 приведена статистическая модель всей ветроэнергетической установки (включая аккумулятор и резервный бензиновый генератор) в среде программного средства VisSim. Такт моделирования 1 сек соответствует 1 часу в реальном времени. Вся внутренняя структура модели спрятана внутри блока Power Installation Model. Выведены осциллограммы основных переменных модели:

– Generator capacity – потенциальная мощность генератора (кВт). Такую мощность солнечная панель может выдавать, если потребитель способен ее всю принять. В противном случае реально генерируемая мощность будет меньше;

– Power generation – реально генерируемая мощность (кВт). Она расходуется на зарядку аккумулятора и питание потребителя;

– Power demand – требуемая потребителем мощность (кВт). Благодаря наличию аккумулятора и резервного генератора, потребность удовлетворяется на 100%, то есть требуемая мощность всегда совпадает с реально потребляемой мощностью. Но потребляемая мощность не совпадает с генерируемой мощностью, так как аккумулятор то заряжается за счет избытка генерируемой мощности, то разряжается для покрытия избыточной потребности;

– Charge – заряд аккумулятора (кВт·час). Меняется в пределах от 0 до 20 кВт·час (это предельная емкость аккумулятора);

– Power reserve – мощность резервного бензинового генератора (2.5 кВт). Изредка кратковременно включается при недостаточной

инсоляции, когда заряд аккумулятора приближается к нулю и его нужно подзарядить.

В модели учитываются суточные и сезонные изменения солнечной инсоляции, зависимость последней от высоты Солнца с учетом влияния атмосферы, параметры солнечной панели, периодическую (утренний и вечерний пики) и случайную составляющую энергопотребления и другие существенные факторы.

На рис. 2 приведены результаты статистического моделирования суточной динамики солнечной энергоустановки летом. Солнечная панель генерирует избыточную мощность. Резервный генератор вообще не включается. За ночь аккумулятор разряжается лишь до половины. До полудня аккумулятор успевает полностью зарядиться, после чего потенциальная мощность солнечной панели недоиспользуется (генерируемая мощность меньше потенциальной и равна текущей энергопотребности).

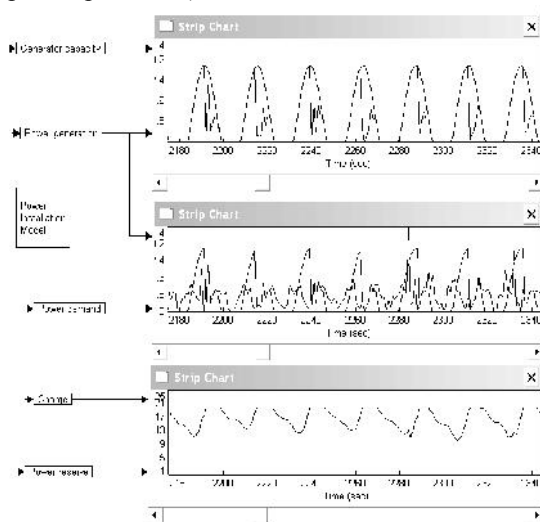


Рис. 2. Статистическое моделирование энергоустановки (летний период)

На рис. 3 приведены результаты статистического моделирования суточной динамики солнечной энергоустановки зимой. Мощности солнечной панели явно недостаточно. Хотя вся генерируемая мощность используется полностью, за ночь аккумулятор почти полностью разряжается, и к утру вынужденно включается резервный генератор, пополняющий запас энергии. До полудня аккумулятор успевает зарядиться всего лишь наполовину.

Регулировочная характеристика включения резервного генератора приведена на рис. 4. Резервный генератор включается, если заряд аккумулятора падает ниже 2 кВт·час, и выключается, когда заряд аккумулятора доходит до 7 кВт·час.

На рис. 5 приведен баланс среднегодовых мощностей солнечной установки по результатам моделирования. Мощность солнечного потока, достигающего поверхности Земли, на площади 38 кв.м относительно велика и составляет 38 кВт.

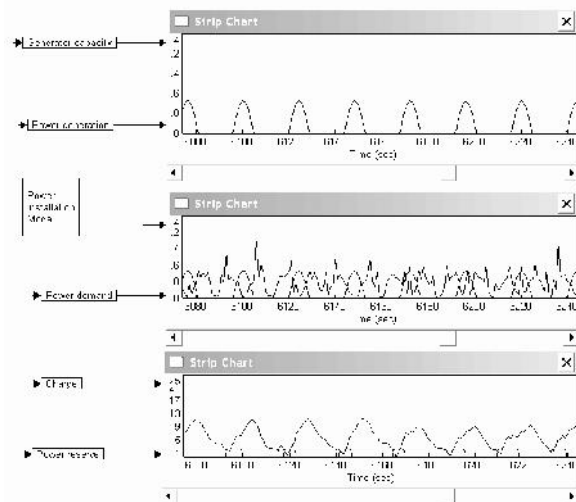


Рис. 3 Статистическое моделирование энергоустановки (зимний период)

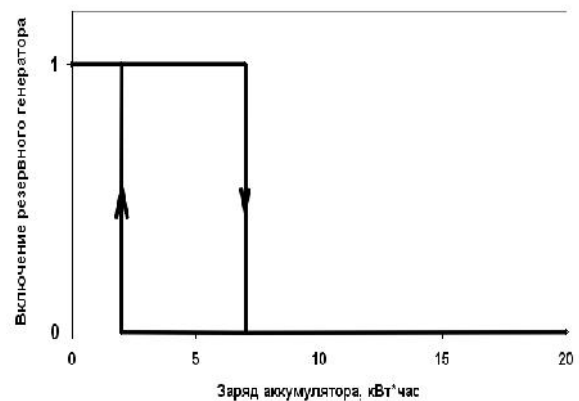


Рис. 4. Регулировочная характеристика включения резервного генератора

Однако эффективность использования этой мощности невысокая. КПД фотоэлектрических преобразователей составляет 10%, поэтому номинальная мощность солнечных панелей составляет всего 3.8 кВт. Такую электрическую мощность можно получить в полдень, летом, при отсутствии облаков. Если учесть изменения (в сторону уменьшения) инсоляции в течение суток и в течение года, то средняя потенциальная электрическая мощность будет в 5 раз меньше – 0.74 кВт (это при условии, что вся генерируемая мощность потребляется бытовыми приборами). Если учесть еще облачность и несогласованность нагрузки (излишек мощности солнечных панелей летом просто пропадает), то реальная генерируемая мощность будет еще меньше в 1.4 раза, что составит 0.52 кВт. Коэффициент использования установленной мощности генератора составляет всего  $0.53/3.8 = 0.014 = 14\%$ . В электрическую энергию превращается всего  $0.53/38 = 0.014 = 1.4\%$  от первоначальной энергии солнечного потока.

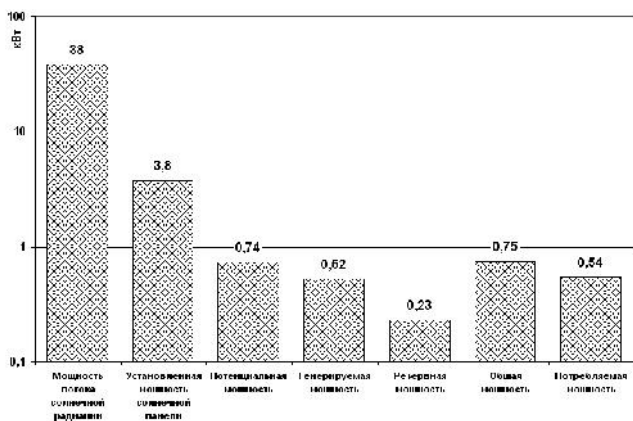


Рис. 5. Баланс средних мощностей

Резервный бензиновый генератор, иногда включающийся ночью и в пасмурные дни, (в основном, зимой) добавляет, в среднем, 0.23 кВт (рис. 6). В результате, получаем среднюю генерируемую мощность 0.75 кВт. Из-за потерь в аккумуляторе и инверторе, реальная мощность, отдаваемая потребителю, будет еще меньше в 1.4 раза, что составляет 0.54 кВт. Это соответствует среднему месячному потреблению  $0.54 \cdot 24 \cdot 30 = 390$  кВт·час электроэнергии. Состав бытовых электроприборов и режим их использования должен быть выбраны соответственно. Это скромно, но достаточно комфортно для небольшого индивидуального дома.

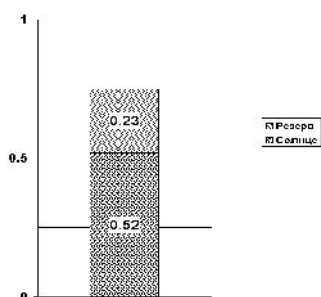


Рис. 6. Средние генерируемые мощности, кВт

Общая месячная плата за электроэнергию 2227 грн складывается из амортизационной платы за установленное оборудование 1351 грн (срок окупаемости принят 10 лет) и платы за бензин для резервного бензогенератора 876 грн (рис. 7). Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии =  $2227/389 = 5.73$  грн, что на порядок больше стоимости электроэнергии от сети.

## Выводы

Энергетическая автономность частного жилья за счет использования солнечной электростанции технически достижима, однако плата за автономность оказывается высокой. Стоимость солнечной электроэнергии, даже в условиях Крыма (самая южная часть Украины, 290 солнечных дней в году), оказывается на порядок больше, чем при питании от электросети.

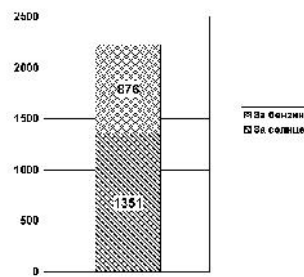


Рис. 7. Месячная плата за электроэнергию, грн

Энергетическая эффективность индивидуальной солнечной электростанции весьма мала. В электрическую мощность превращается всего 1.4% мощности солнечного потока и 14% от установленной мощности солнечных панелей.

Основными факторами, мешающими увеличить энергетическую эффективность солнечной электростанции, являются низкий КПД фотоэлектрического преобразования, годовые и суточные изменения инсоляции, наличие облаков.

Рекомендуется использовать тонкопленочные фотоэлектрические панели из аморфного кремния, площадью 38 кв.м (с установкой на крыше), аккумуляторную батарею энергоемкостью 20 кВт·час (суточный запас электроэнергии) массой 500 кг, резервный бензогенератор на 2.5 кВт, инвертор на 4.5 кВт. Такая установка обеспечит среднее потребление электроэнергии 390 кВт·час в месяц по цене 5.73 грн за киловаттчас.

За расчетный срок окупаемости 10 лет придется пять раз сменить бензогенератор и один раз аккумуляторную батарею. Работа фотоэлектрических панелей предполагается безаварийной и не требующей техобслуживания.

В зимний период резервный бензогенератор должен обеспечивать 3/4 потребляемой электроэнергии, так как производительность фотоэлектрических панелей резко уменьшается. В летний период бензогенератор практически не используется, поскольку имеется избыток фотоэлектрической энергии.

## Список литературы

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов / под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.

Статья поступила в редколлегию 30.04.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., В.М. Скиданов, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев.