

Ж.Р. ПАНОСЯН, Г.П. ВАРДАНЯН, А.А. ДРНОЯН

### РАЗРАБОТКА НОВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ С ФРЕНЕЛЕВСКИМИ КОНЦЕНТРАТОРАМИ, СЛЕДЯЩЕГО ЗА ДВИЖЕНИЕМ СОЛНЦА

С целью преобразования солнечной энергии, имеющей большой потенциал в РА, в электрическую разработан устанавливаемый на крышах зданий новый фотоэлектрический подвижный модуль с френелевскими концентраторами, автоматически следящий за движением Солнца. Модуль занимает маленькую площадь, лёгкий, прочный и с высокой производительностью.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, следящий за движением Солнца, микроконтроллер, френелевский концентратор лучей, высокая производительность.

**Введение.** Республика Армения не имеет ископаемых углеводородных энергоносителей, и её базовая энергетика до 1970 года основывалась на гидроэнергетике. В конце 60-х годов в республике начали внедряться теплоэлектростанции, а в 70-е - также атомные электростанции. Энергетический кризис 1990-х годов показал неспособность защиты энергетической независимости Армении, опирающейся на импортируемые энергоносители. Энергетическая независимость и безопасность РА, в этом смысле, и сегодня остаются наиболее уязвимыми проблемами. Это обусловлено тем, что, с одной стороны, водные ресурсы Армении ограничены, а число водохранилищ неудовлетворительно, с другой - питьевая вода как для нашего региона, так и для всего земного шара получает большее стратегическое значение, чем нефть. Для РА, как и для любой другой страны, самым мощным собственным и возобновляемым источником энергии является солнечная энергия. Каждый день от Солнца получают  $\approx 165000 \text{ TВт}$  энергии, а для полного обеспечения энергетических потребностей земного шара необходимо приблизительно  $\approx 20 \text{ TВт}$  энергии [1]. Таким образом, необходимо падающую на очень маленькую площадь солнечную энергию с большим КПД прямо преобразовать в электрическую энергию, накопить ее с помощью гидроаккумулирующих электростанций и доставить потребителям в несолнечные часы [2].

Гидроаккумулирующие электростанции продуктивны и имеют низкую себестоимость для территорий с горным ландшафтом, в частности для Армении, которая также имеет развитую сеть гидроэлектростанций и большой опыт управления их режимами. Страны Евросоюза, имеющие соответствующий горный рельеф, давно используют гидроаккумулирующие электростанции. Например, в Швейцарии значительная часть электроэнергии обеспечивается за счёт покупае-

мой дешевой ночной электроэнергии атомных электростанций из Франции. Такое взаимовыгодное международное сотрудничество между этими странами является примером начальной глобализации в электроэнергетике. Рассмотрены преимущества глобализации электроэнергетики, возможные сценарии и модели использования источников возобновляемой энергии, вопросы создания комбинированных комплексов энергосистем [3]. Моделями сотрудничества выступают создание единых электроэнергетических систем Евросоюза или Северной Америки, а для межконтинентального сотрудничества - чаще всего обсуждаемый сценарий производства электроэнергии из солнечной энергии в Африке и передача её потребителям в Европе. В этих моделях приборы, использующие солнечную энергию вместе с гидроаккумуляцией, рассматриваются как основные средства, и их себестоимость, постоянно снижаясь в последнее время, стала конкурентоспособной. Для их широкомасштабного использования, кроме технологических задач, необходимо привести в соответствие юридические и экономические законы всех стран [4].

**1. Мощные фотоэлектрические модули с френелевскими концентраторами, следящие за движением Солнца.** На сегодняшний день наиболее обсуждаемыми международными темами являются возможная мощность потребления солнечной фотоэлектрической энергетики, интегрируемая в общую сеть электроэнергии, методы разработки и их особенности. Выделяют некоторые преимущества модулей: солнечные фотоэлектрические элементы являются возобновляемыми, экологически чистыми, бесшумными; их можно использовать как в квартире, так и в степи, в космосе и т.д.; мощный неиссякаемый источник энергии, для которого после внесения капитальных расходов почти не требуется расходов на обслуживание; производительность фотоэлектрических модулей не зависит от конечной мощности электростанции; сначала их можно построить с малой мощностью, затем увеличить число модулей и довести общую мощность до *ГВт*. Применение френелевских концентраторов солнечных лучей существенно уменьшает использование дорогостоящих полупроводниковых материалов и себестоимость, одновременно увеличивая КПД [5], а применение гелиотехнических френелевских концентраторов позволяет, уменьшая общие потери, довести необходимую площадь солнечных фотоэлектрических каскадных элементов (ФЭКЭ) до *1 кв.см* и использовать большую часть солнечного спектра [6]. Применение туннельного каскадного фотоэлектрического элемента с четырьмя различными запрещенными зонами (полупроводники GaInP, GaAsInP, GaAs, Ge) в случае концентрации френелевского концентрата в 500 раз обеспечивает КПД, равный 46%. Этот показатель в настоящее время считается самым большим реализованным значением КПД для солнечных ФЭКЭ [7].



*Рис. 1. Солнечная электростанция общей мощностью 35 МВт, площадью 91 га, изготовленная с френелевскими концентраторами и установленная американской компанией “Амоникс”*

Мощные электростанции, работающие на солнечной энергии, строятся обычно на ровной местности и занимают большие площади.

Как видно на рис. 1, модули фотоэлектрической станции с френелевскими концентраторами, изготовленные для слежения за движением Солнца по двум осям, чтобы они не затеняли друг друга, занимают большой земельный участок [8]. Система, расположенная на задней части модулей, следящих за движением Солнца, весьма трудоёмкая. Их используют в большом количестве; при этом металлические конструкции постоянно дорожают. В такой малоземельной стране, как РА, необходимо, по возможности, солнечные станции устанавливать на крышах зданий [9]. Необходимо разработать новый модуль, который должен быть, по возможности, мощным, лёгким и быстро устанавливаться на маленькой площади крыши.

Целью настоящей работы является создание лёгкого и прочного модуля маленьких размеров, устанавливаемого на крышах зданий, следящего за движением Солнца по двум осям, с высокой производительностью и простой конструкцией.

**2. Разработка фотоэлектрического модуля с френелевскими концентраторами, следящего за движением Солнца.** Спроектирован лёгкий фотоэлектрический модуль, занимающий площадь до  $3 \text{ м}^2$ , устанавливаемый на крыше зданий, следящий за движением Солнца по двум осям. Структура модуля изображена на рис. 2. Для устойчивого закрепления на крыше модуль имеет массивное основание 1, изготовленное из дюралюминия. К этой опоре прикреплены четыре вертикальные опорные стойки 2, на которых закреплена система, следящая за движением Солнца. На поверхности основания плотно установлена медная пластина 3 толщиной 2 мм, которая обеспечивает теплоотвод с каскадных фотоэлек-

трических элементов. Медная пластина, защищающая ФЭКЭ от пыли и снега, является нижней гранью коробки 5, а верхняя грань – уплотненные френелевские концентраторы 4. Оптимизация размеров френелевских гелиотехнических концентраторов показала, что они не должны превышать площадь  $23 \times 23$  кв. см и могут быть изготовлены целиком в форме из прозрачного и дешёвого полимера - полиметилметакрилата [6].

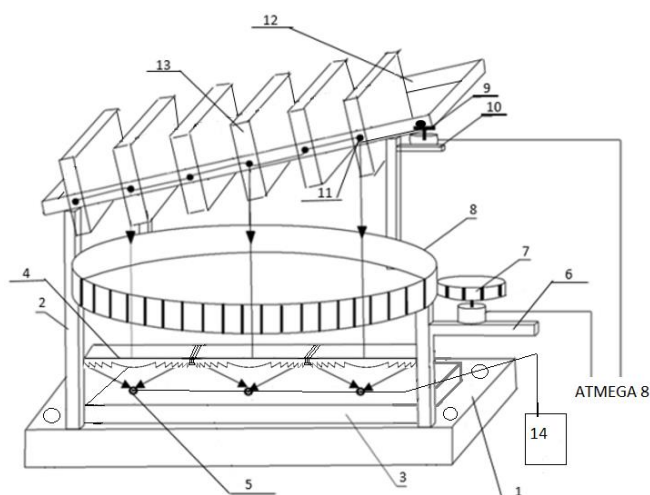


Рис. 2. Схематическая структура фотозлектрического модуля с френелевскими концентраторами, следящего за движением Солнца по двум осям

Защищённость ФЭКЭ от пыли и грязи в коробке (см. рис. 3), а также гладкая внешняя поверхность френелевских концентраторов облегчают очистительные работы прибора, установленного на крыше.

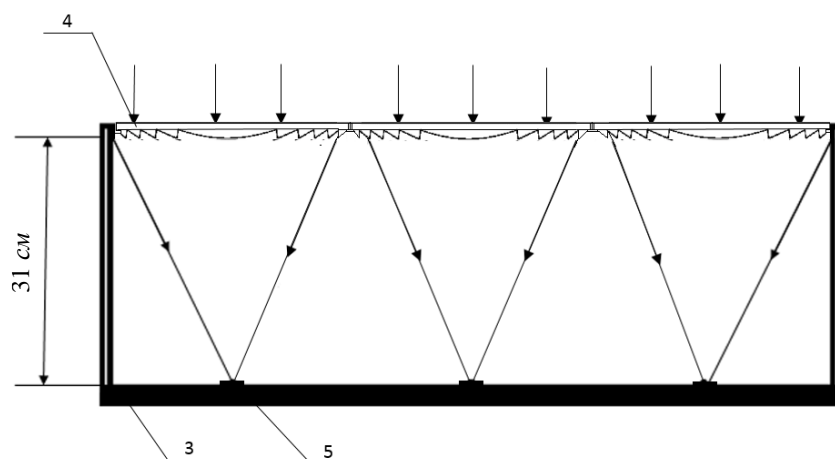


Рис. 3. Схематическое изображение коробки с френелевскими концентраторами 4 и ФЭКЭ 5

Установленные в фокусах концентраторов ФЭКЭ 5 площадью  $1 \text{ см}^2$  находятся под солнечными лучами, сконцентрированными в  $\approx 500$  раз. По этой причине для обеспечения теплоотвода и электроизоляции в местах их расположения медная поверхность покрывается алмазоподобными углеродными плёнками толщиной до  $1 \text{ мкм}$  [10]. Кольцо 8, вращающееся с помощью электродвигателя с трансмиссией 7, укреплено на опорных стойках 2 (см. рис.1), обеспечивая вращение движущейся части модуля вокруг фокусных осей френелевских концентраторов. К прикрепленной на опорных стойках дюралюминиевой рамке 12 крепят систему пластин 13, имеющих зеркальные поверхности, и второй электродвигатель с трансмиссией 9, которые обеспечивают вращение зеркальных пластин вокруг их оси симметрии. Эти пластины, имеющие зеркальные поверхности, обеспечивают перпендикулярное падение солнечных лучей на поверхности френелевских концентраторов. Электродвигатели с трансмиссией управляются посредством контроллера 15, который в любое время дня выбирает те углы поворота зеркал и кольца, с помощью которых ФЭКЭ обеспечивают максимальный ток. ФЭКЭ установлены от френелевских концентраторов на расстоянии  $31 \text{ см}$ , а фокусное расстояние концентраторов -  $32 \text{ см}$ . Это различие делается для того, чтобы солнечные лучи полностью покрывали  $1 \text{ см}^2$  поверхности элемента.

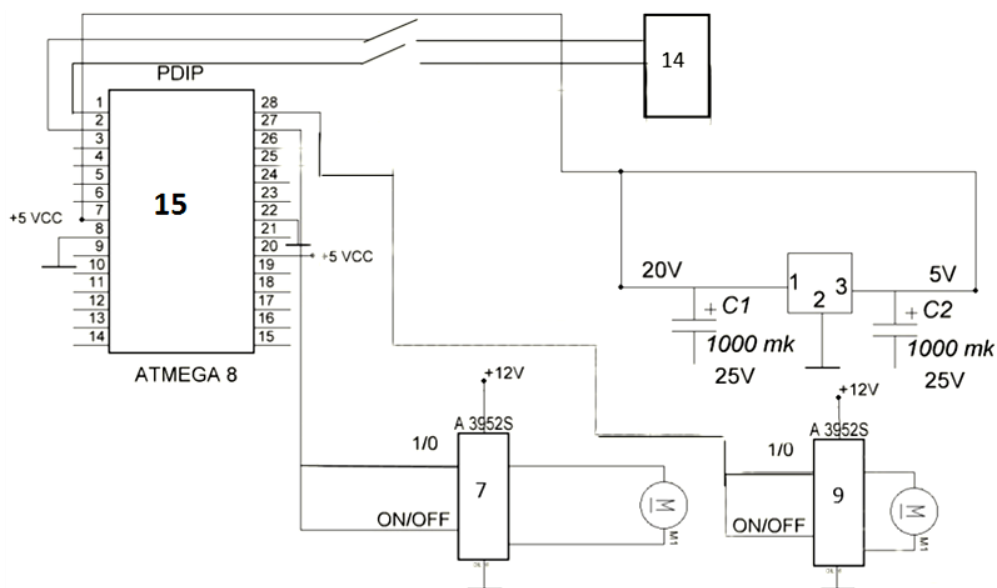


Рис. 4. Схема контроллера, следящего за движением Солнца по двум осям

Благодаря схеме, изображенной на рис. 4, в любое время дня при помощи команды, данной микроконтроллеру ATMEGA 8 (15), выбирается та позиция системы зеркал, в случае которой ФЭКЭ обеспечивают наибольший ток. Микро-

контроллер, получая команду от программы, расшифровывает её и передаёт двум электродвигателям с трансмиссией. Получив команду посредством ножики 1, она передаётся ножики 28, обеспечивая вращение со стороны двигателя 9, а команда, полученная посредством ножики 2, передаётся посредством ножики 27 двигателю 7. Сравнив полученные от ФЭКЭ значения токов в случае различных углов отклонения зеркал, близких перпендикулярным, программа выбирает оптимальный для данного момента угол отклонения зеркал. После этого выдаётся команда о выполнении того же процесса для вращения вокруг фокусных осей френелевских концентраторов.

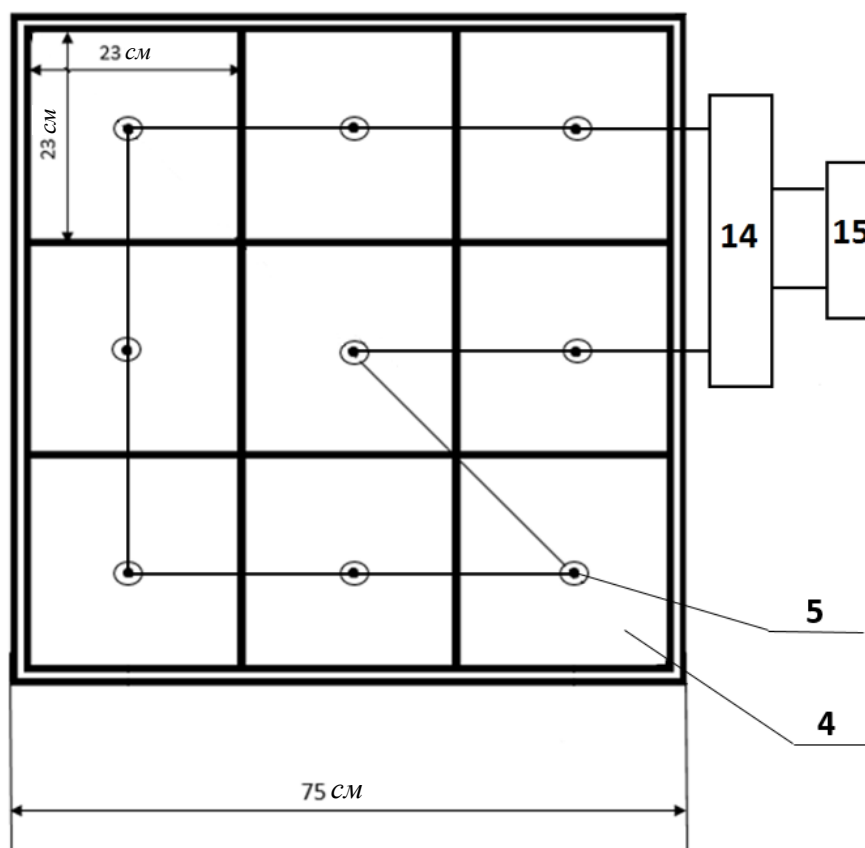


Рис. 5. Проекция сверху коробки с френелевскими концентраторами и ФЭКЭ, соединёнными проводами

ФЭКЭ соединяются проводами последовательно, затем значение выработанного элементами тока выдаётся программе 14, которая, в свою очередь, управляет микроконтроллером 15. На рис. 5 в качестве примера изображены девять френелевских концентраторов с девятью ФЭКЭ. В модуле с френелевскими кон-

центрами, следящем за движением Солнца, использовались трехкаскадные ФЭКЭ с полупроводниками, имеющими три различные запрещённые зоны, схематическое изображение которых приведено на рис. 6. В проектируемом модуле предполагается установить 48 френелевских концентраторов с 48 ФЭКЭ, где используются фотоэлектрические элементы с p-p переходами, состоящие из полупроводников, имеющих три различные запрещённые зоны, которые электрически соединены друг с другом двумя туннельными переходами (см. рис. 6). Непосредственно освещаемый элемент изготовлен из полупроводника GaInP, запрещённая зона которого имеет значение 1,9 эВ, затем следует фотоэлектрический элемент, изготовленный из полупроводника GaAs, с более меньшим значением запрещённой зоны - 1,4 эВ, а в самом конце размещён изготовленный из Ge фотоэлектрический элемент, запрещённая зона которого имеет значение 0,7 эВ. Такое каскадное строение фотоэлементов обеспечивает поглощение большей части солнечного спектра и преобразование в электрическую энергию с КПД 35,9%. В этом случае фотоэлектрический модуль обеспечит мощность 911 Вт и займёт территорию площадью 1,9 м<sup>2</sup>.

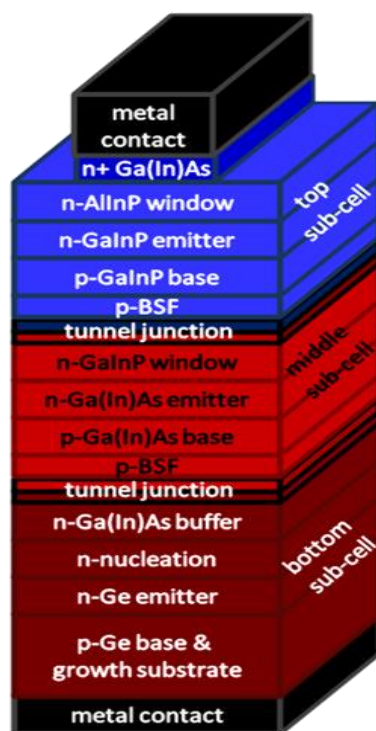


Рис. 6. Схематическое изображение каскадного фотоэлектрического элемента, изготовленного из трёх полупроводниковых материалов

Для увеличения производительности модуля можно использовать также четырехкаскадные ФЭКЭ из полупроводников, имеющих четыре различные запрещённые зоны, которые обеспечат КПД 46% [7]. В этом случае занимающий ту же площадь фотоэлектрический модуль обеспечит уже мощность 1168 Вт. Для обеспечения мощности 2 кВт необходимы 96 однотипных френелевских концентраторов и 96 ФЭКЭ. Приборы, следящие за движением Солнца по двум осям, обеспечивают использование прямых солнечных лучей с раннего утра до позднего вечера (рис. 7).

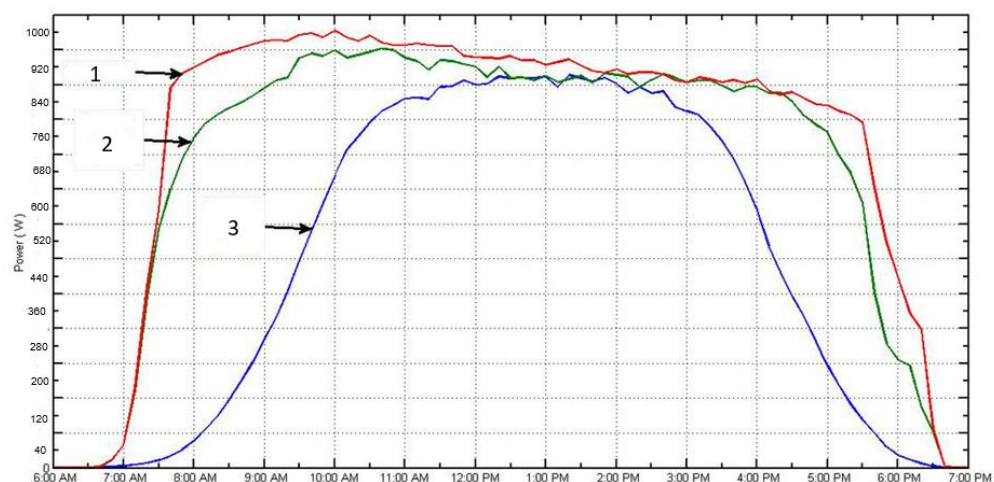


Рис. 7. Зависимости выходных мощностей ФЭКЭ, следящих за движением Солнца, от дня суток: 1 - по двум осям, 2 - по одной оси и 3 - не следящих за движением Солнца

Из рисунка видно, что использование прямых солнечных лучей в зоне географической широты  $40^\circ$  весной начинается с 7-ми часов утра до 19-ти часов вечера. В этом случае фотомодуль, следящий по двум осям за движением Солнца, использует на 30% больше энергии, чем в случае установленных под оптимальным углом солнечных модулей, не следящих за движением Солнца.

#### Заключение

- Разработан следящий за движением Солнца по двум осям подвижный новый модуль высокой производительности, устанавливаемый на крыше зданий. Модуль лёгкий, имеет следящую за движением Солнца автоматизированную систему.
- В модуле использованы 48 френелевских концентраторов, 48 трехкаскадных фотоэлектрических элементов, микроконтроллер, которые обеспечивают мощность  $\approx 1$  кВт. Показано, что установка подобных 96 френелевских концентраторов и 96 четырехкаскадных фотоэлектрических элементов вырабатывает  $\approx 2$  кВт мощности.



- Подвижная система состоит из плоских металлических пластин с зеркальной поверхностью, которые, следя за движением Солнца по двум осям, направляют солнечные лучи в любое время дня перпендикулярно поверхности френелевских концентраторов.
- Разработана схема контроллера, посредством которого реализуется вращение подвижной системы зеркал, следящих за движением Солнца, и в каждый момент времени выбирается тот угол вращения системы, в случае которого модуль обеспечивает силу тока максимальной мощности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Фостер Л.** Нанотехнология и глобальная энергетика // В кн.: Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности.- М.: Техносфера, 2008.- С. 34-40.
2. **Բուռնայան Հ.Ա., Գրարյան Ռ.Վ., Մարուխյան Ռ.Ջ., Փանոսյան Ժ.Ռ.** Ֆոտոէլեկտրական և հիդրոկուտակիչ համակցված կայանի ռեժիմների մշակում և հետազոտում // ՀՊՃՀ Լրաբեր-76. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2009.- Հատ. 1.- էջ 627-630:
3. **Փանոսյան Ժ.Ռ.** Վերականգնվող էներգիայի բնագավառի ինովացիոն տեխնոլոգիաներ // Վերականգնվող և մաքուր էներգիայի հիզերորդ միջազգային համաժողովի աշխատություններ.- Երևան, 2014.- էջ 20-25:
4. UCTE Operation Handbook. Union for the Coordination of Transmission of Electricity.- Brussels, 2009.
5. **Փանոսյան Ժ.Ռ., Մարուխյան Ռ.Ջ.** Արդյունավետ և մրցունակ արեգակնային էլեկտրակայանների արտադրության նոր տեխնոլոգիական մշակումներ // Վերականգնվող էներգետիկական Հայաստանում, գիտաժողովի նյութեր.- Երևան, 2003.- էջ 96-104:
6. **Վարդանյան Գ.Պ., Փանոսյան Ժ.Ռ.** Ֆրենելային հելիոտեխնիկական խտարարներում կորուստների վերլուծությունը // ՀԱՊՀ Լրաբեր. Գիտական հոդվածների ժողովածու.- Երևան, 2015.- Մաս 2.- էջ 447-452:
7. **Schneider Karin.** Pressinformation Fraunhofer // New world record for solar cell efficiency.- 2014.- No. 26/14.- P. 4.
8. Patent US H01L 31/052. Method of improving the efficiency of loosely packed solar cells in dense array applications / **V. Garboushian, A.M. Slade.**- Amonix, CA (US), Nov. 8, 2012.
9. Design, construction and monitoring of a solar photovoltaic station of AUA / **Zh. Panosyan, A. Hambaryan, K. Touryan,** et al // The 21<sup>st</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference.- Dresden, Germany, 2006. - P. 2285-2288.
10. Patent US 7459188 B2. Alliance for Sustainable Energy / **F.J. Pern, K.J. Touryan, Zh.R. Panosyan, A.A. Gippius.**- LLC. Golden, CO (US), Dec. 2, 2008.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 25.11.2015.

Ժ.Ռ. ՓԱՆՈՍՅԱՆ, Գ.Պ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ա.Ա. ԴՌՆՈՅԱՆ

ԱՐԵՎԻ ՇԱՐԺՄԱՆԸ ՀԵՏԵՎՈՂ ՖՐԵՆԵԼԱՅԻՆ ԽՏԱՐԱՐՆԵՐՈՎ  
ԼՈՒՍԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՆՈՐ ՍՈՂՈՒԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

ՀՀ-ում մեծ պոտենցյալ ունեցող արևային էներգիան էլեկտրականի կերպափոխելու նպատակով մշակվել է ֆրենելային խտարարներով արևի շարժմանը ավտոմատ հետևող նոր լուսաէլեկտրական շարժական մոդուլ՝ քաղաքային շենքերի տանիքների վրա տեղադրելու համար: Մոդուլը զբաղեցնում է փոքր մակերես, թեթև է, ամուր և բարձր արդյունավետությամբ:

*Առանցքային բառեր.* արևի շարժմանը հետևող լուսաէլեկտրական մոդուլ, միկրոկոնտրոլեր, ճառագայթների ֆրենելային խտարարներ, բարձր արդյունավետություն:

**ZH.R. PANOSYAN, G.P. VARDANYAN, A.A. DRNOYAN**

**DEVELOPING A RESEARCH OF NEW PHOTOVOLTAIC MODULE WITH  
FRESNEL LENSES, FOLLOWING THE SUN MOVEMENT**

To transform the solar energy, having a big potential in Republic of Armenia, into electrical energy, a new photovoltaic mobile module with Fresnel lenses, which is developed automatically follows the movement of the Sun and can be installed on the roofs of city buildings. The module has a small surface, it is light, solid and is highly efficient.

*Keywords:* photovoltaic module, following the movement of the Sun, microcontroller, Fresnel lenses of rays, high efficiency.