

УДК 620.92

РАЗРАБОТКА ЧАСТНЫХ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ГИБРИДНЫМИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МОДУЛЯМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ И ПРОБЛЕМА ИХ ИНТЕГРАЦИИ В ЛОКАЛЬНУЮ ЭЛЕКТРОСЕТЬ

Лазуренко Александр Павлович
кандидат технических наук, профессор

*Харьковский национальный университет «Харьковский политехнический институт»
г. Харьков*

Жарков Виктор Яковлевич
Кандидат технических наук, доцент

*Таврический государственный агротехнологический университет
г. Мелитополь*

Жарков Антон Викторович
Инженер - соискатель

*Общество ограниченной ответственности «ЮБС-Холод»
г. Харьков*

DEVELOPMENT OF PRIVATE COGENERATIVE POWER INSTALLATIONS WITH HYBRID PHOTOELECTRIC CYLINDER SHAPE MODULES AND PROBLEM INTEGRATION OF THE LOCAL POWER NETWORK

Lazurenko Alexander Pavlovich,
candidate of technical Sciences, Professor

*National Technical University "Khakiv polytechnic University
Kharkov*

Zharkov Viktor Yakovlevich,
Candidate of technical Sciences, associative professor

*Taurien State Agrotechnological University
Melitopol*

Zharkov Anton Viktorovich,
Engineer - applicant,
LLC "UBC -Kholod"
Kharkov

АННОТАЦИЯ

Приведен анализ развития фотомодулей и СЭС. Суть наших изобретений заключается в усовершенствовании конструкции фотомодуля цилиндрической формы Solyndra, содержащего две стеклянные трубки. Трубка меньшего диаметра покрыта тонкой пленкой ФЭП и помещена в такую же трубку большего диаметра. Эффективность фотомодуля повышается за счет охлаждения и дополнительного получения тепла.

Ключевые слова: анализ, возобновляемые источники энергии, гелиоэнергетика, фотоэлектрический модуль, солнечные электростанции, когенерация

ABSTRACT

The analysis of PV modules and solar power. The essence of our invention is to improve the design of cylindrical shape photomodule Solyndra, comprising two glass tubes. A tube of smaller diameter is covered by a thin film photovoltaic cells and placed in the same tube of larger diameter. Photo module efficiency is enhanced by additional cooling and heat production.

Keywords: analysis, renewable energy, photovoltaic module, solar power, cogeneration.

Актуальность. На территории Европы солнечная энергетика (СЭ) является самым быстроразвивающимся направлением в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ). СЭ развивается в направлениях генерирования электричества и тепла. На рис. 1 представлены ТОП-10 стран Европы по темпам развития солнечной энергетике за 2017год.

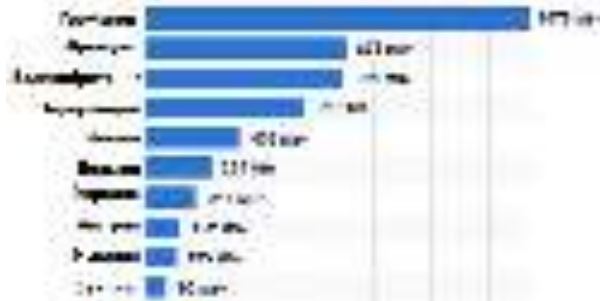


Рисунок 1. ТОП-10 стран Европы по темпам развития солнечной энергетике за 2017год

Украина входит в десятку лучших, и занимает 7-е место. В частности, за 1-й квартал 2018 г. в стране установлено 100 МВт мощностей, что на 66 % больше чем за соответствующий период 2017 года.

В целом же, разными сценариями предполагается, что к 2020 г. в мире будет установлено 350-600 ГВт «солнечных» мощностей, а к 2030 г. – 1080-1800 ГВт, которые будут вырабатывать 200-1400 кВт•ч. электроэнергии [2].

В Германии развиваются как крупные наземные солнечные электростанции (СЭС), так и индивидуальные установки. Около 90% всех солнечных панелей в Германии расположены на крышах частных домов и имеют мощность до 10 кВт говорится в отчете [IRENA 2015]. В настоящее время в Германии установлено около 1,5 млн. крышных солнечных систем, большинство из которых принадлежат физическим лицам.

В Украине общая мощность солнечных электростанций (СЭС), которые работают по «зеленому» тарифу, по состоянию на 31.03.2018 года составляет 841 МВт.

Только за 3 месяца текущего года в Украине установлено 100 МВт, что составляет почти половину мощностей СЭС, введенных за весь 2017 г. За период с 2014 по 2017 г. в эту сферу в стране вовлечено почти 1 млрд. евро инвестиций, а доля «зеленой» электроэнергии в общей структуре энергогенерации достигла 1,1%.

В качестве наиболее вероятных материалов для изготовления фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) рассматриваются кремний и арсенид галлия.

В результате многолетней модернизации ФЭП было достигнуто наивысшее значение КПД - 24% (рис. 2) [3].

При нагреве ФЭП на один градус сверх 25 °С он теряет в напряжении 0,002 В, т.е. 0,4 %/градус. В яркий солнечный день элементы нагреваются до 60... 70 °С, теряя 0,07... 0,09 В каждый [3]. Это и

является основной причиной снижения КПД, который приводит к падению напряжения, генерированного каждым ФЭП [4-7].

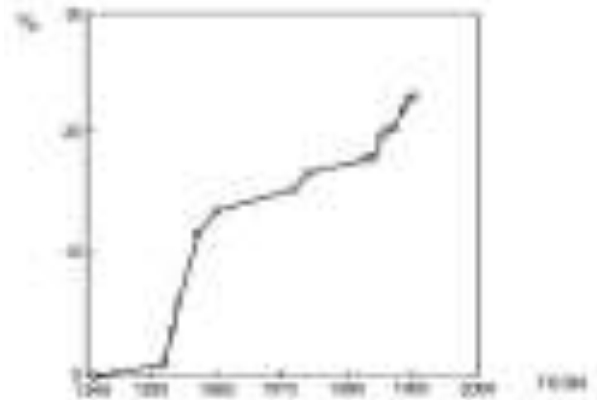


Рисунок 2. Эволюция эффективности ФЭП, %

На рисунке 3 представлена зависимость КПД ФЭП от температуры: нижняя - для НТ ISFH; верхняя – для НТ Sanyo.

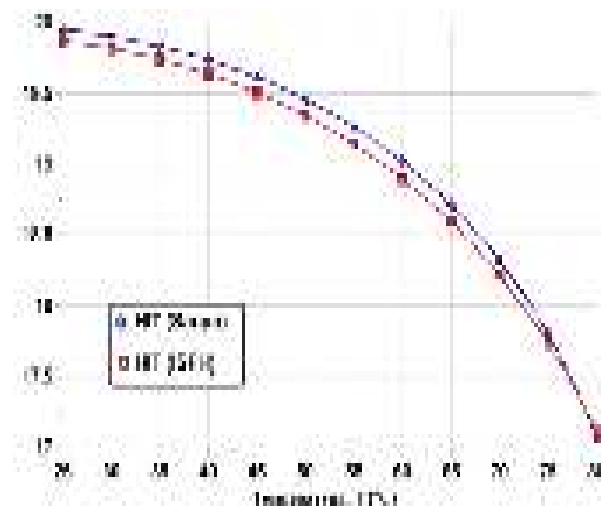


Рисунок 3. Зависимость КПД ФЭП от температуры

Для повышения коэффициента использования энергии солнечного излучения применяют концентраторы солнечного излучения [7].

Даже обладая низким КПД, солнечные электростанции имеют целый ряд преимуществ перед традиционными источниками электроэнергии и уже сейчас являются конкурентоспособными. Эффективность работы СЭС в значительной степени определяется КПД фотоэлектрических преобразователей и существенно зависит от их температуры.

Для характеристики внутренних потерь ФЭП обычно используют так называемый коэффициент заполнения ВАХ фотоэлектрического преобразователя F , равный отношению максимальной мощности P_m к произведению тока короткого замыкания $I_{кз}$ на напряжение холостого хода $U_{хх}$:

$$F = \frac{P_m}{I_{кз} U_{хх}}$$

Зависимость $F=f(T)$ представлена на рис. 4.

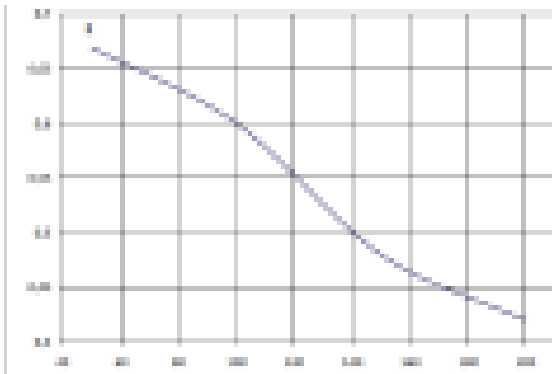


Рисунок 4. Зависимость коэффициента заполнения F от температуры для ФЭП на основе кремния

Солнечные ФЭП на основе монокристаллического кремния, работающие при неконцентрированном солнечном облучении, получили наибольшее распространение в автономной солнечной энергетике [7].

Целью статьи является:

- анализ работы первых частных СЭС относительно их интеграции в локальную электросеть с перерабатывающими предприятиями города;

- обоснование когенерационной технологии преобразования СЭ и разработка эффективных устройств для приусадебных СЭС с использованием запатентованных нами солнечных фотоэлектрических модулей (ФЭМ) цилиндрической формы с водяным охлаждением, термосифоном или тепловой трубой.

За последние неполные четыре года (2015-2018) в Украине более 6 тыс. домохозяйств установили СЭС на крышах своих домов общей мощностью более 121 МВт, инвестировав на это 120 млн. евро личных средств (таблица 1).

Таблица 1

Количество частных СЭС в Украине, работающих по «зеленому» тарифу, 2014-2018гг

Год	Количество	Мощность, МВт
2014	21	0,1
2015	244	2,2
2016	1109	16,7
2017	3010	51
30.09.2018	6031	121

Стремительный спрос населения на «солнечную» энергию объясняется принятым у 2015г. Законом Украины № 514-VIII [1], который дал выгодный «зеленый» тариф с привязкой к курсу евро.

На рис. 5 представлена динамика роста частных СЭС. За 9 месяцев этого года более 3 тысяч семей установили СЭС, что в 2,5 раза больше, чем за аналогичный период 2017 г. (1214 семей).

Из 6,5 млн. частных домохозяйств Украины, благодаря закону о «зеленом» тарифе, более 6 тыс. семей установили СЭС на крышах собственных домов общей мощностью 121 МВт, что составляет около 10% от всех мощностей СЭ в стране.



Рисунок 5. Динамика роста частных СЭС

По данным Госэнергоэффективности, стимулом к переходу на "чистую" энергию является не только желание семей стать более энергонезависимыми, но и возможность заработать на продаже избытка электроэнергии в сеть по "зеленому" тарифу размером 18,09 евроцентов за кВт.ч.

Как видим на рис. 6, безусловным лидером, что очень показательно является не юг, а северно-центральная часть Украины – Киевская область. В этом регионе наибольшее количество домохозяйств используют солнечную энергию – 727 штук. За лидером с небольшим отрывом следуют Днепропетровская (694 СЭС) и Тернопольская (522 СЭС) области. Затем идут Кировоградская (401), Ивано-Франковская (363), Херсонская (359), Харьковская (337 СЭС). Замыкают список Черниговская (74), Запорожская (56) и Луганская (8 СЭС) области.

Все статистические данные взяты с сайта Госэнергоэффективности Украины [1].



Рисунок 6. Количество частных СЭС по областям

Кроме очевидных преимуществ для населения, частные СЭС являются прекрасным примером распределенной генерации в черте города, что положительно влияет на сбалансированную работу энергосистемы.

Высокий спрос домохозяйств на солнечные панели стимулирует бизнес к установке отечественной продукции в этой сфере. В марте этого года в г. Энергодар Запорожской обл. заработал завод по выпуску солнечных панелей для населения.

Среднемесячное количество суммарного количества солнечной энергии, что поступает на территорию Украины, находится примерно в пределах 1000-1400 кВт.ч/м², (см. карту на рис. 7).



Рисунок 7. Карта распределения солнечной инсоляции на территории Украины

Данная солнечная активность соизмерима с условиями Германии, где гелиоустановок насчитывается в 1400 раз больше, чем в Украине.

Проанализируем работу первых частных СЭС в нашем городе относительно их интеграции в локальную электросеть.

На 1.10.2017 в г. Мелитополе насчитывалось три частных надомных СЭС: СЕС1, $P_{уст}=20$ кВт; СЕС2 – 5,2 кВт и СЕС3 – 30 кВт. Все СЭС сетевые, т.е. через инвертор и электросчетчик двустороннего учета подключены к электрической сети, чтобы излишки отправлять в энергосистему.

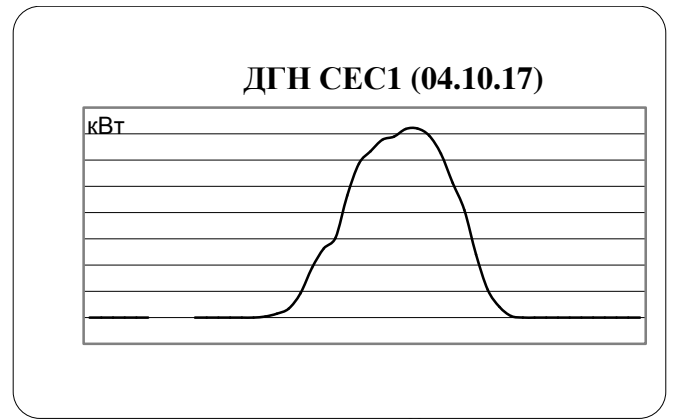
Фотоэнергетическое оборудование (рис.8). может эксплуатироваться круглый год, однако максимально эффективное его использование в нашем городе около 7 месяцев - с апреля по октябрь



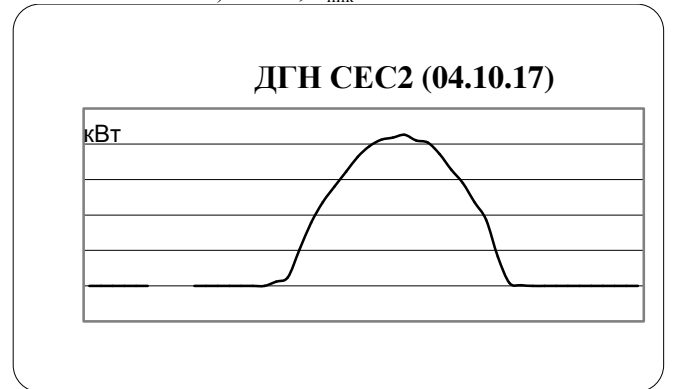
Рисунок 8. Частная сетевая СЭС3, $P_{уст}=30$ кВт, с трёхфазным инвертором для подключения в электросеть, справа

По данным АСКУЭ в таблицах Excel нами построены суточные графики нагрузки (СГН) за 04.10.2017 первых частных СЭС и произведено их суммирование, отображенное на рис. 10.

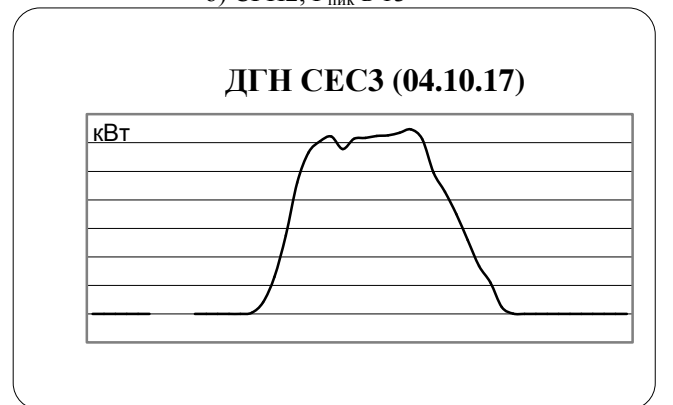
Результаты потребления и отпуска электроэнергии домохозяйством №1, собственника первой СЭС1, марта 2017 по апрель 2018 г. представлены в таблице 2.



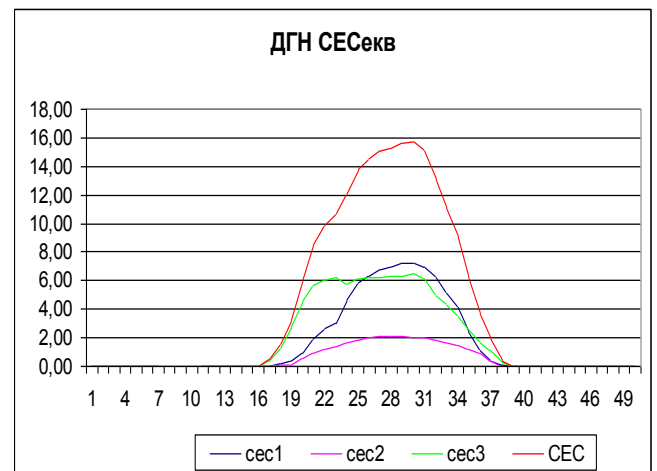
а) СГН1, $P_{пик}$ в 14³⁰



б) СГН2, $P_{пик}$ в 13³⁰



в) СГН3, $P_{макс}$ в течение 11-15 часа



г) СГН_{ЭКВ} для СЭС_{ЭКВ}

Рисунок 9. Суточные графики нагрузок первых частных СЭС в нашем городе за 04.10.2017: а) СГН1; б) СГН2; в) СГН3; г) СГН_{ЭКВ}

Таблица 2
Помесячное потребление (+) и (отпуск (-) электроэнергии домохозяйством №1, кВт.ч

Месяц	Потребление (+)	Отпуск (-)
Март	2047,275	627,536
Апрель	279,439	1335,630
Июнь	105,299	2267,051
Июль	133,306	2269,624
Август	197,750	2310,067
Сентябрь	234,402	1905,131
Октябрь	288,279	857,176
Ноябрь	2187,327	520,493
Декабрь	2857,12	328,015
Январь	4004,414	459,675
Февраль	6972,550	1279,450
Март	7095,100	2190,300
Апрель	1200,840	4585,680
Всего	18554,240	20935,828

Результат коммерческой деятельности первых частных СЭС за октябрь приведены в таблице 3.

Таблица 3

Продажа электроэнергии домохозяйствами в энергосистему по «зеленому» тарифу за октябрь 2017 г., кВт.ч

Домо-хозяйство	Потребление(+)	Отпуск (-)	Продажа
№1	288,279	857,176	569
№2	141,332	296,590	155
№3	242,395	1257,199	1015
Всего	672,006	2410,965	1739

В таблице 4 приведен расчет энергетических показателей трёх СЭС за сутки, а в таблице 5 - результаты за 7 месяцев, когда все три СЭС начали работать по «зелёному» тарифу.

Таблица 4

Энергетические показатели СЭС, 4 октября 2017 г

Показатель	СЭС ₁	СЭС ₂	СЭС ₃
Ориентация фотопанели	юг	юг	восток-запад
P _{уст} , кВт	20	5,2	30
P _{макс} , кВт	7	2,25	7,1
W _с , кВт.ч	60,88	25,07	88,77
K _м = P _{макс} / P _{уст}	0,35	0,43	0,237
K _{нум} = W _д / 24P _{уст}	0,139	0,201	0,123
Кэф. парной корреляции с СЕС ₁ r _{xy}	r _{xy} =	0,986945	-
	r _{xy} =	-	0,936412

Корреляция очень сильная (r_{xy} = 0,986945).

На диаграмме (рис. 10) показан отпуск электроэнергии тремя СЭС за четыре холодных осенне-зимних месяца.

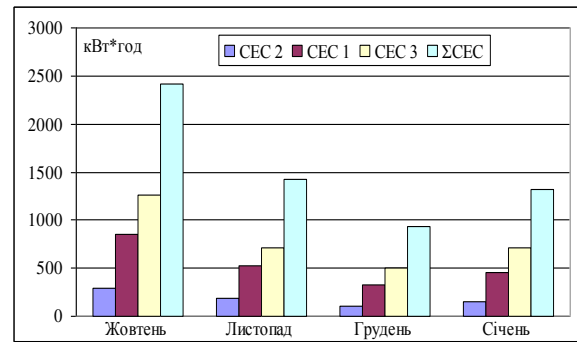


Рисунок 10. Отпуск электроэнергии СЭС1, СЭС2, СЭС3 и СЭС_{экв} за 4 холодных месяца

Коэффициент максимальной мощности определяется по формуле (1)

$$K_m = P_{\text{макс}} / P_{\text{уст}} \quad (1)$$

где P_{макс} и P_{уст} соответственно, максимальная и установленная мощность, кВт.

Коэффициент использования установленной мощности - по формуле (2)

$$K_{\text{нум}} = W_{\text{д}} / 24P_{\text{уст}} \quad (2)$$

где W_с – электроэнергия, отпущенная за сутки, кВт.ч.

Коэффициент корреляции Пирсона r_{xy} определяется по формуле (3)

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

где x_i – значения переменной x;
y_i – значения переменной y;
 \bar{x} – среднее арифметическое значение для переменной x;

\bar{y} – среднее арифметическое значение для переменной y.

Из таблицы 4 следует: наиболее высокие энергетические показатели у наименее мощной СЭС2 с ориентацией на юг, у СЭС1 - несколько меньше, а у СЭС3, с ориентацией фотопанелей «восток-запад», показатели наименьшие.

Высокое значение коэффициента установленной мощности у СЭС2 (K_{нум}=0,201) можно пояснить не только удачным размещением фотопанелей на специальном стенде, расположенном на открытой площадке, но и практическим отсутствием электропотребления на собственные нужды (в небольшом домике в солнечную погоду практически никого не бывает).

Низкое значение коэффициента использования установленной мощности у СЭС1 (K_{нум}=0,139) и СЭС3 (K_{нум}=0,123) можно объяснить большим электропотреблением на собственные нужды, т.к.

домохозяйства насыщены бытовыми электроприборами, постоянно включенной в электросеть. К тому же на фотопанели СЭС1 периодически падает тень от электропроводов и отдельных веток фруктовых деревьев, что снижает мощность генерации. Наиболее низкое значение коэффициента использования установленной мощности у СЭС3 ($K_{иум}=0,123$) объясняется ориентацией фотопанелей «восток-запад» из-за не совсем удачного расположения дома с наклонной крышей.

В таблице 5 приведены более объективные показатели коэффициента использования установленной мощности для различных СЭС, рассчитанные за продолжительный период - 7 месяцев, с октября 2017 по апрель 2018.

Таблица 5

Расчетные показатели $K_{иум}$ частных СЭС за 7 месяцев, с октября 2017 по апрель 2018 г.

Показатель	СЭС1	СЭС2	СЭС3
$W_{сум}$, кВт.ч	10221	3444	15608
$P_{вст}$, кВт	20,00	5,20	30,00
$K_{иум}$	0,1004	0,1302	0,1023

Общее снижение коэффициента использования установленной мощности $K_{иум}$ объясняется снижением генерации в осенне-зимний период.

Наибольший показатель у наименее мощной, но с хорошим расположением СЭС3 (0,1302). Снижение коэффициента использования установленной мощности у СЭС1 ($K_{иум}=0,1004$), вызвано дополнительным снижением отпущенной электроэнергии из-за повышенного электропотребления на электрообогрев.

По данным АСКУЭ в таблицах Excel построены СГН за рабочие дни августа 2017 г. перерабатывающих предприятий города: ЧП «Молокозавод – Олком» (рис. 11) и АО «Мелитопольский мясокомбинат» (ММК) (рис. 12), а также автозаправочной станции «Гефест» (рис. 13).

В таблице 6 приведен пример расчета коэффициента корреляции между СГН СЭС2 и ЧП Молокозавод «Олком», а в таблице 7 результаты расчетов коэффициентов парной корреляции СГН каждой СЭС с другими предприятиями.

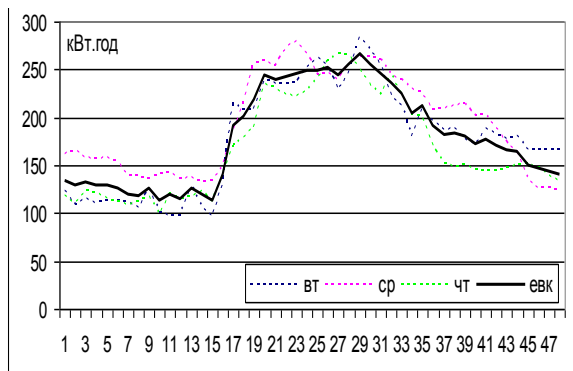


Рисунок 11. СГН ЧП «Олком» за рабочие дни

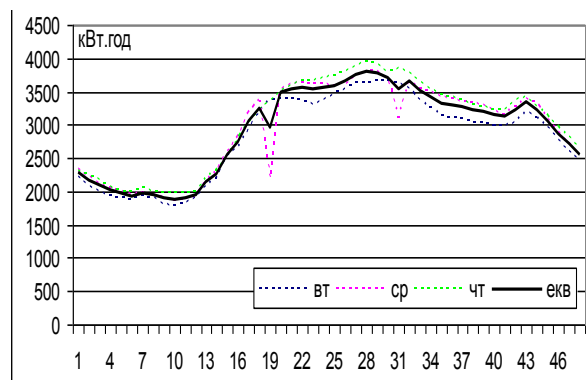


Рисунок 12. СГН Мелитопольского Мясокомбината за рабочие дни августа

Таблица 7

Расчетные значения коэффициента парной корреляции r_{xy} частных СЭС с предприятиями города

Предприятие	СЭС1	СЭС2	СЭС3
ЧП МЗ«Олком»	0,8416	0,8861	0,9151
ММК	0,8079	0,8540	0,8790
АЗС «Гефест»	для СЭС _{эвк} $r_{xy} = 0,8536$		

Для дополнительной экономии денежных средств собственник оформил договор на оплату потребленной электроэнергии по двухзонному дифтарифу – ночью (с 23-00 до 7-00) тариф на 50% ниже. На отопительный сезон (с 1 октября по 1 марта) на электроотопление предоставляется лимит, 3000 кВт.ч в месяц, на дешевую электроэнергию. В отопительную систему дополнительно к электрокотлу мощностью 12 кВт хозяин включил аккумуляторную емкость. Ночью хозяин по льготному (ночному) тарифу нагревает дополнительно 1,5 м³ воды, а днем её только прокачивает через отопительную систему. Ежедневно ночью хозяин потребляет из сети максимум (около 80-90%) дешевой электроэнергии, а дорогую от СЭС отправляет в электросеть. К тому же на крыше дома, кроме фотопанелей СЭС1 установлен солнечный коллектор для нагрева воды в системе ГВС. Зарабатывая деньги на солнечной энергии, собственник СЭС1 способствует выравниванию СГН энергосистемы и снижению потерь электроэнергии.

В сентябре хозяин ввел в эксплуатацию 3-ю очередь своей СЭС1, доведя ее мощность до предельно допустимых 30 кВт.

По результатам анализа можно сделать следующие выводы: частные СЭС имеют высокие уровни корреляции с перерабатывающими предприятиями города, и могут образовывать с ними локальную электросеть, снижая пиковую нагрузку в ОЭС Украины и уменьшая потери электроэнергии в сети; в перспективе они могут создать локальную сеть станций по зарядке электромобилей; подобные СЭС небольшой мощности следует устанавливать на крышах гостиниц, офисов и пр. учреждений, для электропитания кондиционеров.

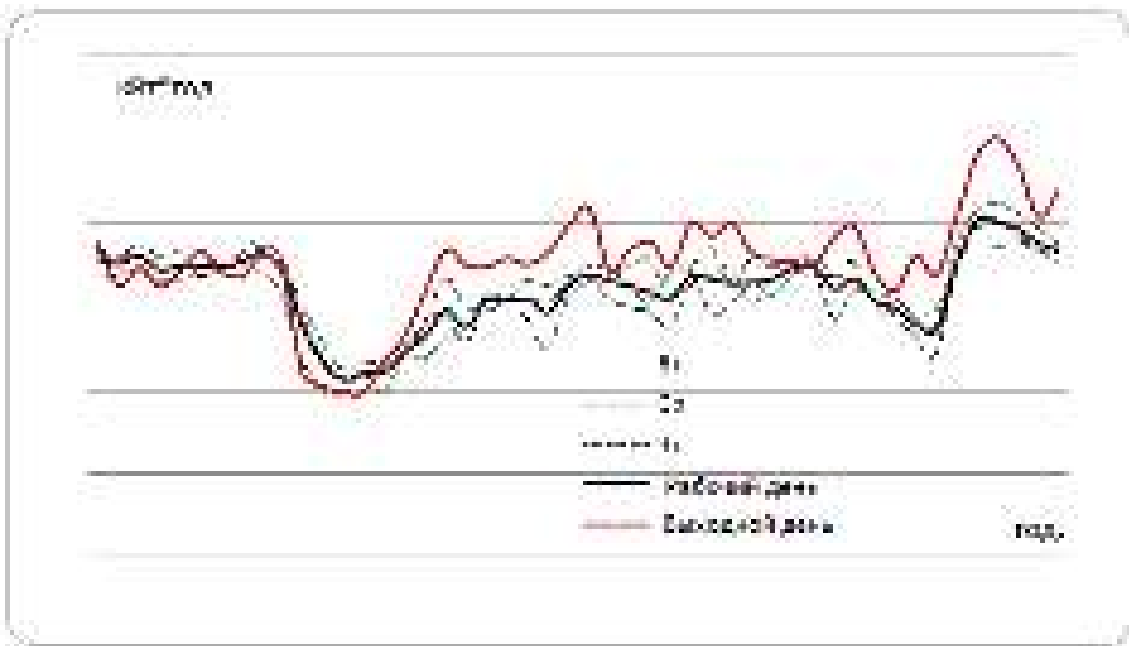


Рисунок 13. СГН автозаправочной станции «Гефест» в летний день:
рабочие дни: вторник, среда, четверг и средний (сплошная) – черным; выходной день – красная

Таблица 6
Расчет коэффициента корреляции суточного графика нагрузки СЭС2 и ЧП Молокозавод «Олком»

Разность среднеарифметического и текущего значений		Квадрат разности среднеарифметического и текущего значений		Произведение разности среднеарифметических значений
1,14	106,83	1,31	11413,09	122,10
0,00	-140,59	0,00	19765,55	0,00
-0,06	-191,19	0,00	36551,70	11,47
-0,12	-200,83	0,01	40333,36	24,10
-0,51	-218,54	0,26	47761,19	111,46
-0,89	-244,08	0,79	59575,05	217,23
-1,18	-239,67	1,39	57439,31	282,80
-1,40	-243,07	1,96	59084,65	340,30
-1,61	-245,42	2,59	60232,61	395,13
-1,82	-249,41	3,31	62204,52	453,92
-1,97	-248,55	3,88	61774,62	489,63
-2,06	-252,62	4,24	63818,55	520,40
-2,09	-244,27	4,37	59669,46	510,53
-2,13	-255,41	4,54	65233,42	544,02
-2,05	-265,82	4,20	70662,04	544,94
-2,02	-255,55	4,08	65306,65	516,21
-1,86	-246,53	3,46	60776,22	458,54
-1,64	-236,69	2,69	56021,37	388,17
-1,45	-224,59	2,10	50441,42	325,66
-1,18	-204,48	1,39	41812,07	241,29
-0,93	-211,63	0,86	44788,67	196,82
-0,41	-190,75	0,17	36386,20	78,21
-0,04	-182,30	0,00	33234,51	7,29
-0,01	-182,93	0,00	33462,78	1,83
0,00	-180,14	0,00	32451,62	0,00
Суммы:		47,62	1230200,61	6782,07
		Коэффициент корреляции r_{xy}		0,8861

На отопление и горячее водоснабжение в мире расходуется около трети топлива. Вместе с тем, 40% энергии крестьянину нужны в виде низкопотенциальной теплоты (НПТ). Однако тратить высококачественную электрическую энергию на получение НПТ противоречит здравому смыслу [14]. НПТ необходимо получать от ВИЭ - за счет энергии Солнца, ветра, биомассы и т.п.

Для превращения солнечной энергии в тепло широко используются солнечные коллекторы (СК), как плоской, так и цилиндрической формы.

На рис. 14 представлен вакуумный СК, установленный на крыше собственного дома одного из исполнителей НР в с. Семеновка Мелитопольского района [14]. СК состоит из 15 вакуумных трубок длиной по 180 см, бака на 150 л, циркуляционного насоса и контролера напряжением 220, мощностью 5 Вт.



Рисунок 14. Вакуумный СК на крыше дома

На основе проведенного анализа, с участием студентов, разработана и изготовлена конструкция компактного плоского СК для собственной квартиры (дачи), представлена на рис. 15.



Рисунок 15. Компактный плоский СК для дачи

Корпус СК собран с двух оконных рам, с двойным стекленеем. В качестве абсорбера взято плоскую батарею водяного отопления. Холодная вода подведена к батарее снизу, а с верхней части гибким пластмассовым шлангом горячая вода подается в бак накопитель, расположенный над СК.

На конкурсе изобретательских проектов (Киев, 2014 г.) наш проект награжден Дипломом за занятое 1 место. [9,Отч].

Рассмотрим когенерационную технологию преобразования солнечной энергии и устройства для её реализации. Когенерация – это комбинированная генерация электричества и тепла.

Известно, что КПД обычной фотопанели с повышением температуры падает. Для повышения эффективности их желательно охлаждать. Существуют комбинированные плоские солнечные коллекторы (СК).

На рис. 16 представлен разрез гибридного солнечного коллектора Volther PV-T турецкой фирмы Solimpeks, который, выпускается с 2008 года, и позволяет с одной панели получать электричество для освещения, бытовых приборов, автоматики, а также обеспечивать ГВС и частичное отопление объекта [100].



Рисунок 16. Разрез плоского гибридного СК

Солнечные лучи через призматическое стекло попадают на ФЭП из кристаллического кремния. Под ФЭП расположены трубки с теплоносителем, которые снимают тепло для горячего водоснабжения (ГВС). Фотоэлектрическая панель в составе комбинированного СК постоянно охлаждается за счет циркуляции в нем теплоносителя. Таким образом, производительность ФЭМ повышается, по заявлению производителя, в среднем на 30-50% в сравнении с традиционным солнечным модулем аналогичной мощности. Может монтироваться на поверхности разного типа: как горизонтально, так и под углом.

Гибридный плоский СК, как и плоские фотопанели, имеют общий недостаток – они воспринимают только прямые солнечные лучи.

Нами разработаны и запатентованы, на наш взгляд более совершенные гибридные когенерационные ФЭМ и автономные СЭС на их основе.

Известен солнечный фотоэлектрический модуль (ФЭМ) цилиндрической формы Solyndra (от английских слов "солнечный" и "цилиндр") [5] основанный на тонкопленочных солнечных элементах, изготовленных из нового полупроводника, состоящего из соединения меди, индия галлия и селе-

на (CIGS). В отличие от стандартных солнечных батарей, которые сделаны из широких плоских фотопанелей, новые преобразователи выполнены в виде цилиндров (рис.17).



Рисунок 17. Поглощение солнечного света цилиндрическим ФЭМ в течение дня

Такая форма позволяет увеличить количество поглощаемого света (а значит и электроэнергии) в течение дня без изменения положения конструкции ФЭМ [5]

Высокая цена ФЭМ и снижение их КПД при росте температуры является одной из причин сдерживания роста приусадебных СЭС. К тому же известные ФЭМ предназначены для генерации только электричества и не могут генерировать тепловую энергию [6].

Для вывода СЭС на конкурентоспособные позиции с ветровыми ЭС необходимо достичь повышения КПД ФЭП и снижение капитальных затрат в 2-3 раза. Мировая наука предусматривает для этого изготовление ФЭП из арсенида галлия, и достичь на них КПД преобразования выше 40% [7, 8]. Кроме того, недостатком всех СЭС является то, что генерирование электроэнергии происходит стохастически, и электрическая мощность, отдаваемая в сеть, не регулируется.

Этих недостатков лишены запатентованные нами когенерационные СЭС с гибридными ФЭМ.

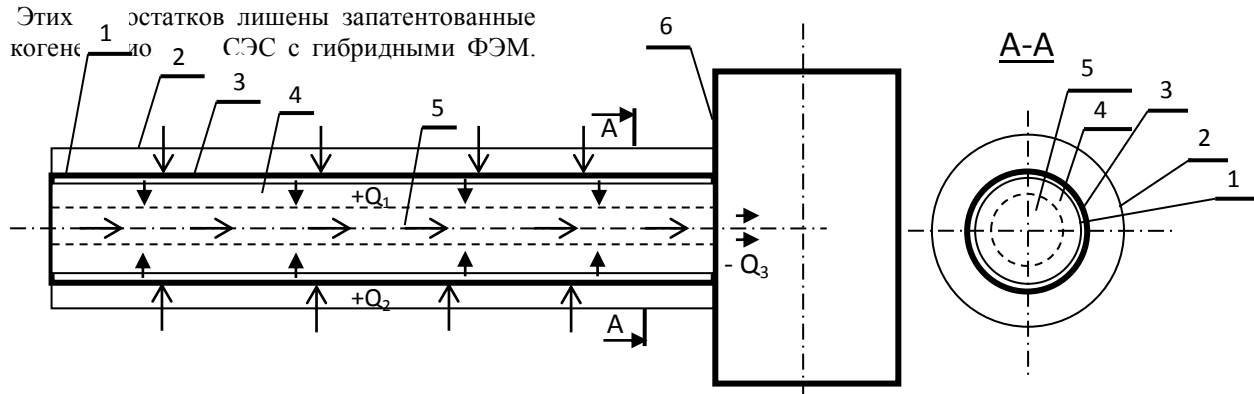


Рисунок 19 – Солнечный ФЭМ цилиндрической формы, Пат. 97080

Ниже приведен аналитический обзор разработанных и запатентованных нами ФЭМ [9, 10, 11] и приусадебных СЭС [12, 13, 14], направленные на повышение эффективности их работы.

В основу наших изобретений [9, 10, 11] поставлена задача усовершенствования ФЭМ цилиндрической формы Solyndra [5] путем образования из двух стеклянных трубок 9,10 вакуумной колбы типа сосуда Дьюара, с выведенными электрическими герметическими контактами от пленки полупроводникового ФЭП 11, охлаждение ФЭП за счет наполнения внутренней трубки охлаждающей жидкостью 13. За счет этого снижается рабочая температура ФЭП и увеличивается КПД и эффективность ФЭМ [6].

На рис. 18 изображена разработанная нами когенерационная СЭС, а на рис 19 – ФЭМ цилиндрической формы.

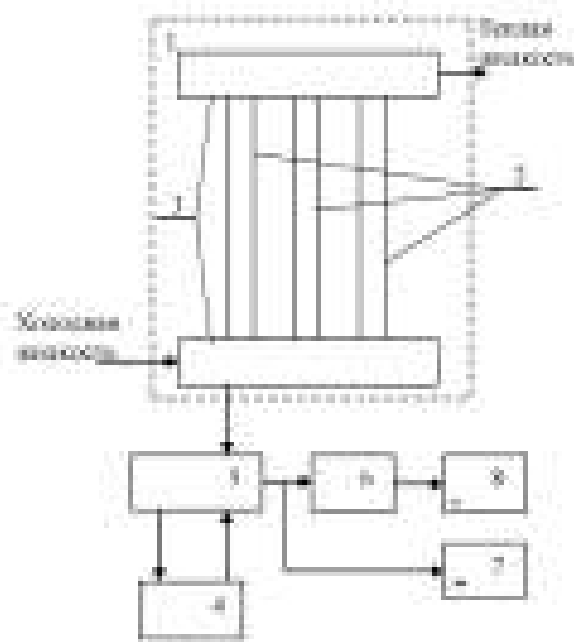


Рисунок 18 Схема когенерационной СЭС с ФЭМ цилиндрической формы, Пат. 103043

Запатентованная нами приусадебная СЭС содержит батарею 1 из нескольких ФЭМ 2 цилиндрической формы, объединенных общим охлаждающим коллектором 3, аккумулятор 4, контроллер 5, инвертор 6. Потребители постоянного тока 7 присоединены к выходу контроллера непосредственно, а потребители 8 переменного тока через инвертор 5. Объединение ФЭМ в батарею с общим охлаждающим водяным контуром увеличивает производительность СЭС при повышенном КПД.

На рисунке 20 представлен разработанный нами солнечный ФЭМ цилиндрической формы

ФЭМ цилиндрической формы [9], содержит две коаксиально, с зазором, расположенные стеклянные трубки 9,10. Внутренняя трубка 9 покрыта тонкой пленкой полупроводникового ФЭП 11, помещена в прозрачную стеклянную трубку 10 большего диаметра с электрическими контактами, выведенными от пленки полупроводникового ФЭП.

Соединение между собой двух стеклянных трубок с образованием вакуумной колбы, типа сосуда Дьюара, обеспечивает теплоизоляцию пленки ФЭП от конвекционного нагрева за счет окружающей среды. Изготовление трубок из прочного боросиликатного стекла обеспечивает их механическую прочность и пропуск волн солнечной радиации в диапазоне 0,4 ... 2,7 мкм. Наличие электрических гермоконтактов обеспечивает герметичность вакуумной колбы при их выведении наружу. Заполнение пространства внутренней стеклянной трубки охлаждающей жидкостью обеспечивает охлаждение ФЭП, а, следовательно, и увеличение его КПД. Установка ФЭМ на крыше здания под углом к горизонту, равным географической широте местности, обеспечивает максимальное его освещение прямыми солнечными лучами в течение года. Использование воды в качестве охлаждающей жидкости позволяет охлаждающий контур выполнить открытым, а подогретую воду использовать для хозяйственных нужд, например, для орошения растений, для душа, мытья посуды и т.д., а во внутреннюю трубку ФЭМ будет поступать свежая вода из водопровода [9].

На устойчивость ФЭМ цилиндрической формы практически не влияет ветер скоростью до 200 км/ч и град диаметром до 25 мм. Устанавливать их на крышах проще и дешевле, чем ФЭП с системами слежения за Солнцем. Рассмотренный ФЭМ обеспечивает только охлаждение ФЭП в жаркое время года, и не обеспечивает генерацию тепла. Зимой охлаждать ФЭМ не требуется, и перед сезонным похолоданием воду надо сливать [7, 8].

В основу изобретений [12, 13, 14] поставлена задача увеличения эффективности автономной СЭС с гибридными ФЭМ цилиндрической формы [9] путем отбора теплоты конденсации рабочего тела в термосифон [11], или в тепловую трубу [10] и повышение КПД ФЭП за счет их охлаждения.

На рис. 20. изображена автономная когенерационная энергоустановка с гибридными ФЭМ цилиндрической формы [13].

Автономная когенерационная энергоустановка с гибридными ФЭМ цилиндрической формы [13] содержит батарею 1 с нескольких гибридных ФЭМ цилиндрической формы 2, объединенных общим охлаждающим коллектором 3, аккумулятор 4, контроллер 5, инвертор 6, потребители постоянного тока 7, присоединенные к выходу контроллера 5 непосредственно, потребители переменного тока 8, присоединенные через инвертор 5, бак-аккумулятор 9 с теплообменником 10 и трубопроводами 11,12, термодатчик 13 на входном трубопроводе 11 и вихревой насос 14 на выходном трубопроводе 12 с жидким теплоносителем 15, электроклапан 16.

Гибридный ФЭМ цилиндрической формы (рис. 21) содержит две стеклянные трубки 17,18 с боросиликатного стекла. Внутренняя трубка 17 расположена в прозрачной трубке 18 большего диаметра (одна в одной), и соединены между собой подобно сосуду Дьюара [5], с вакуумной полостью 19 между ними.

Внешняя поверхность внутренней трубки 17 покрыта пленкой с полупроводниковых ФЭП 20, которая наносится непосредственно на стекло, соединенных электрически последовательно (не показаны). Внутри внутренней трубки 17 расположен термосифон в виде герметичного корпуса 21 с чистой красной меди, с конденсатором 22 контактирующим с охлаждающим коллектором 3, с жидким незамерзающим теплоносителем 15, например, антифризом. Герметичный корпус 21 и конденсатор 22 наполненные рабочим телом 23 с фазовым переходом, от жидкости к газу, и наоборот, с низкой температурой замерзания, с зоной испарения и зоной конденсации. В качестве рабочего тела 23 могут быть использованы: этанол или его водный раствор, и / или ацетон, и / или эфир или их смесь.

Нами разработана и запатентована также солнечная энергоустановка для подвижных объектов (например, для баржи, яхты или зерноуборочного комбайна) [14] с ФЭМ в виде двусторонней тепловой трубы с перегородкой посередине [10]. Внутренняя поверхность тепловой трубы, в отличие от термосифона, снабжена фитилем, обеспечивающим возврат конденсата, при любом её положении.

Выводы.

В заключение статьи следует отметить, что когенерационная технология не только повышает КПД СЭС, но и улучшают режим их работы за счет своевременного перевода с одного вида генерации на другой.

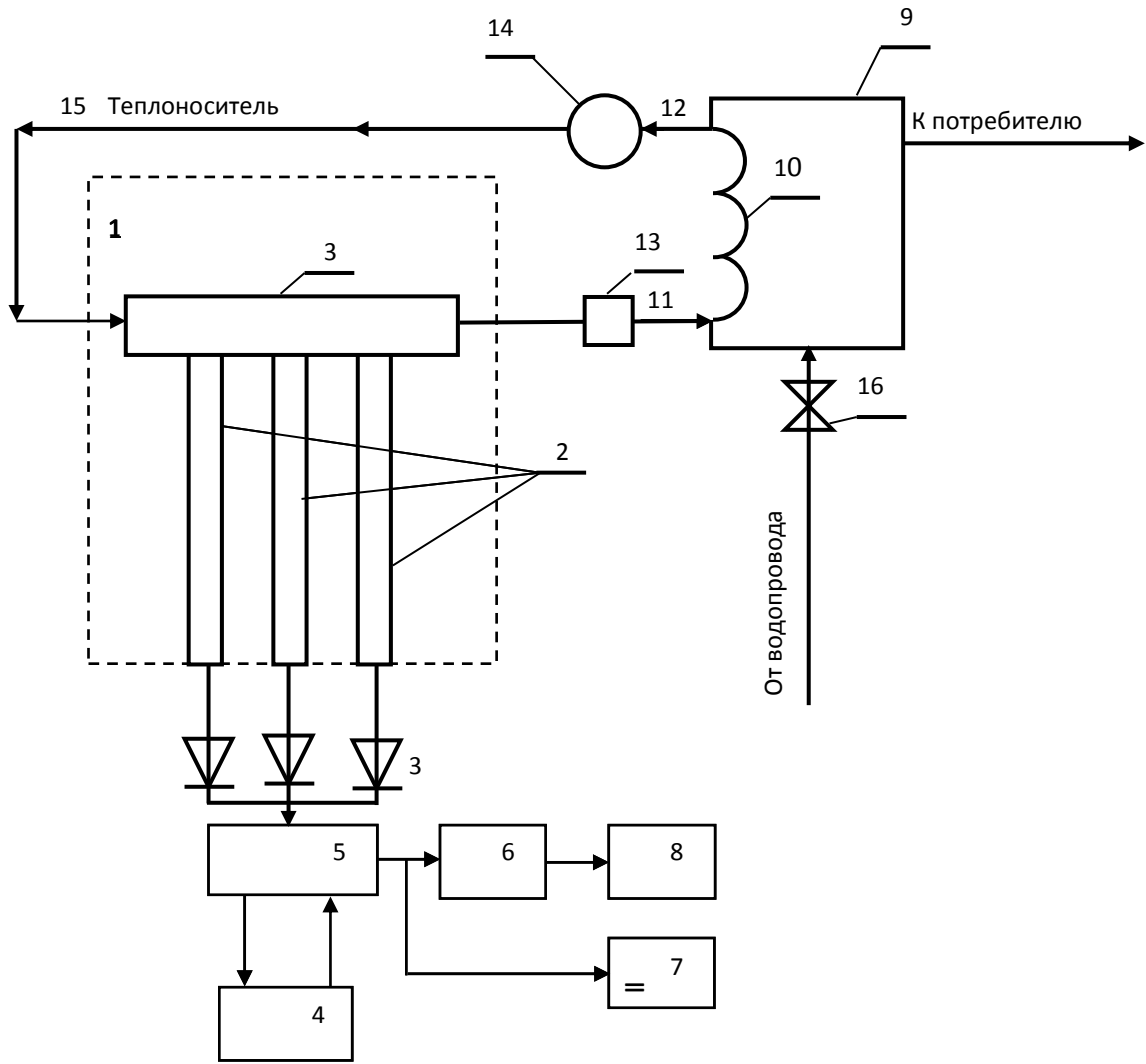


Рисунок 20. Автономная когенерационная энергоустановка с гибридными ФЭМ цилиндрической формы, Патент UA 107991.

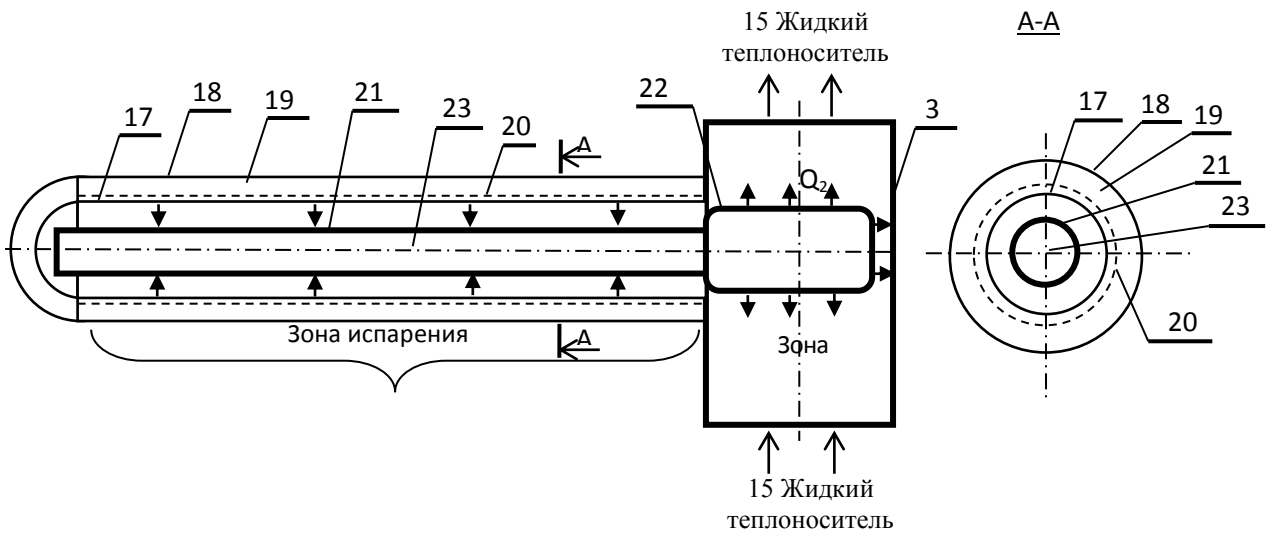


Рисунок 21. Продольный и поперечный разрезы солнечного когенерационного модуля, Патент UA 100635.

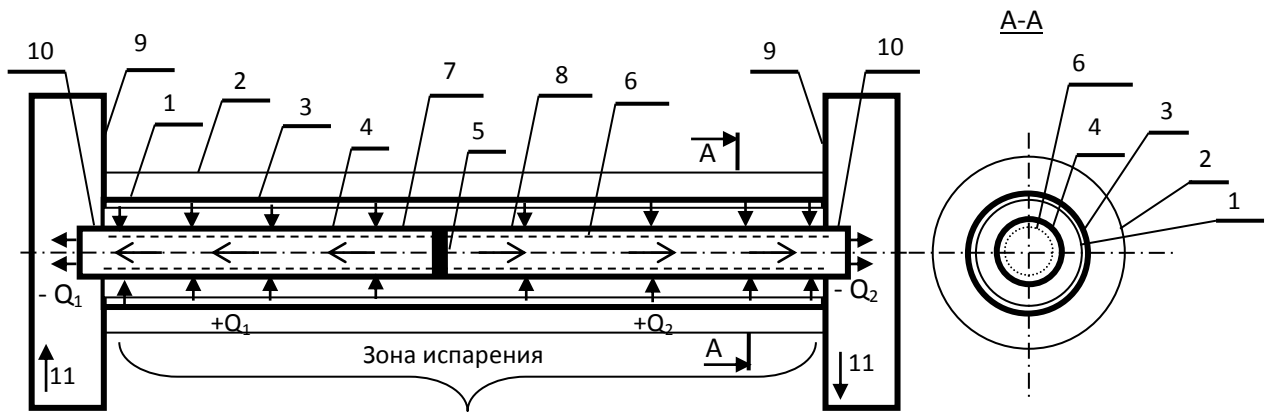


Рисунок 22 Солнечный когенерационный модуль цилиндрической формы, пат. 97782

Международная научно-практическая конференция "Возобновляемая энергетика и энергоэффективность в XXI в." (Киев, 29-30.09.2016 г.) одним из пунктов принятой Резолюции постановила "научно-исследовательским организациям, учебным заведениям, которые занимаются вопросами энергообеспечения и энергосбережения, рекомендовать продолжить, расширить и углубить исследования по направлению: разработка когенерационных технологий производства тепловой и электрической энергии на базе использования ВИЭ для домохозяйств" [4]. На это и направлена представленная научная работа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Безруких П.П. Эффективность возобновляемой энергетики. Мифы и факты // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 5-17.
2. Муравлева Е.А. Оценка потенциала использования энергии солнечного излучения на территории России // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 38-45.
3. Ефимов В.П. Фотопреобразователи энергии солнечного излучения нового поколения// Физика и техника полупроводников. 2010. т. 8. № 2. - С. 100-115.
4. Жарков А.В., Жарков В.Я. Розробка сонячних когенерационних установок з фотомодулями циліндричної форми// XVII Міжнародна науково-практична конференція "Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті" 29-30 вересня 2016, Київ: КПІ - ІВЕ, 2016.
5. Солнечный фотоэлектрический модуль цилиндрической формы Solyndra [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.membrana.ru/particle/13126].
6. Жарков В.Я. Совершенствование фотомодулей приусадебных солнечных электростанций // Вестник аграрной науки Дона. 2015. Вып.1. С. 59-69.
7. Жарков В.Я., Галько С.В., Жарков А.В. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми//Вісник ХНТУСГ. Вип.165.- Харків. 2015. С.25-26.
8. Жарков А.В., Королёв А.М. Приусадебная солнечная электростанция с охлаждаемыми фотоэлектрическими модулями // Вестник аграрной науки Дона. 2017. № 1 (37). С. 57-62.

9. Пат. UA 97080. МПК H01L31/00. Сонячний фотоелектричний модуль циліндричної форми //В. Я. Жарков, В.Т. Дюрдєв, О.С. Саніна, О.В. Піхтарь; Заявл. 09.10.2014; опубл. 25.02.2015, Бюл. №4.

10. Пат. UA 97782. МПК F28D15/04, F24J3/06. Сонячний когенерационний модуль циліндричної форми/ В. Я. Жарков; Заявл. 26.08.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 7.

11. Пат. UA 100635. МПК F24J3/00, F28D15/02. Сонячний когенерационний модуль з термосифоном / В. Я. Жарков; Заявл. 25.09.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.

12. Пат. UA 103043. МПК H01L31/00 H02J7/35. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми //В.Я. Жарков, А.В.Жарков, І.А. Орловський, О.В. Піхтарь, С.В. Галько; Заявл. 07.07.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. №22.

13. Пат. UA 107991. МПК H01L31/00, H01J7/00, F24J2/00. Автономна когенерационна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми/ В.Я.Жарков, А.В.Жарков, І.А. Орловський; Заявл. 11.01.2016; опубл. 24.06.2016, Бюл. №12.

14. Пат. 107333 UA. МПК (2016.01) B60L8/00, H01L31/00, F24J3/06. Автономна когенерационна енергоустановка для рухомого об'єкта/ А.В. Жарков; заявник та патентовласник А.В. Жарков -№ u201600203; заявл. 11.01.2016; опубл. 25.05.2016, Бюл. №10.

15. Пат. 107991 UA. МПК (2016.01) H01L31/00, H01J7/00, F24J2/00. Автономна когенерационна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми/ В.Я.Жарков, А.В.Жарков, І.А. Орловський; заявник та патентовласник В.Я. Жарков. - №u201600201; заявл. 11.01.2016; опубл. 24.06.2016, Бюл. №12.

<https://prel.prom.ua/n223975-statistika-privatnih-domogospodarstv.html>
101.http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/514-19 (электронный ресурс).

Отчет Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA) о Германии за ноябрь 2015 года: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Report_Germany_report_2015.pdf;

<https://prel.prom.ua/n223975-statistika-privatnih-domogospodarstv.html> (электронный ресурс).
Комбинированный солнечный коллектор Volther PV-T, фирма Solimpeks [100].

100.<https://prometey.com.ua/alternativnoe-teplo-i-elektroenergija/solnechnye-kollektory/volther-pv-t-powervolt-w-200-500.html>