

<sup>1</sup>Е. Хидолда, <sup>1</sup>А.А. Асылхан, <sup>1</sup>К.С. Жонкешова\*, <sup>2</sup>Н.Әбдіқалық

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

\*e-mail: zhonkeshovaks@gmail.com

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Аннотация.** Мировой рынок генерируемых электрических станции все больше заполняется установками возобновляемой энергетики и Казахстан тоже не отстает в этом направлении. В нашей стране быстрыми темпами реализуются проекты строительства крупных промышленных солнечных электростанций. Для обеспечения должного функционирования солнечных электростанций и превентивного обнаружения проблем целесообразно рассчитывать определенные показатели для оценки эффективности функционирования станций. Целью данной работы является оценка эффективности функционирования промышленной солнечной электростанции (СЭС) мощностью 40 МВт. Рассмотрены международные принятые стандарты по расчетам эффективности функционирования фотоэлектрических установок, выбрана методика оценки – расчета коэффициента эффективности функционирования СЭС – Performance Ratio (PR). Собраны данные по объемам солнечной радиации и отпуску электроэнергии в сеть на основании данных проведены расчеты PR, проанализированы полученные результаты.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, солнечная электростанция, Performance Ratio (PR), инсоляция, солнечная радиация, оценка эффективности функционирования СЭС.

**Введение.** На сегодняшний день мировая тенденция показывает активное развитие внедрения станций по использованию возобновляемых источников энергии. Солнечные электростанции строятся быстрыми темпами, и сегодня общая установленная мощность СЭС в мире составляет более 586 ГВт [1], а в Казахстане достигает порядка 0,7 ГВт [2]. Более того, стоимость генерирующего оборудования СЭС сократилась на 80% по сравнению с 2010 годом [3], что является одним из драйверов дальнейшего развития отрасли. К 2050 году прогнозируется, что установленная мощностью СЭС составит более 8500 ГВт [4, 5]. В связи с этим, возникает вопрос мониторинга эффективности функционирования солнечных электростанций.

Для обеспечения эффективного мониторинга функционирования солнечных электростанций в мировой практике используется показатель – «коэффициент производительности (Performance Ratio (PR))», что показывает отношение объема выработанной электроэнергии, отображенной в коммерческом учете к объему электроэнергии, который мог бы быть выработан теоретически [6]. В данной статье будет оценена эффективность функционирования промышленной солнечной электрической станции с установленной мощностью 40 МВт путем расчета PR, а также PR с температурной коррективкой.

**Методы исследования и материалы.** Для оценки эффективности функционирования солнечной электростанции установленной мощностью 40 МВт, будут рассчитаны коэффициент PR, проведен анализ полученных результатов. Для проведения расчетов со станции будут собраны фактические данные по выработке и отпуску в сеть электрической энергии, экспортированные с сервера автоматической системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), фактические данные по инсоляции в Вт/м<sup>2</sup>.

Коэффициент PR – это международная принятая мера, показывающая коэффициент использования фотоэлектрической установки. В математическом выражении PR – это отношение выработанного и выданного в сеть объема электрической энергии

(зафиксированного на приборах коммерческого учета или АСКУЭ к теоретическому возможному объему электроэнергии, вырабатываемой СЭС [7].

Для вычисления PR необходимо определить один из параметров эффективности работы СЭС - показатель выработки  $Y$ . Выработка  $Y$  бывает следующих типов: эталонный показатель выработки  $Y_r$  и фактический показатель выработки  $Y_f$  [7, 8].

Эталонный показатель выработки  $Y_r$  представляет собой энергию, получаемую в идеальных условиях без потерь в течение определенного периода времени  $i$  и измеряется в кВт\*ч/кВт пик [6]:

$$Y_{r(i)} = \frac{H_{POA(i)}}{G_{ref}}, \quad (1)$$

где,  $H_{POA(i)}$  – принятый уровень солнечной радиации на СЭС за период времени  $i$  (кВт\*ч/м<sup>2</sup>);

$G_{ref}$  – эталонный уровень солнечной радиации при стандартных опытных условиях (STC) (1000 Вт/м<sup>2</sup>);

В практике для расчета эталонного  $Y_r$  вычисляют отношение теоретически вырабатываемого СЭС объема электроэнергии (рассчитывается в симуляторах, например, PV Syst) в кВт\*ч к пиковой мощности СЭС (в кВтпик).

Фактический показатель выработки  $Y_f$  – это мера, показывающая, какой объем электроэнергии выработала СЭС за 1 кВтпик установленной мощности в течение определенного периода времени  $i$  [8]. Фактический объем электроэнергии фиксируется приборами коммерческого учета и/или АСКУЭ.  $Y_f$  измеряется в кВт\*ч/кВтпик

$$Y_f = \frac{E_i}{P_0}, \quad (2)$$

где,  $E_i$  – фактический объем электроэнергии, выработанный за промежуток времени  $i$  (кВт\*ч);

$P_0$  – установленная мощность DC (пиковая мощность). На СЭС установленной мощностью DC считают суммарную мощность установленных фотоэлектрических панелей (кВтпик);

Коэффициент  $Y_f$  позволяет сравнить выработку станций с разными установленными мощностями DC, а также с использованием различных технологий. Например, можно сравнить показатель выработки  $Y_f$  СЭС с использованием поликристаллических или монокристаллических панелей, либо сравнить  $Y_f$  СЭС с установленной мощностью 10 МВтпик с фиксированной металлоконструкцией (стационарная система) с СЭС с установленной мощностью 5 МВтпик с трекерной системой слежения.

Коэффициент PR является показателем качества, эффективности работы СЭС. Отношение между фактической выработкой и теоретически возможной эталонной выработкой показывает нам общий эффект потерь фотоэлектрической системы при преобразовании номинальной мощности по постоянному току (суммарная мощность установленных панелей) в номинальную мощность по переменному току (отпуск генерации в сеть). Как правило, потери являются следствием таких факторов, как ухудшение характеристик модуля, температура, загрязнение, потери инвертора, потери трансформатора, а также простоев системы и сети. Чем выше PR, тем более эффективная станция [8].

Коэффициент PR описывается следующей формулой:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \cdot 100\% , \quad (3)$$

где  $Y_r$  – эталонный показатель выработки (кВт\*ч/кВтпик);

$Y_f$  – фактический показатель выработки (кВт\*ч/кВтпик);

• **Физико-математические науки**

Из формулы (3) получим:

$$PR = \frac{E_i}{P_0} \cdot \frac{G_{ref}}{H_{FOA(i)}} \cdot 100\% , \quad (4)$$

Однако, при колебании (повышении) температуры модуля производительность СЭС может упасть, особенно повышение температуры окажет влияние в жаркие периоды года, поэтому коэффициент PR и эффективность станции могут быть рассчитаны некорректно. Для решения этой проблемы рассчитывают PR с корректировкой по температуре [9, 10].

$$PR_{corrected} = \frac{E_i}{H_{FOA(i)} \cdot A \cdot \eta_{stc} \cdot \alpha_{temp.correction}} \cdot 100\% , \quad (5)$$

$\eta_{stc}$  – КПД модуля согласно технической спецификации производителя (%);

$\alpha_{temp.correction}$  – коэффициент коррекции по температуре модуля.

$$\alpha_{temp.correction} = (1 + (T_{ср.модуля\ измер.} - (T_{ср.модуля\ симул.})) \cdot \beta) , \quad (6)$$

где  $T_{ср.модуля\ измер.}$  – средняя измеренная температура модуля в определенный промежуток времени (°C);

$T_{ср.модуля\ симул.}$  – средняя симулированная температура модуля в определенный промежуток времени (°C);

$\beta$  – температурный коэффициент модуля при  $P_0$  (% / °C);

Для определения эффективности СЭС с использованием выше приведенной методики была выбрана действующая СЭС с установленной мощностью 40 МВт. Технические характеристики СЭС приведены в таблице 1.

Таблица 1. **Описание и технические характеристики СЭС**

Установленная мощность:	39 962 кВтпик
Тип опорной металлоконструкции	Фиксированная
Тип фотоэлектрических модулей	RSM72-6-325P-5BB_IEC1500Vdc, 325 Втпик Поликристаллические
Тип инверторов	HUAWEI SUN2000-60KTL-HV-001 IEC строчные инверторы
Тип трансформаторы:	УВМ.3150 кВА/35/0.8

Для анализа данных собраны следующие данные за период январь-февраль 2020 года:

1) Объем отпущенной электроэнергии в сеть с 15 минутным интервалом, кВт\*ч (Данные экспортированы из АСКУЭ);

2) Объем солнечной радиации с 15 минутным интервалом, Вт/м<sup>2</sup> (для сбора данных по солнечной радиации установлены пиранометры заводского исполнения).

Используя (4), (5), (6) и ПО Microsoft Excel производим расчеты PR без температурной коррекции и PR с температурной коррекцией за период январь – февраль 2020 года, выполняем анализ результатов. Результаты приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Собранные данные и результаты вычислений PR за январь 2020 г.

Дата	Отпуск эл.энергии в сеть (МВт*ч)	Солнечная радиация (кВт*ч/м <sup>2</sup> )	PR темп. корр. (%)	PR без темп. корр. (%)	Разница между PR темп.корр. и без коррекции	T_ модуля ср (°C)	T_ воздуха ср. (°C)
01/01/20	17,84	0,516	79,95%	81,25%	-1,30%	0,01	-2,58
02/01/20	80,82	2,329	80,73%	80,23%	0,50%	5,78	-2,07
03/01/20	66,65	1,578	102,18%	103,93%	-1,75%	-0,23	-6,32
04/01/20	66,19	1,883	79,83%	81,43%	-1,59%	-0,94	-8,36
05/01/20	37,95	1,133	78,96%	80,67%	-1,71%	-1,37	-5,02
06/01/20	107,06	3,939	67,83%	68,04%	-0,21%	3,39	-9,14
07/01/20	39,1	1,07	89,63%	91,82%	-2,19%	-2,08	-8,29
08/01/20	62,93	1,661	93,41%	95,16%	-1,75%	-0,62	-7,44
09/01/20	7,51	3,611	5,02%	5,23%	-0,21%	-6,75	-12,6
10/01/20	10	3,276	7,31%	7,70%	-0,40%	-9,78	-15,74
11/01/20	8,21	1,374	14,62%	15,36%	-0,74%	-8,78	-13,63
12/01/20	19,33	2,651	18,24%	18,39%	-0,16%	2	-10,86
13/01/20	20,21	2,112	24,18%	24,15%	0,04%	4,56	-7,92
14/01/20	58,83	4,075	36,29%	37,09%	-0,80%	5,43	-10,75
15/01/20	12,55	0,927	34,10%	34,84%	-0,73%	-1,32	-4,37
16/01/20	83,94	5,189	40,48%	40,38%	0,09%	4,77	-12,88
17/01/20	52,3	2,014	63,63%	65,26%	-1,63%	-2,38	-8,94
18/01/20	130,21	4,67	70,97%	69,69%	1,28%	8,8	-6,38
19/01/20	74,37	1,693	108,32%	110,16%	-1,84%	-0,19	-8,3
20/01/20	39,36	2,547	38,47%	38,78%	-0,31%	2,12	-6,77
21/01/20	25,69	1,034	61,44%	62,82%	-1,38%	-1,58	-8,41
22/01/20	44,06	2,227	48,48%	49,45%	-0,97%	-0,95	-9,36
23/01/20	25,25	1,663	37,44%	37,80%	-0,36%	1,7	-4,66
24/01/20	83,19	2,489	82,13%	83,74%	-1,61%	-0,85	-9,88
25/01/20	40,39	1,264	81,32%	81,24%	0,08%	4,42	-0,19
26/01/20	80,76	4,39	44,82%	45,79%	-0,97%	-1,38	-16,88
27/01/20	39,83	1,196	82,88%	84,13%	-1,25%	0,3	-2,98
28/01/20	51,69	1,583	80,35%	81,84%	-1,49%	-0,58	-4,29
29/01/20	178,65	4,976	88,53%	89,66%	-1,12%	0,93	-15,54
30/01/20	192,46	5,52	85,30%	87,12%	-1,81%	-1,27	-15,22
31/01/20	181,28	5,156	85,72%	87,75%	-2,03%	-1,9	-14,49
<b>ВСЕГО или СРЕДНЕЕ</b>	<b>1 938,61</b>	<b>79,75</b>	<b>61,70%</b>	<b>62,61%</b>	<b>-0,91%</b>	<b>0,04</b>	<b>-8,72</b>

**Анализ полученных результатов.** Вычислены PR СЭС мощностью 39 962 кВтпик с температурной коррекцией и без температурной коррекции за период январь-февраль 2020 года.

Результаты за январь 2020 г.:

- 1) В январе 2020 г. в 24 случаях из 31 (77%) PR с коррекцией по температуре модуля был меньше, чем PR без коррекции по температуре, средняя разница за месяц составила - 0,91%;
- 2) Наименьший PR с температурной коррекцией был достигнут 9 и 10 января и составил 5,02% и 7,32% соответственно (Рисунок 2);
- 3) Наибольший PR с температурной коррекцией был достигнут 19 января и составил 110,16%;
- 4) Средний PR с температурной коррекцией за январь 2020 г. составил 61,70%;  
Средний PR без температурной коррекции за январь 2020 г. составил 62,61%.

• Физико-математические науки

Таблица 3. Собранные данные и результаты вычислений PR за февраль 2020 г.

Дата	Энергия отпущена в сеть (МВт*ч)	Солнечная радиация (кВт*ч/м <sup>2</sup> )	PR темп.корр. (%)	PR без темп.корр. (%)	Разница между PR темп.корр и без коррекции	T_мод -уля ср (°C)	T_возду -ха ср. (°C)
01/02/20	147,79	4,095	87,93%	90,12%	-2,19%	0,43	-10,88
02/02/20	188,8	5,379	86,44%	87,56%	-1,12%	3,53	-11,7
03/02/20	60,84	1,588	92,51%	96,11%	-3,60%	-3,14	-8,36
04/02/20	96,08	2,707	88,76%	88,76%	0,00%	9,43	-2,59
05/02/20	41,05	1,112	90,54%	92,64%	-2,10%	0,89	-2,48
06/02/20	46,43	1,21	95,08%	96,14%	-1,06%	3,99	-0,22
07/02/20	122,9	3,384	91,60%	90,68%	0,92%	9,41	0,44
08/02/20	175,72	4,494	100,68%	97,57%	3,11%	14,76	-0,34
09/02/20	126,21	3,448	92,54%	91,33%	1,21%	10,18	-0,61
10/02/20	68,42	1,828	93,64%	93,63%	0,01%	6,88	0,51
11/02/20	222,37	6,117	88,99%	90,78%	-1,79%	1,68	-12,84
12/02/20	170,81	4,699	87,39%	90,71%	-3,32%	-2,89	-11,03
13/02/20	57,65	1,53	92,88%	94,46%	-1,58%	2,48	-3,73
14/02/20	131,62	3,435	96,12%	95,44%	0,68%	8,66	-0,74
15/02/20	93,34	2,501	91,04%	92,88%	-1,84%	1,65	-3,38
16/02/20	67,92	1,774	94,75%	95,97%	-1,22%	3,55	-0,36
17/02/20	66,34	1,71	95,75%	97,19%	-1,44%	2,99	-2,19
18/02/20	100,4	6,789	<b>36,09%</b>	36,93%	-0,84%	0,87	-11,52
19/02/20	87,81	2,193	96,75%	99,56%	-2,80%	-0,59	-7,91
20/02/20	240,82	6,147	98,01%	97,88%	0,14%	7,2	-5,8
21/02/20	212,73	5,617	95,04%	94,50%	0,54%	8,3	-1,91
22/02/20	69,33	1,833	93,75%	94,32%	-0,56%	5,3	-0,05
23/02/20	238,65	6,601	92,17%	90,25%	1,92%	12,18	-2,76
24/02/20	74,24	1,933	93,22%	95,80%	-2,58%	-0,26	-5,32
25/02/20	64,79	1,657	94,38%	97,57%	-3,19%	-1,82	-7,26
26/02/20	110,93	2,911	93,32%	95,03%	-1,71%	2,14	-3,19
27/02/20	85,43	2,374	88,44%	89,06%	-0,62%	5,05	-0,41
28/02/20	215,22	5,985	89,73%	89,12%	0,61%	15,81	-4,05
29/02/20	252,03	7,583	84,08%	82,98%	1,09%	10,17	-2,11
<b>ВСЕГО или СРЕДНЕЕ</b>	<b>3 636,67</b>	<b>102,63</b>	<b>90,40%</b>	<b>91,21%</b>	<b>-0,80%</b>	<b>4,79</b>	<b>-4,23</b>

Результаты за февраль 2020 г.:

- 1) В феврале 2020 г. в 18 случаях из 29 (62%) PR с коррекцией по температуре модуля был меньше, чем PR без коррекции по температуре. Средняя разница за месяц составила - 0,80%;
- 2) Наименьший PR с температурной коррекцией был достигнут 18 февраля 2020 г. и составил 36,09%;
- 3) Наибольший PR с температурной коррекцией был достигнут 08 февраля 2020 г. и составил 100,68%;
- 4) Средний PR с температурной коррекцией за февраль 2020 г. составил 90,40%;
- 5) Средний PR без температурной коррекции за январь 2020 г. составил 91,21%.

На рисунке 1 отображены ключевые показатели функционирования СЭС за январь 2020 года.

На рисунке 2 приведены графики зависимости от времени объемов отпуска электроэнергии в сеть и уровня солнечной радиации в разрезе 9-10 января 2020 г. В эти дни были достигнуты самые низкие показатели PR.

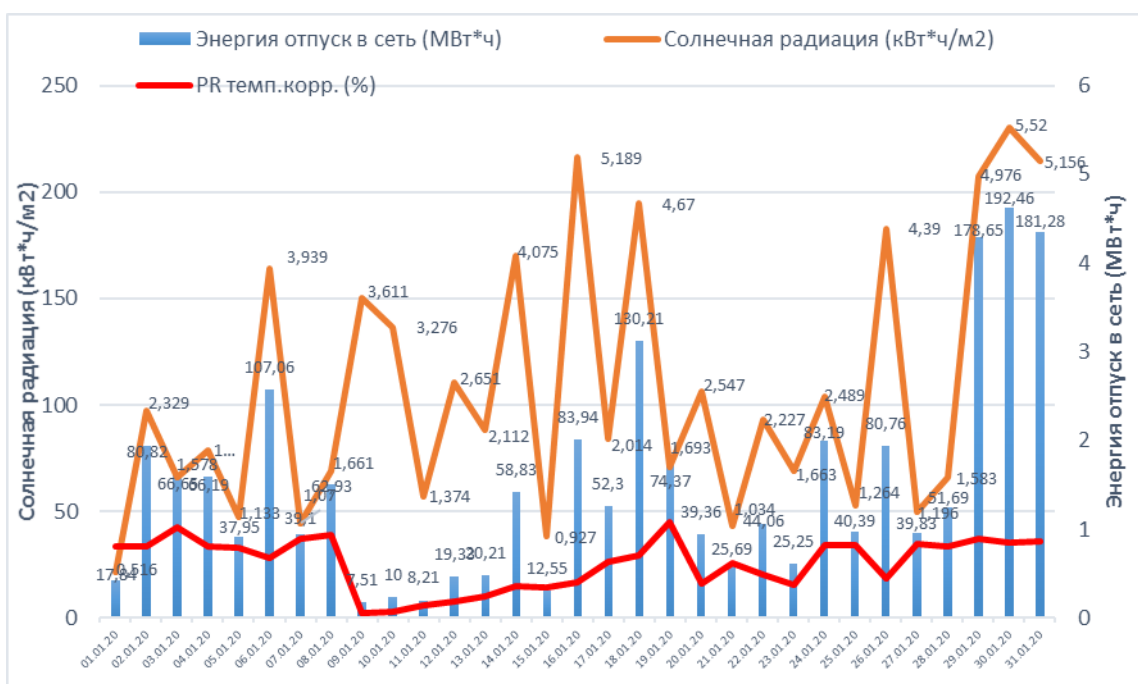


Рисунок 1. Эффективность работы СЭС в разрезе за январь 2020 г.

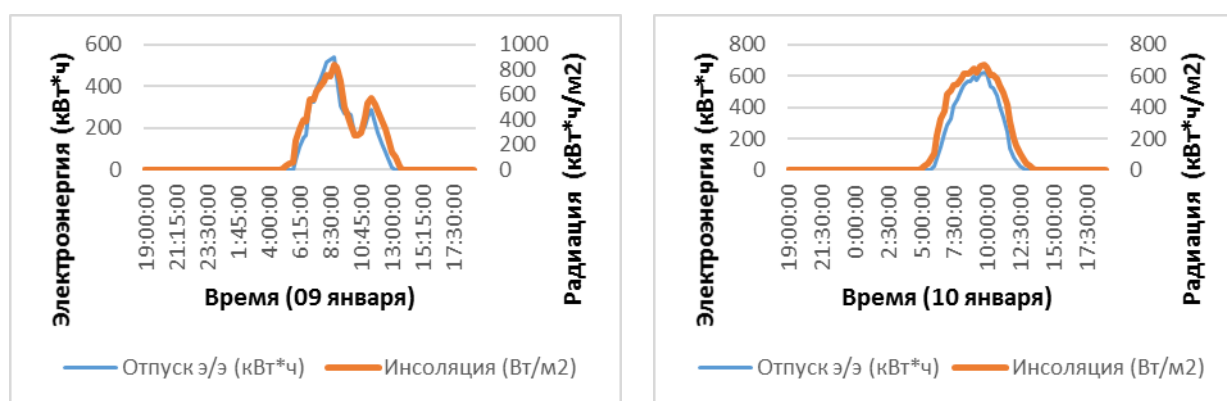


Рисунок 2. Сравнение отпуска электроэнергии и уровня солнечной радиации 09-10 января 2020 г.

На рисунке 3 отображены ключевые показатели функционирования СЭС за февраль 2020 г.

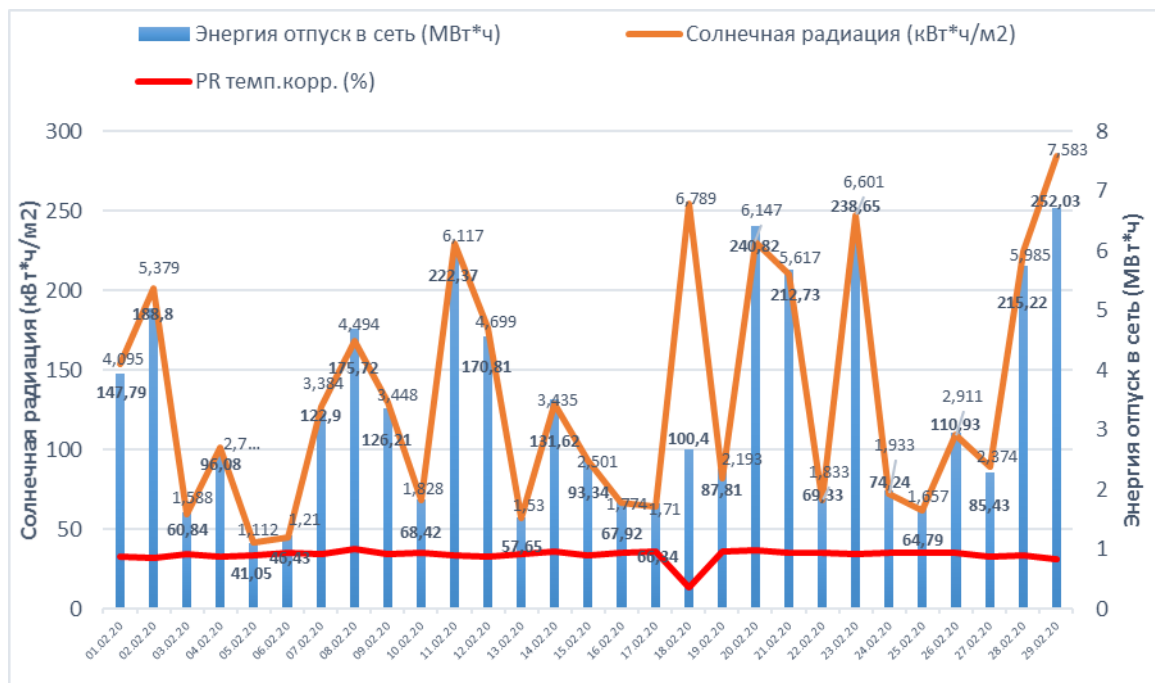
На рисунке 4 приведены графики зависимости от времени объемов отпуска электроэнергии в сеть и уровня солнечной радиации в разрезе 18-19 февраля 2020 г.

В 18 февраля был достигнут самый низкий уровень PR за февраль 2020 г., что наглядно отображено на графике: при высоком уровне солнечной радиации СЭС выдала в сеть меньший объем электроэнергии.

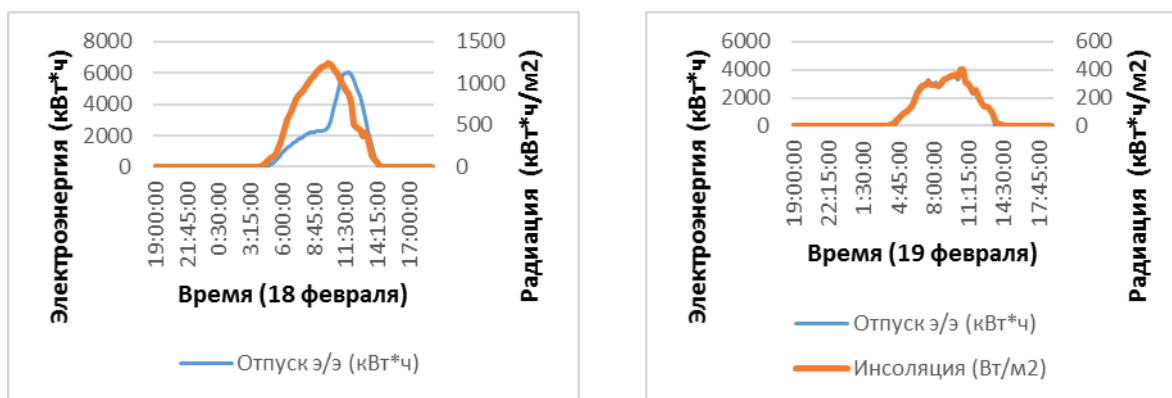
Результаты работы показали, что за период январь – февраль 2020 года показатели PR с коррекцией по температуре фотоэлектрического модуля отличается от PR без коррекции по температуре фотоэлектрического модуля, отличаются в среднем на -0,85%, что является не

● **Физико-математические науки**

критическим. Стоит отметить, что средняя температура модуля за данный период составила около двух градусов по Цельсию, поэтому отклонение не значительное. Необходимо оценить функционирование СЭС в летний период, когда температура модулей будет повышаться и изменяться полупроводниковые свойства кремниевых фотоэлектрических панелей.



**Рисунок 3.** Эффективность работы СЭС в разрезе за февраль 2020 г.



**Рисунок 4.** Сравнение отпуска электроэнергии и уровня солнечной радиации 18-19 февраля 2020 г.

За январь 2020 г. средний уровень PR составил 61,70%, что является низким показателем, поскольку современные СЭС в состоянии выдавать PR выше 70% в зимние времена года [6, 8]. С другой стороны, за февраль средний PR составил 90,40%, что является высоким результатом. Из графика на рисунке 2 видно, что низкий уровень PR наблюдается в случаях, когда разрыв от полученного уровня солнечной радиации и отпущенной энергии большой. В другом случае, высоко достигнутый уровень PR наблюдается, когда разрыв между уровнем объема солнечной радиации и отпуска электроэнергии в сеть минимальный. Другими словами, станция эффективно получила и отдала в сеть полученный объем солнечной радиации. При условии, когда все оборудование СЭС в работе, простоев на

наблюдается, высокий уровень PR и низкий объем отпуска электроэнергии в сеть говорит нам о том, что до поверхности фотоэлектрических модулей солнечная радиация не достигает. Причиной могут быть климатические условия (например, снег, оставшийся на поверхности панелей в солнечный день, утренняя замерзшая роса), пыль. Пиранометры, как правило, устанавливаются выше поверхности панелей, кроме того, их конструкция не позволяет снегу задерживаться на поверхности, поэтому датчики могут фиксировать высокий уровень солнечной радиации в тот момент, когда на панелях фактически лежит снег. В качестве решения данной проблемы целесообразно рассмотреть методику расчета PR с учетом заснеженности, запыленности, а также эффективные методы борьбы с задержанием снега на поверхности солнечных модулей.

**Выводы.** В данной работе была рассмотрена методика расчета коэффициента эффективности функционирования СЭС – Performance Ratio (PR) с учетом коррекции по температуре модуля и без коррекции.

В качестве оценки PR объекта была выбрана СЭС установленной мощностью 39 962 кВтпик, собраны данные по объему солнечной радиации, выработке и отпуску в сеть за январь – февраль 2020 г.

Проведен анализ полученных результатов, выявлены зависимости уровня солнечной радиации, отпуска электроэнергии в сеть, а также PR в определенные временные промежутки, отмечены причины, влияющие на нехарактерное изменение уровня PR.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable capacity statistics 2020. 2020.
- [2] М.Э.Р. Казахстан, “Перечень энергопроизводящих предприятий, использующих возобновляемые источники энергии.” [Online]. Available: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/9583?lang=ru>. [Accessed: 10-Apr-2020].
- [3] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Solar Power.” [Online]. Available: <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Solar-Power>. [Accessed: 17-Apr-2020].
- [4] International Renewable Energy Agency (IRENA), Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. 2019.
- [5] Е. Хидолда, К.С. Жонкешова, А. Караман, Ж. Амангелди. Влияние климатических факторов на эффективность работы фотоэлектрических модулей // Вестник КазАТК им. М. Тынышбаева.-2020.- №3.-с.197-206.
- [6] British Standard, “IEC 61724:1998. Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis,” p. 20, 1998, doi: 10.1016/j.solener.2008.04.009.
- [7] W. G. J. H. M. Van Sark, N. H. Reich, B. Müller, A. Armbruster, K. Kiefer, and C. Reise, “Review of PV performance ratio development,” World Renew. Energy Forum, WREF 2012, Incl. World Renew. Energy Congr. XII Color. Renew. Energy Soc. Annu. Conf., vol. 6, no. 6, pp. 4795–4800, 2012.
- [8] Solar Power Europe [SPE], “Operation & Maintenance Best Practices Guidelines / Version 3.0,” pp. 56–60, 2019.
- [9] A. Woyte et al., Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems Good practices for monitoring and performance analysis, no. February. 2014.
- [10] Avenston. Прогноз объемов генерации солнечными электростанциями. Электронный ресурс. – В режиме доступа: <https://avenston.com/ru/articles/solar-pv-forecast/>.

#### REFERENCES

- [1] International Renewable Energy Agency (IRENA), Renewable capacity statistics 2020. 2020.
- [2] M.E.R. Kazakhstan, “Perechen energoproduziodiashih predpriati, ispolzuiushih vozobnovliaemye istochniki energii.” [Online]. Available: <https://www.gov.kz/memleket/entities/energo/documents/details/9583?lang=ru>. [Accessed: 10-Apr-2020].
- [3] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Solar Power.” [Online]. Available: <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Solar-Power>. [Accessed: 17-Apr-2020].
- [4] International Renewable Energy Agency (IRENA), Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. 2019.



- [5] Ye. Khidolda, K.S. Zhonkeshova, A Karaman, J. Amangeldi. Vlianie klimaticheskikh faktorov na effektivnost raboty fotoelektricheskikh modulei // Vestnik KazATK im. M. Tynyshbaeva.-2020.-№3.-s.197-206.
- [6] British Standard, “IEC 61724:1998. Photovoltaic system performance monitoring — Guidelines for measurement, data exchange and analysis,” p. 20, 1998, doi: 10.1016/j.solener.2008.04.009.
- [7] W. G. J. H. M. Van Sark, N. H. Reich, B. Müller, A. Armbruster, K. Kiefer, and C. Reise, “Review of PV performance ratio development,” World Renew. Energy Forum, WREF 2012, Incl. World Renew. Energy Congr. XII Color. Renew. Energy Soc. Annu. Conf., vol. 6, no. 6, pp. 4795–4800, 2012.
- [8] Solar Power Europe [SPE], “Operation & Maintenance Best Practices Guidelines / Version 3.0,” pp. 56–60, 2019.
- [9] A. Woyte et al., Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems Good practices for monitoring and performance analysis, no. February. 2014.
- [10] Avenston. Prognoz obemov generatsii solnechnymi elektrostansiyami. Elektronnyi resurs. – V rejime dostupa: <https://avenston.com/ru/articles/solar-pv-forecast/>.

<sup>1</sup>Е. Хидолда, <sup>1</sup>А.А. Асылхан, <sup>1</sup>К.С. Жонкешова\*, <sup>2</sup>Н. Әбдіқалық

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

\*e-mail: zhonkeshovaks@gmail.com

### КҮН ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ

**Андатпа.** Өндіруші электр станцияларының әлемдік нарығы жаңартылатын энергия қондырғыларымен толығуда және Қазақстан да бұл бағытта қалып отырған жоқ. Біздің елімізде ірі өнеркәсіптік күн электр станцияларын салу жобалары қарқынды түрде жүзеге асырылуда. Күн электр станцияларының дұрыс жұмыс жасауын және проблемаларды алдын-алуды анықтау үшін қондырғылардың жұмысының тиімділігін бағалау үшін белгілі бір көрсеткіштерді есептеген жөн. Бұл жұмыстың мақсаты - қуаты 40 МВт өнеркәсіптік күн электр станциясы (КЭС) жұмысының тиімділігін бағалау. Фотоэлектрлік қондырғылардың жұмысының тиімділігін есептеудің халықаралық деңгейде қабылданған стандарттары қарастырылады, бағалау әдісі таңдалады КЭС - Performance Ratio (PR) жұмысының тиімділігінің коэффициентін есептеу. 2020 жылдың қаңтар-ақпан кезеңіндегі күн радиациясы, электр желісіне электрмен жабдықтау туралы мәліметтер жинақталды, мәліметтер негізінде PR есептеулер жүргізілді, нәтижелер талданды.

**Негізгі сөздері:** жаңартылатын энергия, күн электр станциясы, жұмыс коэффициенті Performance Ratio (PR), инсоляция, күн радиациясы, КЭС жұмысының тиімділігін бағалау.

<sup>1</sup>Ye. Khidolda, <sup>1</sup>A.A. Asylkhan, <sup>1</sup>K.S. Zhonkeshova\*, <sup>2</sup>N. Abdikalyk

<sup>1</sup> Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Kazakhstan

\*e-mail: zhonkeshovaks@gmail.com

### ASSESSMENT OF FUNCTIONAL EFFICIENCY SOLAR POWER PLANT

**Abstract.** The world market of generated power plants is more and more filled with renewable energy installations and Kazakhstan is also not lagging behind in this direction. In our country, projects for the construction of large, industrial solar power plants are being rapidly implemented. To ensure the proper functioning of solar power plants and preventive detection of problems, it is advisable to calculate certain indicators to assess the efficiency of the functioning of the stations. The purpose of this work is to assess the efficiency of the operation of an industrial solar power plant (SPP) with a capacity of 40 MW. The internationally accepted standards for calculating the efficiency of the functioning of photovoltaic installations are considered, the assessment method is chosen - the calculation of the coefficient of the efficiency of the functioning of SES - Performance Ratio (PR). Collected data on the amount of solar radiation, electricity supply to the grid for the period January - February 2020, based on the data, PR calculations were carried out, the results were analyzed

**Keywords:** renewable energy, solar power plant, Performance Ratio (PR), insolation, solar radiation, assessment of the efficiency of the solar power plant.