

**ՍԱՐՔԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ, ՉԱՓԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ ԵՎ
ԻՆՖՈՐՄԱՑԻՈՆ ՉԱՓԻՉ ՍԱՐՔԵՐ**

ՀՏԴ 621.382, 621.383

Ն.Կ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Ռ.Ռ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

**ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՖՈՏՈԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄՈԴՈՒԼՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
ՎՐԱ ՓՈՇՈՒ ԵՎ ԶԵՐՄՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

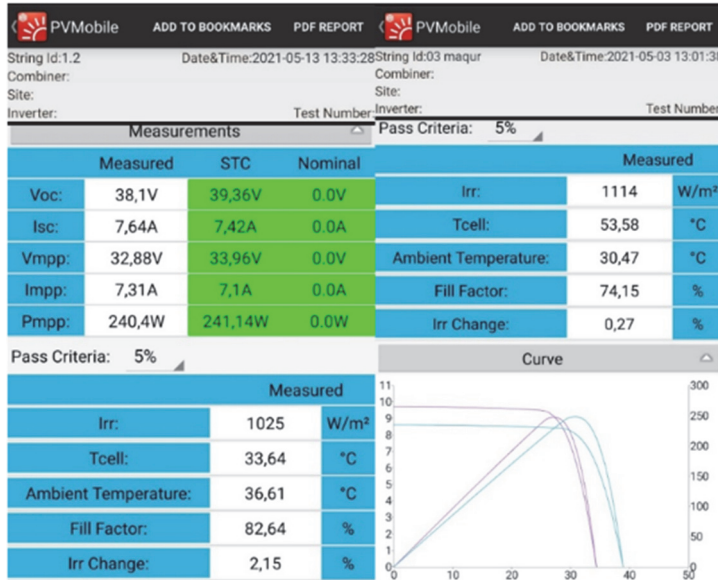
Ներկայումս կարևորագույն նշանակություն ունի արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլների կիրառումը էներգետիկայի բնագավառում: Արևային մոդուլների հիմնական բնութագիրը աշխատանքի արդյունավետությունն է (օ.գ.գ.-ն): Այն կախված է մոդուլների արևային մարտկոցների հատկություններից, ինչպես նաև արտաքին միջավայրի ազդեցություններից: Դրանցից կարևորագույններն են մոդուլների արտաքին մակերեսի աղտոտվածությունը և շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը: Հետազոտվել են արևային մոդուլների արդյունավետության վրա փոշու և ջերմության ազդեցությունները: Ներկայացված են չափման մեթոդը և չափումների կատարման ընթացակարգը: Կատարված փորձնական հետազոտությունները ցույց են տալիս Երևան քաղաքի պայմաններում արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլների արդյունավետության վրա փոշու և ջերմության էական ազդեցությունները:

Առանցքային բառեր. ֆոտոէլեկտրական կերպափոխիչ, արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլ:

Ներածություն: Արևային էներգիան էլեկտրականի փոխակերպելու համար օգտագործվում են ֆոտոէլեկտրական կերպափոխիչներ: Ֆոտոէլեկտրական կերպափոխիչ մոդուլների բնութագրերից կարևորագույնը արդյունավետությունն է (օ.գ.գ.-ն), որի միջոցով որոշվում է կերպափոխված էներգիայի չափը: Ֆոտոէլեկտրական կերպափոխիչների արդյունավետությունը կախված է կիսահաղորդչային սարքի ներքին էլեկտրաֆիզիկական պարամետրերից: Այն խիստ կերպով կախված է նաև արտաքին ազդեցություններից, ինչպիսիք են ապակու մակերեսի աղտոտվածության աստիճանը և մոդուլների աշխատանքային ջերմաստիճանը, որոնց ազդեցության պատճառով էապես նվազում է կերպափոխիչների արդյունավետությունը: Փոշու մասնիկների և կեղտի կուտակումը ֆոտոէլեկտրական մոդուլների (արևային վահանակների) մակերեսին խիստ բացասաբար է անդրադառնում դրանց արդյունավետության վրա, քանի որ փոշու առկայության դեպքում արևի ճառագայթները չեն ներթափանցում դեպի կիսահաղորդչային կերպափոխիչները: Փոշու և կեղտի առկայությունը կարող է նվազեցնել արևային վահանակների արդյունավետությունը ավելի քան 35%-ով [1,2]: Հետևաբար, կարևոր է ունենալ համեմատական գնահատական Երևան քաղաքի տարածքում գտնվող մաքրվող և չմաքրվող արևային մոդուլների էլեկտրական բնութագրերի վերաբերյալ:

Խնդրի դրվածքը: Խիստ կարևոր է ունենալ հստակ գնահատական արևային մոդուլների արդյունավետության վրա փոշու և աշխատանքային ջերմաստիճանի ազդեցությունների վերաբերյալ: Այս խնդրի պատասխանը հնարավորություն կտա՝ ճիշտ գնահատելու արևային ֆոտոէլեկտրական կայանի արդյունավետությունը և արտադրվող էլեկտրաէներգիայի չափը տվյալ տեղանքի համար: Այն հնարավորություն կտա նաև՝ որոշելու փոշու և ջերմաստիճանի վնասակար ազդեցությունների վերացման ուղիները և այդ նպատակով կիրառվող սարքավորումները: Աշխատանքում փորձնականորեն հետազոտվում են Երևանի պայմաններում արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլների արդյունավետության վրա փոշու և արտաքին միջավայրի ջերմաստիճանի ազդեցությունները:

Չափումների ընթացակարգը: Չափումներն իրականացվել են արտաքին միջավայրում՝ ՀԱՊՀ-ի «Կիսահաղորդչային ֆոտոէլեկտրական սարքեր» բազային գիտահետազոտական փորձարարական լաբորատորիայում: Որպեսզի ունենանք Երևանի տարածքում արևային մոդուլների արդյունավետության վրա փոշու ազդեցության գնահատականը, կատարվել են պարբերաբար մաքրվող և չմաքրվող արևային մոդուլների բնութագրերի չափումներ: Առաջին արևային մոդուլը պարբերաբար մաքրվում և սառեցվում է արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլների համար մշակված մաքրող համակարգի միջոցով, իսկ 2-րդ արևային մոդուլը չի մաքրվում. մաքրումն իրականանում է բնական եղանակով: Արևային մոդուլների պարամետրերի չափումն իրականացվել է SEAWARD PV200 չափիչ համակարգի միջոցով: Արևային մոդուլին ամրացվում է Solar Survey 200R չափիչ սարքը, որը չափում է արևի ինտենսիվությունը, մոդուլի ջերմաստիճանը և շրջապատի ջերմաստիճանը, այնուհետև տվյալներն ուղարկում է PV200 սարքին: Մինչ չափում իրականացնելը մաքրման համակարգի միջոցով մաքրվում է առաջին արևային մոդուլը: Մաքրման հետևանքով մոդուլի ջերմաստիճանը նվազում է: Աշխատանքային ցածր ջերմաստիճան ունենալու դեպքում չափում ենք արևային մոդուլի պարամետրերը: 15 րոպե հետո 2 մոդուլների ջերմաստիճանները հավասարվում են, որից հետո կատարվում են 2 արևային մոդուլների բնութագրերի չափումներ SEAWARD չափիչ համակարգի միջոցով: Սարքից դուրս եկող կցորդիչները միացվում են համապատասխան մաքուր և փոշոտ արևային մոդուլներին: Որպեսզի չափումների արդյունքները կարողանանք ստանալ android համակարգի միջոցով, անհրաժեշտ է ներբեռնել PVMobile բջջային հավելվածը: Արևային մոդուլին կցորդիչներով միացվում է չափիչ սարքը, և սեղմվում Auto կոճակը: Չափումները կատարելուց հետո NFC-ի միջոցով տվյալները փոխանցվում են բջջային հավելվածին:



Սկ. 1. Seaward PV200 չափիչ համակարգի համար նախատեսված ծրագրային միջավայրը, չափումների տվյալները, վոլտ-ամպերային բնութագիծը

Կատարված չափումներն իրականացվել են Հայաստանում արտադրված արևային մոդուլների համար, որոնց էլեկտրական բնութագրերը ներկայացված են աղ. 1-ում:

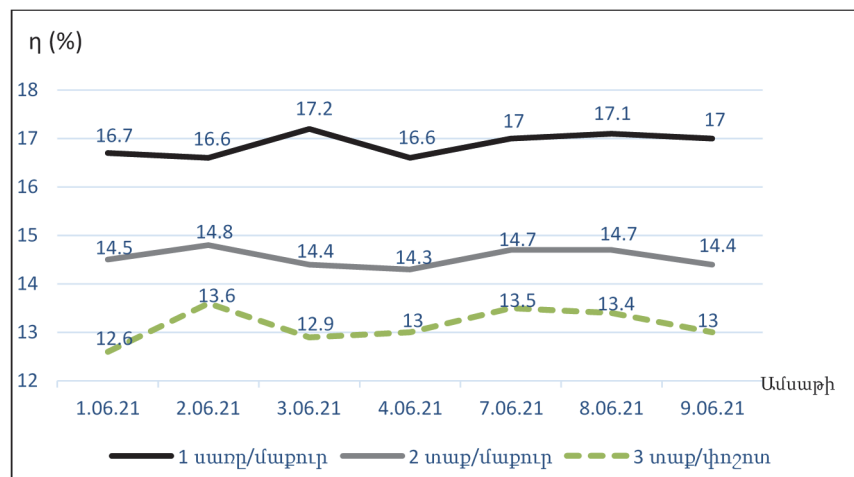
Աղյուսակ 1

Ֆոտովոլտային արևային մոդուլի էլեկտրական բնութագրերը

Ֆոտովոլտային արևային մոդուլ		
Արտադրված է Հայաստանում		
Տիպ SLN-60Poly-275		
Առավելագույն հզորություն	P_{max}	275 Վտ
Առավելագույն հզորության լարում	V_{mp}	32.33 Վ
Առավելագույն հզորության հոսանք	I_{mp}	8.59 Ա
Բաց միացման հոսանք	V_{oc}	39.24 Վ
Կարճ միացման հոսանք	I_{oc}	9.07 Ա
Համակարգի առավելագույն լարում		1000 Վ
Աշխատանքային ջերմաստիճան		-45 -- +85 °C
Կիրառման դաս		A
Հրդեհային դաս		C
Քաշ		18 կգ
Չափս		1640*992*35 մմ

Հետազոտության արդյունքները: Ստորև ներկայացված են կատարված չափումների արդյունքներն ու դրանց դիտարկումները: Չափումները կատարվել են արևային մոդուլների 3 վիճակի համար: Առաջին դեպքում չափումներ կատարվել են մաքուր, ցածր աշխատանքային ջերմաստիճան (33-35 °C) ունեցող արևային մոդուլի, երկրորդ դեպքում՝ մաքուր, բարձր աշխատանքային ջերմաստիճան (55-62°C) ունեցող արևային մոդուլի և երրորդ դեպքում՝ փոշոտ արևային մոդուլի (աշխատանքային ջերմաստիճանը՝ 55-62°C) դեպքում: Չափումներն իրականացվել են 01-08.06.2021 օրերի ընթացքում՝ յուրաքանչյուր օրվա ժամը 12:30-ին:

Ստորև ներկայացված է արևային մոդուլների արդյունավետության (օ.գ.գ.-ի) փոփոխության գրաֆիկը 01-09.06.2021 օրերի ընթացքում (նկ. 2):



Նկ. 2. Տարբեր արևային մոդուլների արդյունավետության փոփոխությունները Երևանում հունիս ամսվա ընթացքում

Հաշվարկներն արվել են համապատասխանաբար և փոշոտ, և մաքուր արևային մոդուլների դեպքում: Ունենալով փոշոտ և մաքուր արևային մոդուլների օ.գ.գ.-ների արժեքները, կարող ենք համեմատություն անել, թե քանի տոկոսով է փոխվում արևային մոդուլի օ.գ.գ.-ի արժեքը փոշու առկայության դեպքում՝

$$\Delta\eta = \frac{\eta_{մաք.} - \eta_{փոշ.}}{\eta_{փոշ.}} \times 100\% , \quad (1)$$

որտեղ $\Delta\eta$ -ն մաքուր և փոշոտ արևային մոդուլների օ.գ.գ.-ների փոփոխությունն է՝ արտահայտված տոկոսով, $\eta_{մաք.}$ -ը՝ մաքուր արևային մոդուլի օ.գ.գ.-ն է, $\eta_{փոշ.}$ -ը՝ փոշոտ արևային մոդուլի օ.գ.գ.-ն:

Երկրորդ և երրորդ վիճակներում կատարված չափումներից (նկ.2) հետևում է, որ միջինում արդյունավետությունը, փոշու ազդեցությունից կախված, փոփոխվել է՝

$$\Delta\eta_{\text{միջ.}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\eta}{n} = \frac{15+8,8+11,6+10+8,9+9,7+10,7}{7} = 10.67 \% \text{ -ով,}$$

որտեղ n -ը կատարված փորձերի քանակն է:

Կատարված փորձերը կարող ենք գնահատել նաև ջերմաստիճանի միավոր փոփոխության դեպքում արդյունավետության փոփոխությունը:

Դիտարկենք առաջին և երկրորդ վիճակում (նկ.2) կատարված չափումները: Յուրաքանչյուր չափման համար հաշվարկված է $\Delta T = T_{\text{մաք.}} - T_{\text{մաք.սա}}$ և $\Delta\eta = \eta_{\text{մաք.սառը.PV}} - \eta_{\text{մաք.PV}}$: Ունենալով ΔT և $\Delta\eta$, կարող ենք որոշել արդյունավետության փոփոխությունը միավոր ջերմաստիճանի փոփոխության դեպքում՝

$$\alpha = \Delta\eta / \Delta T, \quad (2)$$

$$\alpha_1 = 0,079, \alpha_2 = 0,077, \alpha_3 = 0,104, \alpha_4 = 0,088, \alpha_5 = 0,109, \alpha_6 = 0,114, \alpha_7 = 0,086.$$

Կատարված փորձերի համար կունենանք միջինացված հետևյալ արժեքը՝

$$\Delta\alpha_{\text{միջ.}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\alpha}{n} = 0.093 \% / ^\circ\text{C},$$

որտեղ n -ը կատարված փորձերի քանակն է:

Արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլի արդյունավետության չափումները կատարվել են ջերմաստիճանի տարբեր արժեքների դեպքում: Արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլը սառեցման համակարգի միջոցով բերվել է համապատասխան տարբեր ջերմաստիճանների սահմաններին, և այդ աշխատանքային ջերմաստիճանների պարագայում կատարվել են Seaward չափիչ համակարգով հզորությունների չափումներ (աղ. 2):

Աղյուսակ 2

Seaward չափիչ համակարգով կատարված չափումների տվյալները

T_{PV} ($^\circ\text{C}$)	$P_{\text{արև}}$ ($\text{Վտ}/\text{մ}^2$)	P_{PV} (Վտ)	η (%)
33.64	1025	240	16
37.39	979	216	15.1
45.9	977	199	14.2
54	960	197	14
64.77	1027	206	13.7

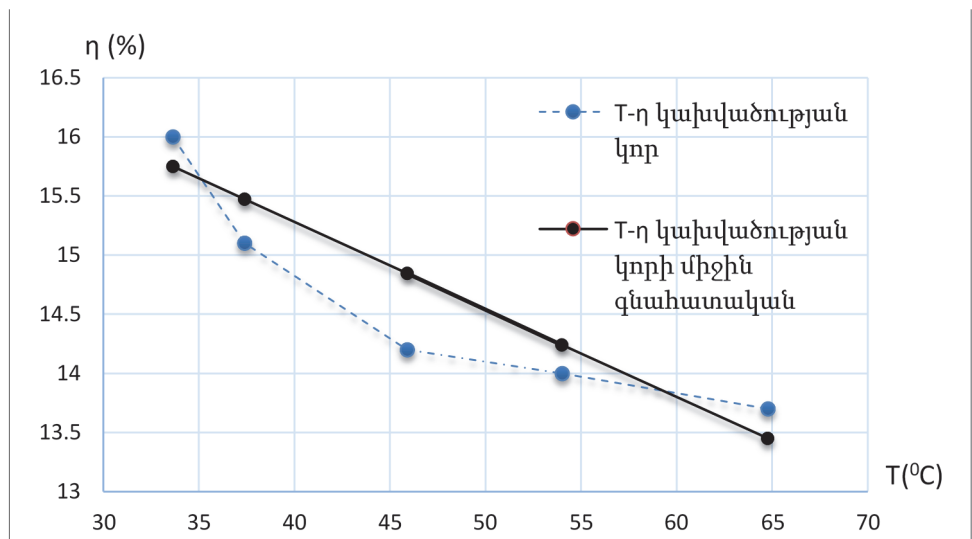
Չափումների տվյալներից կարող ենք հաշվել արևային մոդուլի օ.գ.գ.-ի արժեքը հետևյալ բանաձևով՝

$$\eta = \frac{P_{PV}/1,46}{P_{արև}} \times 100\% , \quad (3)$$

որտեղ $P_{արև}$ -ը տվյալ պահին արևից տրված էներգիան է 1 մ² մակերեսի վրա (ինտենսիվությունը), P_{PV} -ն՝ չափումներից ստացված արևային մոդուլների հզորության արժեքը:

Նկ. 3-ում ներկայացված է արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլի արդյունավետության (օ.գ.գ.-ի) կախվածությունը արևային մոդուլի ջերմաստիճանից:

Նկ. 3-ի գրաֆիկը ցույց է տալիս արևային մոդուլի օ.գ.գ.-ի փոփոխությունը՝ կախված նրա աշխատանքային ջերմաստիճանից: Կետագծերով ներկայացված է չափումների ընթացքում կառուցված կորը, որն արտահայտում է արևային մոդուլի արդյունավետության կախվածությունը արևային մոդուլի աշխատանքային ջերմաստիճանից: Մուգ գիծն արտահայտում է կետագծերով կորի միջինացված արժեքներով կառուցված η-T կախվածությունը:



Նկ. 3. Արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլի արդյունավետության կախվածությունը աշխատանքային ջերմաստիճանից (չափումները կատարվել են Երևանում 21.06.2021-ին)

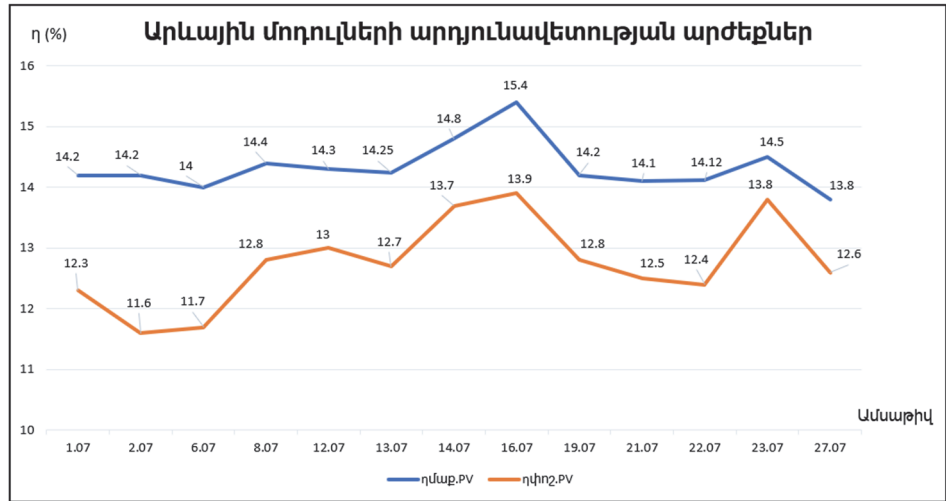
Ստորև ներկայացված չափումները և դրանց դիտարկումները կատարվել են հուլիս ամսվա ընթացքում (01-27.07.2021): Չափումները կատարվել են արևային մոդուլների փոշոտ և մաքուր վիճակների դեպքում: Չափումների նպատակն էր տալ գնահատական արդյունավետության փոփոխության վերաբերյալ՝ կախված

փոշու առկայությունից: Չափումներն իրականացվել են «Կիսահաղորդչային ֆոտոէլեկտրական սարքեր» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիայի տանիքում տեղադրված արևային մոդուլների համար (նկ. 4): Չափումների նպատակն էր 1 ամսվա ընթացքում ուսումնասիրել փոշու ազդեցությունը արևային վահանակների արդյունավետության փոփոխության վրա: Մինչ չափման գործընթացը սկսելը՝ առաջին արևային մոդուլը մաքրվել էր հատուկ նախագծված մաքրող համակարգի միջոցով, իսկ 2-րդ արևային մոդուլը նույն ընթացքում չի մաքրվել (մաքրման գործընթացն իրականացել էր բնական եղանակով): Մաքրման գործընթացից հետո արևային վահանակի աշխատանքային ջերմաստիճանը նվազել էր: 15 րոպե անց կատարվել են չափումները, երբ 2 արևային վահանակների ջերմաստիճանները հավասարվել էին (աշխատանքային ջերմաստիճանը՝ 50-65°C դեպքում): Չափումներն իրականացվել են յուրաքանչյուր օրվա ժամը 13:30-ին:



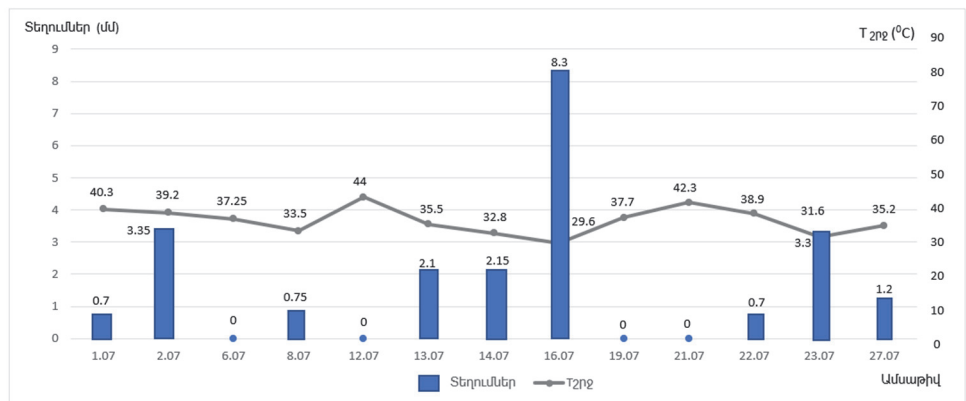
Նկ. 4. Ոչ մաքրուր և մաքրուր արևային մոդուլները, SEAWARD չափիչ համակարգը

Նկ. 5-ում ներկայացված են արևային մոդուլների արդյունավետության փոփոխության գրաֆիկները 01-27.07.2021 օրերի ընթացքում: Նկ. 6-ում ներկայացված են հուլիս ամսվա ընթացքում՝ կատարված չափումների ժամանակ շրջապատի ջերմաստիճանը և տվյալ օրվա ընթացքում տեղումների քանակը:



Նկ. 5. Մաքրվող և չմաքրվող ֆոտոէլեկտրական մոդուլների արդյունավետության փոփոխությունը հուլիս ամսվա ընթացքում՝ չափումները կատարվել են Երևանի տարածքում

Կարևոր է նաև այն ժամանակահատվածում, երբ կատարվել են չափումները, դիտարկել տեղումների քանակական տվյալները, քանի որ դրանք անմիջական առնչություն ունեն արևային մոդուլների մակերեսին փոշու քանակի և առկայության հետ: Նկ. 6-ում ներկայացված են հուլիս ամսվա տեղումների քանակական տվյալները և չափումների ընթացքում շրջապատի ջերմաստիճանի արժեքները:



Նկ. 6. Երևանում հուլիս ամսվա ընթացքում շրջապատի ջերմության փոփոխությունը և տեղումների քանակը [3]

Իրականացված չափումներից կարող ենք կատարել հետևյալ հաշվարկը արդյունավետության գործակցի փոփոխության միջինացված արժեքի համար՝

$$\Delta\eta_{\text{միջ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\eta}{n},$$

որտեղ n -ը կատարված չափումների քանակն է, $\Delta\eta$ -ն՝ արևային մոդուլների արդյունավետության գործակցի փոփոխությունը:

Կստանանք $\Delta\eta_{\text{միջ}}$ -ի համար հետևյալ արդյունքը՝

$$\Delta\eta_{\text{միջ}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta\eta}{n} = 12,55 \% : \quad (4)$$

Եզրակացություն.

1. Արևային մոդուլների արդյունավետությունը խիստ կախված է աշխատանքային ջերմաստիճանից:

2. Փոշու առկայությունը արևային վահանակի մակերեսին զգալիորեն նվազեցնում է արևային մոդուլի օ.գ.գ.-ի արժեքը: Չափումներ են կատարվել հունիս-հուլիս ամիսներին՝ Երևանի տարածքում: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ փոշու առկայության դեպքում հունիս ամսում միջինում 10,76 %-ով, իսկ հուլիս ամսվա ընթացքում 12,55 %-ով նվազել է արևային մոդուլի արդյունավետության գործակցի արժեքը:

3. Արևային ֆոտոէլեկտրական մոդուլների արդյունավետությունը մեծացնելու նպատակով անհրաժեշտ է մշակել մեթոդներ՝ դրանց մակերեսը մաքրելու և աշխատանքային ջերմաստիճանը նվազեցնելու նպատակով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Swanand S.W., Somashekhar G.** Design & Manufacturing of Solar Panels Cleaning System // International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology.- July 2017, ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 6.887.
2. **Paudyal B.R., Shakya S.R.** Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid purpose: a case study of Kathmandu//Solar Energy, October 2016. -Vol.135.-P.103-110.
3. **METEORBLUE** meteorological service created at the University of Basel, Switzerland. Available from:
https://www.meteoblue.com/en/weather/archive/export/yerevan_armenia_616052.

Н.К. БАДАЛЯН, Р.Р. ВАРДАНЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЫЛИ И ТЕПЛА НА
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МОДУЛЕЙ**

В настоящее время использование солнечных фотоэлектрических модулей в энергетике играет ключевую роль. Основной характеристикой солнечных модулей является эффективность работы (коэффициент полезного действия - КПД). Это зависит от свойств модуля солнечной батареи, а также от воздействия окружающей среды. Наиболее важными из них являются загрязнение внешней поверхности модулей и температура окружающей среды. В данной работе исследуется влияние пыли и тепла на эффективность солнечных модулей. Представлены метод измерения и порядок проведения измерений. Экспериментальные исследования показывают значительное влияние пыли и тепла на эффективность солнечных фотоэлектрических модулей в Ереване.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь, солнечный фотоэлектрический модуль.

N.K. BADALYAN, R.R. VARDANYAN

**STUDYING THE DUST AND HEAT IMPACTS ON THE EFFICIENCY OF
SOLAR PHOTOELECTRIC MODULES**

Currently, the use of solar photovoltaic modules in the energy sector plays a key role. The main characteristic of photovoltaic modules is the efficiency. It depends on the properties of the solar cells of modules, as well as the impact of the environment. The most important of these is the pollution of the surface of the modules and the ambient temperature. In this work the effects of dust and heat on the efficiency of solar modules are experimentally investigated. The measurement method and the measurement procedure are presented. Experimental studies show the significant effects of dust and heat on the efficiency of solar photovoltaic modules in Yerevan.

Keywords: photovoltaic converter, solar photovoltaic module.