

УДК 621.315.592

В.А. ГАБРИНЕЦ, Л.В. НАКАШИДЗЕ, Г.И. ЗАРИВНЯК, С.А. МИТРОХОВ*Днепропетровский национальный университет, Днепропетровск, Украина*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ЕСТЕСТВЕННОЙ ИНСОЛЯЦИИ

Приведено описание устройства и алгоритма функционирования экспериментального измерительного комплекса предназначенного для измерения энергетических характеристик солнечных элементов в условиях естественной наземной инсоляции, необходимых для выбора архитектуры построения солнечной энергоустановки. Приведен алгоритм прикладной программы, позволяющий обрабатывать информацию об энергогенерирующей способности измеряемых солнечных элементов.

солнечный элемент, экспериментальный измерительный комплекс, методика проведения эксперимента, энергетические параметры

Введение

Одним из широко распространенных и наиболее доступных источников энергии является солнечная энергия. Широкое внедрение энергетических установок для нужд космической и наземной энергетики использующих солнечную энергию является важной задачей, так как среди других источников энергии этот источник отличается доступностью, высокой стабильностью, неиссякаемостью. Кроме того, существенным преимуществом солнечной энергии является ее способность быть преобразованной в электрическую энергию непосредственно - прямое преобразование, основанное на явлении фотоэлектрического эффекта. Реализуется такой процесс преобразования с помощью солнечных энергетических установок (СЭУ). Достоинства СЭУ обусловили их интенсивную разработку во всем мире [1].

Сравнение стоимостей построения энергетических установок, использующих разные источники первичной энергии, показывает, что сооружение СЭУ обходится дороже по сравнению с использованием традиционных средств энергоснабжения. Однако, эксплуатационные расходы СЭУ намного ниже, т.к. «топливом» для них является солнечная энергия. Вместе с тем, для традиционных систем

энергоснабжения можно прогнозировать неуклонный рост стоимости эксплуатации, обусловленный повышением цен на традиционное топливо вследствие истощения его запасов.

1. Формулирование проблемы

Во всем мире, одним из требований широкомасштабного применения солнечных энергетических установок является снижение их стоимости. Это достигается разными способами. Среди них наиболее распространенными являются усовершенствование отдельных составляющих узлов, повышение технологичности их производства с использованием более дешевых материалов и т.д. Также, для снижения стоимости получаемой электрической энергии, генерируемой СЭУ, необходимым условием является обоснование выбора лучшего варианта комплектации установки, предназначенной для определенных условий эксплуатации, поскольку главной задачей СЭУ является поддержание уровня потребляемой электрической мощности в течение заданного периода функционирования.

Обзор публикаций. Существует ряд публикаций, в которых рассматриваются пути повышения энергогенерирующей способности СЭУ при одно-

временном снижении удельной стоимости генерируемой ими электрической энергии.

Так, например, в работе [2] рассмотрена целесообразность применения в СЭУ слабоконцентрирующих систем, обеспечивающих 2-6 кратное увеличение плотности лучистого потока, приводящая к увеличению количества генерируемой электроэнергии. Однако в данной работе не был предметом исследования такой аспект проблемы, как тип применяемых солнечных элементов.

В работе [3] были приведены экспериментальные данные, позволяющие рассмотреть необходимость наличия в составе СЭУ системы ориентации, однако целью данных исследований не явилось рассмотрение структуры используемых СЭ, т.е. не изучались процессы, происходящие в полупроводнике, угловая чувствительность и т.п.

Целью авторов работы [4] было рассмотрение процессов, происходящих в СЭ, скоммутированных в модуль СБ. В процессе функционирования СЭ отмечены характерные особенности, однако влияние на них сопутствующих конструктивных элементов рассмотрены не были.

2. Решение проблемы

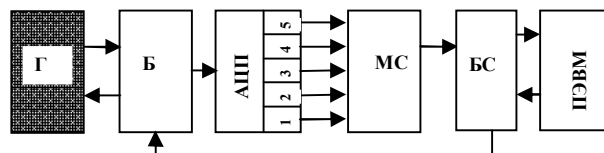
Обоснованный выбор архитектуры энергетической установки обеспечивает поддержание необходимого уровня потребляемой электрической мощности и способствует увеличению энергоэффективности СЭУ при одновременном снижении удельной стоимости вырабатываемой энергии. Для этого необходимо комплексное рассмотрение всех конструктивных элементов СЭУ – выявление взаимосвязей устанавливаемых между ними, вклада каждого элемента в процесс увеличения энергогенерирования и т.п. Солнечные элементы, являющиеся главной составляющей солнечного модуля, в первую очередь должны подвергаться комплексному рассмотрению. При этом необходимо проводить анализ конструктивного построения СЭ, определе-

ние эффективности энергогенерирования в разных условиях эксплуатации, выявление эффекта инвариантности при функционировании и т.п.

Постановка задачи исследования. Цель данной экспериментальной работы – оценить влияние таких факторов как уровень энергетической освещенности, температуры подложки, наличия системы ориентации, режима функционирования на изменение количества генерируемой электрической энергии СЭ.

3. Основной материал

Экспериментальный измерительный комплекс (ЭИК), предназначенный для измерений энергетических характеристик солнечных элементов (СЭ) и фотоэлектрических модулей в условиях натурной инсоляции, состоит из установки слежения за Солнцем (гелиостата), с закрепленными на нем исследуемыми СЭ, блока измерений, аналогово-цифровых преобразователей, блока соединений, модуля сопряжений и ПЭВМ типа IBM PC (рис. 1).



ГС – гелиостат, БИ – блок измерений, БС – блок соединений, АЦП – аналого-цифровые преобразователи, МС – модуль сопряжения, ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

Рис. 1. Структурная схема экспериментального измерительного комплекса

Гелиостаты подразделяются на следующие типы: высотно-азимутальные опоры, экваториальные опоры, опоры с компьютерным управлением. Созданная установка слежения за солнцем является модификацией экваториальной опоры и отличается тем, что скорость геосинхронного вращения ее поворотной платформы корректируется ПЭВМ (рис. 2).

Гелиостат состоит из рамы и поворотной платформы. Рама представляет собой сварную конст-

рукцию из труб прямоугольного сечения. Для обеспечения устойчивости и работоспособности гелиостата при скоростях ветра до 25...30 м/с, его рама закрепляется на передвижном фундаменте.

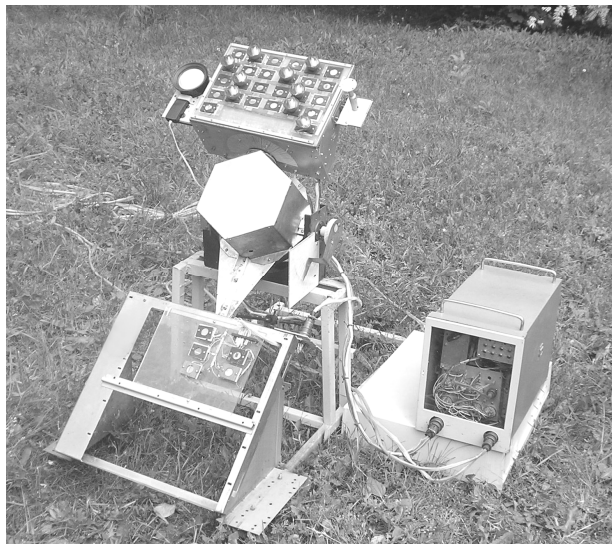


Рис. 2. Экспериментальный измерительный комплекс

Регулировка рамы в горизонтальном положении осуществляется с помощью микрометрических винтов. В нижней передней части рамы гелиостата установлена неподвижная платформа с СЭ, позволяющая произвести измерения их энергетических характеристик при фиксированной ориентации на юг. В верхней части гелиостата укреплена поворотная платформа с двумя степенями свободы, обеспечивающая перпендикулярность, закрепленных на ней солнечных элементов, к источнику света (Солнцу) и слежения за ним. Поворотная платформа состоит из стального основания, закрепленного болтами на раме. Основание имеет два подшипниковых узла с горизонтальной осью вращения. На подвижных запорах подшипниковых узлов установлен корпус, в котором находится электропривод с редуктором; питание электропривода осуществляется от блока измерений. На выходном валу редуктора через фрикционную муфту закреплен специальный держатель с исследуемыми солнечными элементами, указателем направления на Солнце и первичным датчиком измерителя уровня энергетической

освещенности. Специальный держатель представляет собой жесткую дюралюминиевую ферменную конструкцию с закрепленными на ней изолирующе-теплоотводящей подложкой, токоотводящими шинами и клеммами. Изолирующе-теплоотводящая подложка состоит из 52 контактных стоек и 26 алюминиевых держателей-радиаторов расположенных в одной плоскости определенным порядком и зафиксированных методом заливки полиэфирной смолой с добавкой стеклоармирующих компонентов. К держателям-радиаторам прикреплены исследуемые солнечные элементы, а также полупроводниковые датчики температуры; кроме того, отдельные СЭ оснащены концентраторами солнечного излучения. (рис. 3).

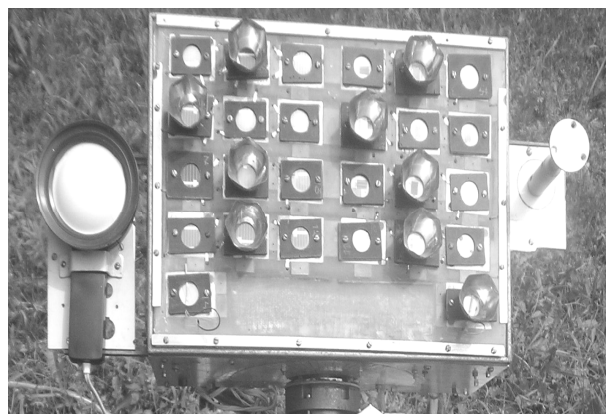
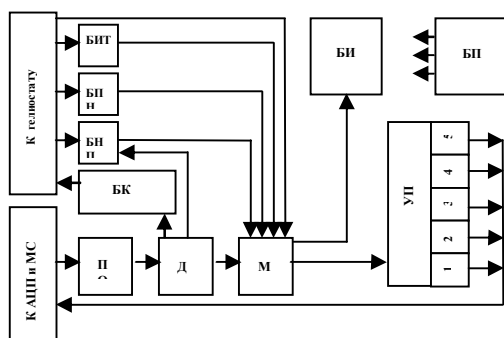


Рис. 3

Электропривод обеспечивает вращение держателя с исследуемыми солнечными элементами (один оборот за сутки) с достаточной для проведения эксперимента точностью. Этого удалось достичь путем коррекции с помощью ПЭВМ его скорости вращения (рис. 4).

Измерительная часть ЭИК функционирует следующим образом. СЭ, размещенные на поворотной и неподвижной платформах, датчики температуры окружающей среды и подложек СЭ, первичный датчик измерителя уровня энергетической освещенности через специальный разъем подключены к составным элементам блока измерений – соответственно к блоку переменных и постоянных нагрузок,

а также блоку измерителя температур. Работой блока измерений (БИ) управляет удаленная ПЭВМ посредством последовательной 8-битной линии передачи данных. Структурная схема блока измерений представлена на рис. 4. Кодированный сигнал через плату оптосвязи поступает в дешифратор, где с него выделяются сигналы шаговым искателем, блоком переменных нагрузок и мультиплексором, а также блоком управления коррекции вращения поворотной платформы. Мультиплексор поочередно (7 раз на протяжении цикла измерений) подключает усилители-преобразователи напряжение-ток к исследуемым СЭ, а также первичным датчикам температур и энергетической освещенности. С усилителей-преобразователей сигнал поступает на входы удаленных аналого-цифровых преобразователей по каналу передачи данных – несимметричной линии сигналов постоянного тока 0 – 5 мА длиной около 60 м. В качестве 14 – разрядных АЦП использованы вольтметры типа В7-21 со встроенной функцией вывода на специальный разъем показаний измерений величины в двоично-десятичном. Для согласования уровней сигналов АЦП и ПЭОМ, учета особенностей их функционирования и повышения помехозащищенности используется модуль сопряжений и блок соединений.



БИТ – блок измерения температуры; БПН – блок постоянной нагрузки; БПН – блок переменной нагрузки; БК – блок коррекции поворотной платформы гелиостата; БИ – блок индикации; БП – блок питания; ПО – плата оптосвязи; Д – дешифратор; М – мультиплексор; УП – усилитель-преобразователь

Рис. 4. Структурная схема блока измерений

Алгоритм функционирования экспериментально-измерительного комплекса изображен на рис. 5.

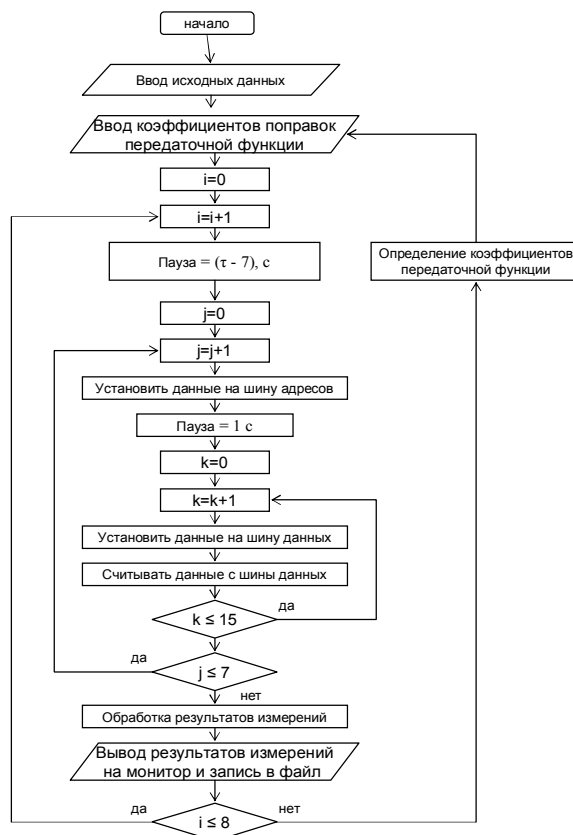


Рис. 5. Алгоритм функционирования экспериментально-измерительного комплекса

Особенностью функционирования ЭИК является возможность выполнения действий по самонастройке измерительной системы (установка «нуля» и определение коэффициентов полинома аппроксимирующих обратную статическую характеристику всей цепочки измерительных элементов). Выявленная величина поправок вносится в расчетную часть программы измерений до завершения проведения очередных 9 циклов. Введение подобной процедуры (самонастройки) обеспечивает линейность и стабильность статической передаточной характеристики экспериментального измерительного комплекса.

Исходные данные, полученные в ходе работы экспериментального измерительного комплекса, представляют собой текстовый файл. Этот файл содержит значительный объем информации об

энергетических параметрах СЭ (напряжение, сила тока), о параметрах, характеризующих условия функционирования (уровень энергетической освещенности, температура окружающей среды, температура подложки СЭ). Все эти параметры регистрируются с помощью экспериментальной измерительного комплекса в течение всего светового дня, дискретно, с интервалом 30 с.

На первом этапе отработки методики проведения экспериментальных работ обработка результатов не была автоматизирована.

В среднем обработка одного исходного файла занимала по времени около 8 часов. При этом приходилось многократно выполнять однообразные операции и вычисления необходимые для окончательного результата и подготовки данных для последующего сравнительного анализа. Это приводило к увеличению вероятности появления грубых и случайных ошибок. Следующим шагом совершенствования методики проведения экспериментальных работ являлась формулировка необходимых действий и реализация их в виде кода прикладной программы. Окончательный вариант программы, применяемой для обработки данных, представляет реализацию алгоритма необходимых преобразований и вычислений в виде программы-макроса, написанном на языке Visual Basic 6.3 – компонента программного пакета Microsoft Office.

Использование разработанной прикладной программы позволило существенно сократить время обработки исходного файла данных. Итоговые результаты, благодаря возможностям самого языка программирования Microsoft Excel, наглядны и легко читаются в виде графиков, таблиц, диаграмм.

Программа состоит из следующих этапов (рис. 6):

1. Преобразование исходного текстового файла данных в формат Microsoft Excel.
2. Проверка данных на достоверность значений – выявление грубых, систематических и случайных ошибок. Стадия проверка данных на достоверность результатов очень важна, т.к. позволяет не только

увеличить точность получаемых результатов, но и своевременно выявить ошибки и устранить причину их появления.

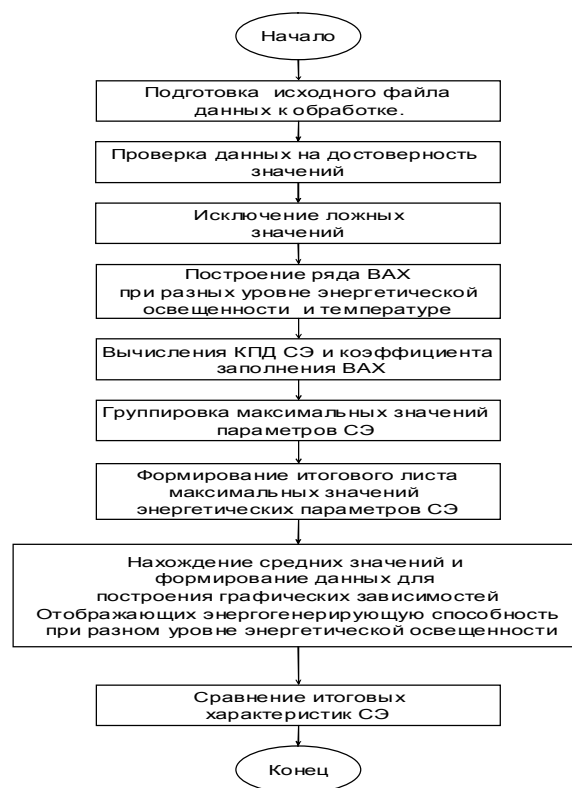


Рис. 6. Блок-схема программы

3. Исключение ложных значений параметров, полученных в ходе экспериментальных измерений. В соответствии с выбранной методикой исключения ошибок использовался однопроцентный уровень малых вероятностей; данные, которые не соответствовали этому критерию, исключались.

4. Построение вольтамперных характеристик при различных уровнях энергетической освещенности в интервале от 200 Вт/м² до 1000 Вт/м². Построение графиков отражающих зависимость тока и напряжения при различных уровнях сопротивления нагрузки, т.е. вольтамперных характеристик, является существенным и необходимым этапом при обработке полученных экспериментальных данных. Анализ полученных вольтамперных характеристик СЭ при различных интенсивностях падающего солнечного излучения позволяет получать важные данные об эффективности преобразования солнечного

излучения и диодный коэффициент, характеризующий различные механизмы протекания тока.

5. Вычисление КПД СЭ и коэффициента заполнения ВАХ для разного уровня энергетической освещенности. Коэффициент полезного действия – основной критерий эффективности функционирования СЭ. Используемый метод определения КПД СЭ основан на прямом измерении энергетических характеристик.

6. Выбор и сведение в отдельную таблицу параметров СЭ, соответствующих максимальной мощности

7. Сортировка параметров СЭ, соответствующих максимальной мощности и группировка в отдельные таблицы, в зависимости от уровня энергетической освещенности.

8. Группировка параметров СЭ, соответствующих максимальной мощности для каждого из дней проведения измерений и для каждого СЭ в этом дне.

9. Группировка по дням – данные выбираются по каждому дню и помещаются в отдельный лист.

10. Формирование итогового листа – данные группируются по типам СЭ, по освещенности и температуре подложки.

11. Нахождение средних значений и формирование данных для построения графических зависимостей отображающих энергогенерирующую способность при разном уровне энергетической освещенности. С помощью последнего модуля программы осуществляется сравнение характеристик для каждого типа СЭ. Этот этап дает наглядное представление о том, при каких условиях и какой тип СЭ функционирует эффективнее.

Выводы

1. Созданный экспериментальный измерительный комплекс позволяет фиксировать в реальном масштабе времени энергетические характеристики каждого из исследуемых в условиях естественной

инсоляции солнечных элементов, температуру их поверхности и уровень освещенности.

2. Разработанная методика и программный пакет позволяют существенно уменьшить временные затраты на обработку экспериментальных данных, повысить их достоверность и предоставить наглядность итоговых значений. Программа может быть полезна при проведении различного рода экспериментальных работ, связанных с обработкой большого массива исходных данных.

Заключение

Использование экспериментальных данных, полученных в ходе выполнения работы, позволит еще на этапе проектирования оценить целесообразность введения в структурную схему тех или иных узлов для увеличения энергоэффективности всей СЕУ, что в конечном итоге приведет к существенному снижению стоимости получаемой электроэнергии

Литература

1. Grobe Euphorie in Paris. Jken Jörn. Sonne Wind und Wärme. 2004, № 7, С. 26 – 30, 5 ил.
2. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. – Л.: Наука, 1989.
3. Беляев Ю.М., Нагайкин А.С., Разгоняев Ю.В. Повышение эффективности использования наземных фотоэлектрических систем // Гелиотехника. – 1989. – № 2. – С. 6 – 10.
4. A comparison of the performance of different PV module types in temperate climates. Carr A.J., Pryor T.L. Sol. Energy. 2004. 76, № 2 – 3, С. 285 – 294.

Поступила в редакцию 27.05.2005

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. В. Безручко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Харьков.