

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТО- СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Докладчик:
Местников Николай Петрович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Электроснабжение» ФТИ СВФУ

Электроснабжение Северо-Востока России

Изолированные энергосистемы

Дизель-генераторные установки

Газо-поршневые установки

Газо-турбинные установки

Мини-ТЭЦ

98% от суммарной
выработки
электроэнергии

Горюче-смазочные материалы

Комплектующие

Слаборазвитая транспортная инфраструктура

Стоимость ГСМ
+250% со сроком
доставки до 2,5 лет

Стоимость выработки
э/э от 40 рублей
за 1 кВт·ч

60 новых объектов ВИЭ

Экономия ГСМ

↓ выбросы CO₂

Внедрение объектов ВИЭ

Программа инновационного развития
ПАО «РусГидро» до 2029 года

Фото-солнечные ЭС

Ветровые ЭС

Внешние
факторы Севера

Цель

Повышение энергоэффективности и точности результатов оценки технико-экономических параметров функционирования фото-солнечных электростанций в условиях Северо-Востока России, как элемента автономных энергосистем

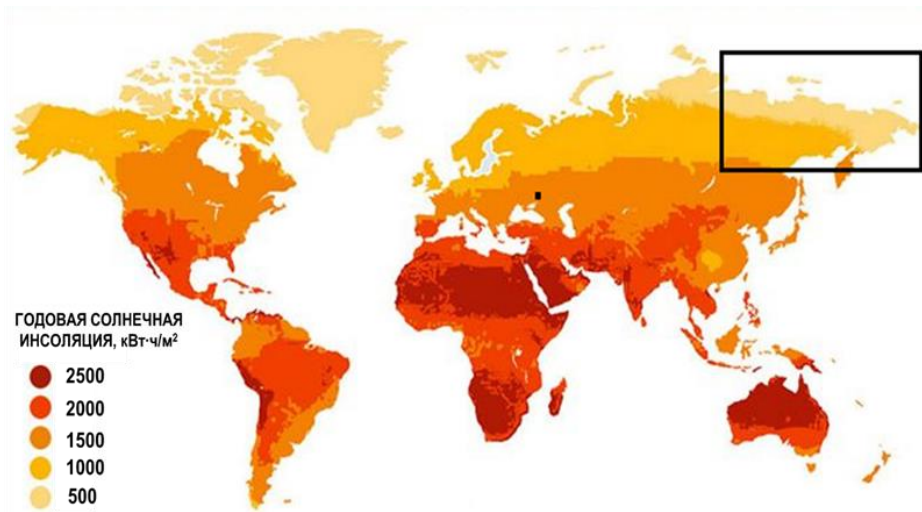
Задачи

1. Провести анализ состояния развития технологии выработки электрической энергии от фото-солнечных электростанций в условиях холодного климата

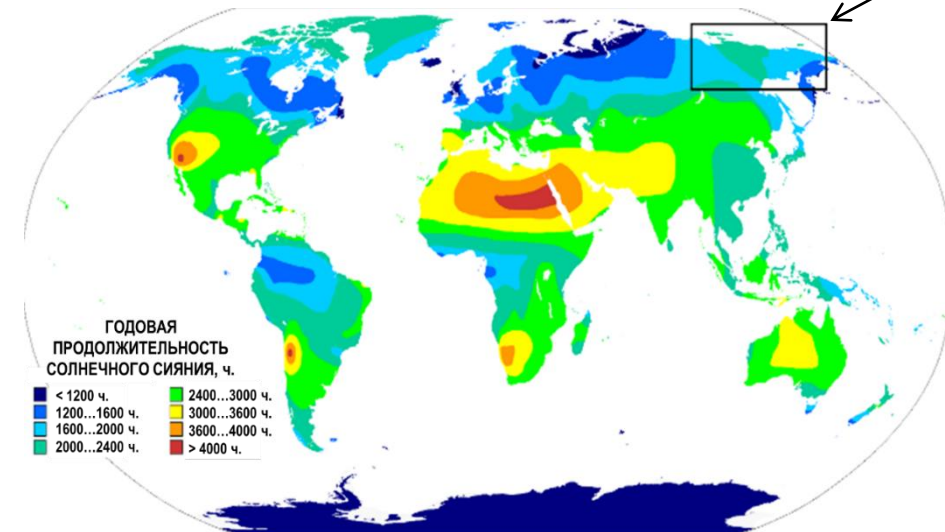
2. Исследовать характер и показатели влияния внешних факторов Севера на функционирование фото-солнечных электростанций

3. Разработать способы повышения энергоэффективности фото-солнечных электростанций как элемента автономных энергосистем, направленных на уменьшение негативного влияния внешних факторов Севера.

4. Выполнить технико-экономическую и экологическую оценки применения разработанных способов в фото-солнечной электростанции, функционирующей в автономной энергосистеме Севера.



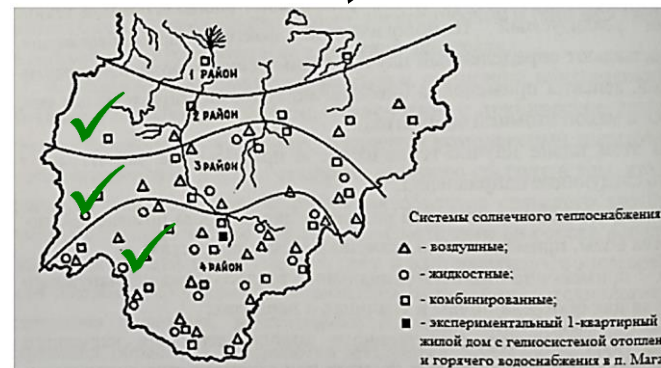
Карта распределения солнечной инсоляции



Карта продолжительности солнечного сияния



Карта доли применения ветровой и солнечной энергии



Район №1 – крайне ограниченное применение гелиоэнергетики

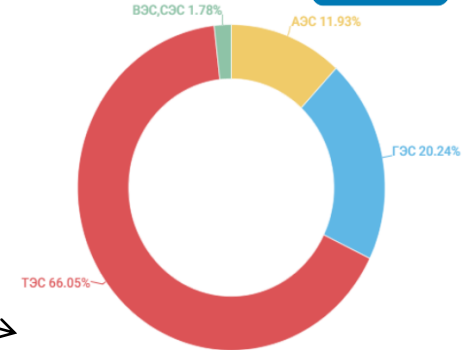
Район №2 – возможное применение гелиоэнергетики

Район №3 – умеренное применение гелиоэнергетики

Район №4 – благоприятное применение гелиоэнергетики

Карта радиационно-климатического районирования Якутии

Португалия	34.8
Испания	33.2
Германия	32.5
Нидерланды	32.2
Великобритания	29
Чили	26.5
Новая Зеландия	26.2
Австралия	23.2
Швеция	20.5
Венгрия	19.7
Турция	19.4
Италия	19.1



Структура установленной мощности ЕЭС России

Резко-континентальный климат

Летний максимум: +38 °C

Зимний минимум: -64 °C

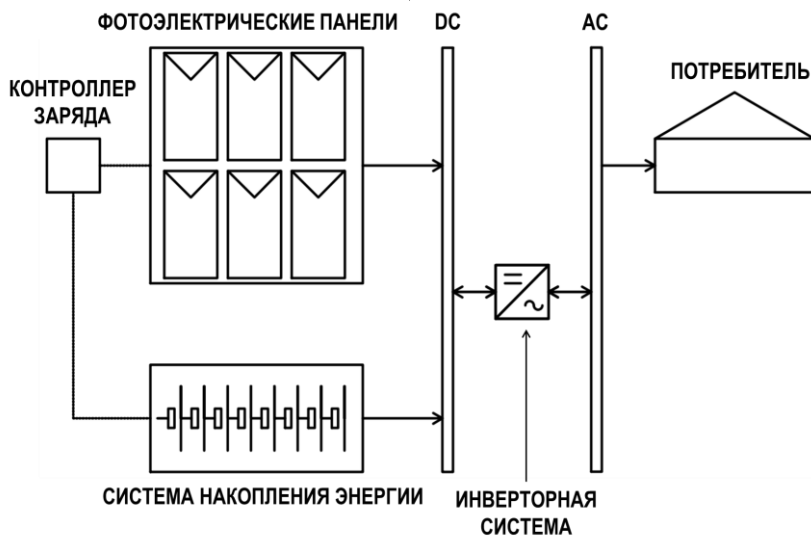
Северный энергорайон – автономные энергосистемы

146 дизельных ЭС, 27 фото-солнечных ЭС, 2 ветровых ЭС

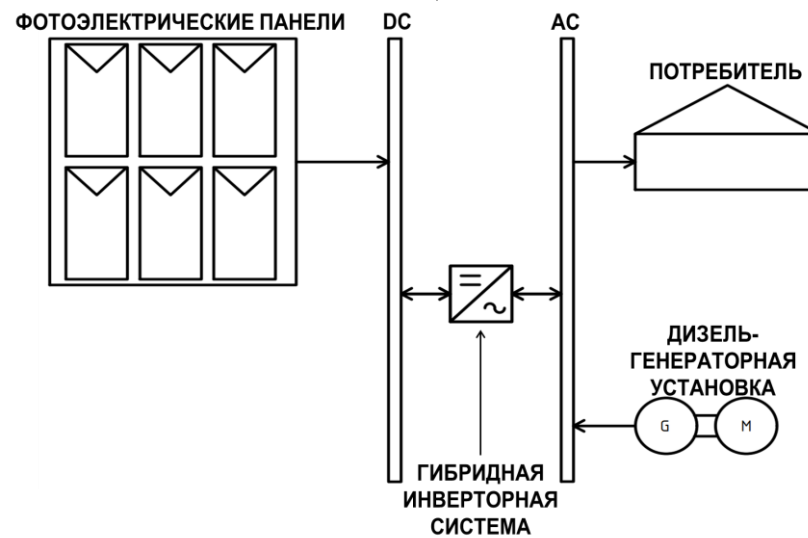
Годовое потребление дизельного топлива 64,31 тыс. тн. (8 млрд. руб.)

ФОТО-СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ

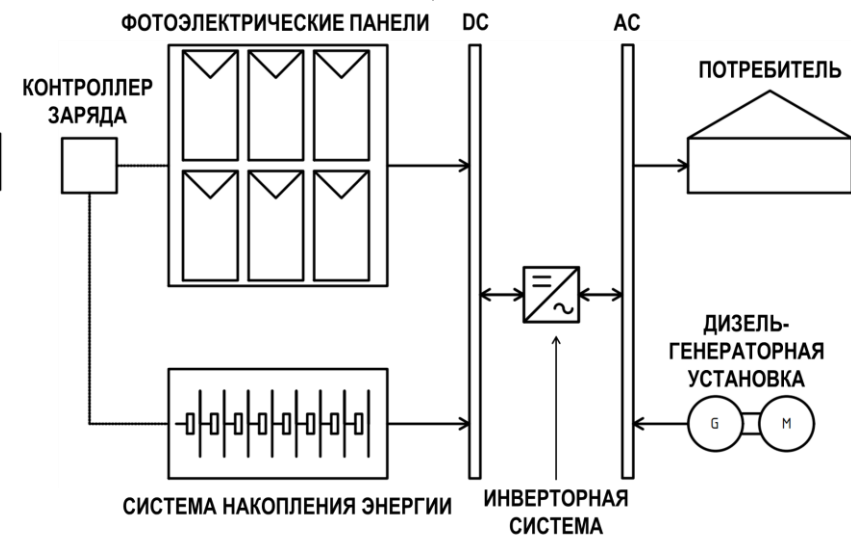
АВТОНОМНАЯ



СЕТЕВАЯ



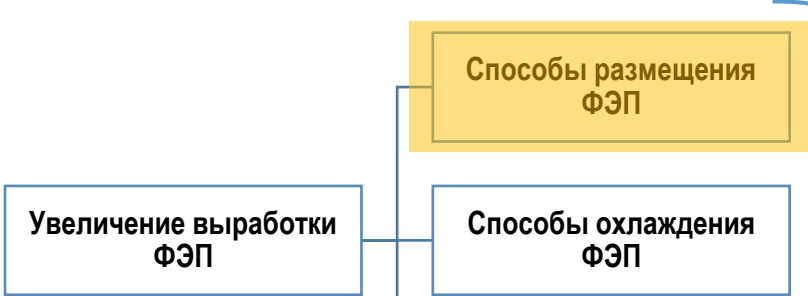
ГИБРИДНАЯ



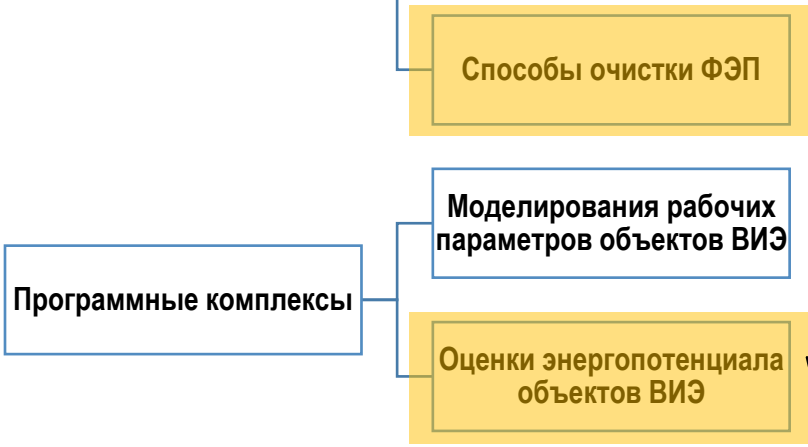
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ФОТО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Направления исследований по диссертации

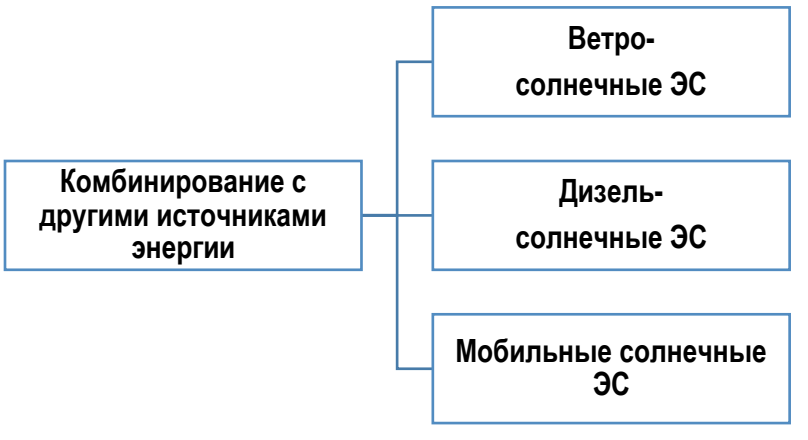
Направление – 1



Направление – 2



Направление – 3



Трекерные установки		
Вертикальное размещение ФЭП		
Механизированная очистка ФЭП		
Применение линз Френеля для ФЭП		
Охлаждение поверхности ФЭП		
Гибридные ЭС		

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



I. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИГОН

II. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ВЫРАБОТКУ ФОТО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ:

ОБЛАЧНОСТЬ

$$\Delta_{\text{ОБЛ}} = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{(\int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн}}(t)dt - \int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн.обл}}(t)dt)}{\int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн}}(t)dt}}{4}$$

Повторность
экспериментов

$2^2 = 4$ повтора

ПОВЕРХНОСТНОЕ
ЗАГРЯЗНЕНИЕ

$$\Delta_{\text{ПЫЛЬ/СНЕГ}} = \frac{\sum_{i=1}^8 \frac{(\int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн}}(t)dt - \int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн.загр.пыль/снег}}(t)dt)}{\int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн}}(t)dt}}{8}$$

$2^3 = 8$ повторов

ЗАДЫМЛЕНИЕ ОТ
ЛЕСНЫХ
ПОЖАРОВ

$$\Delta_{\text{ДЫМ}} = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{(\int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн}}(t)dt - \int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн.загр.дым}}(t)dt)}{\int_0^{24} \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{\text{мгн}}(t)dt}}{4}$$

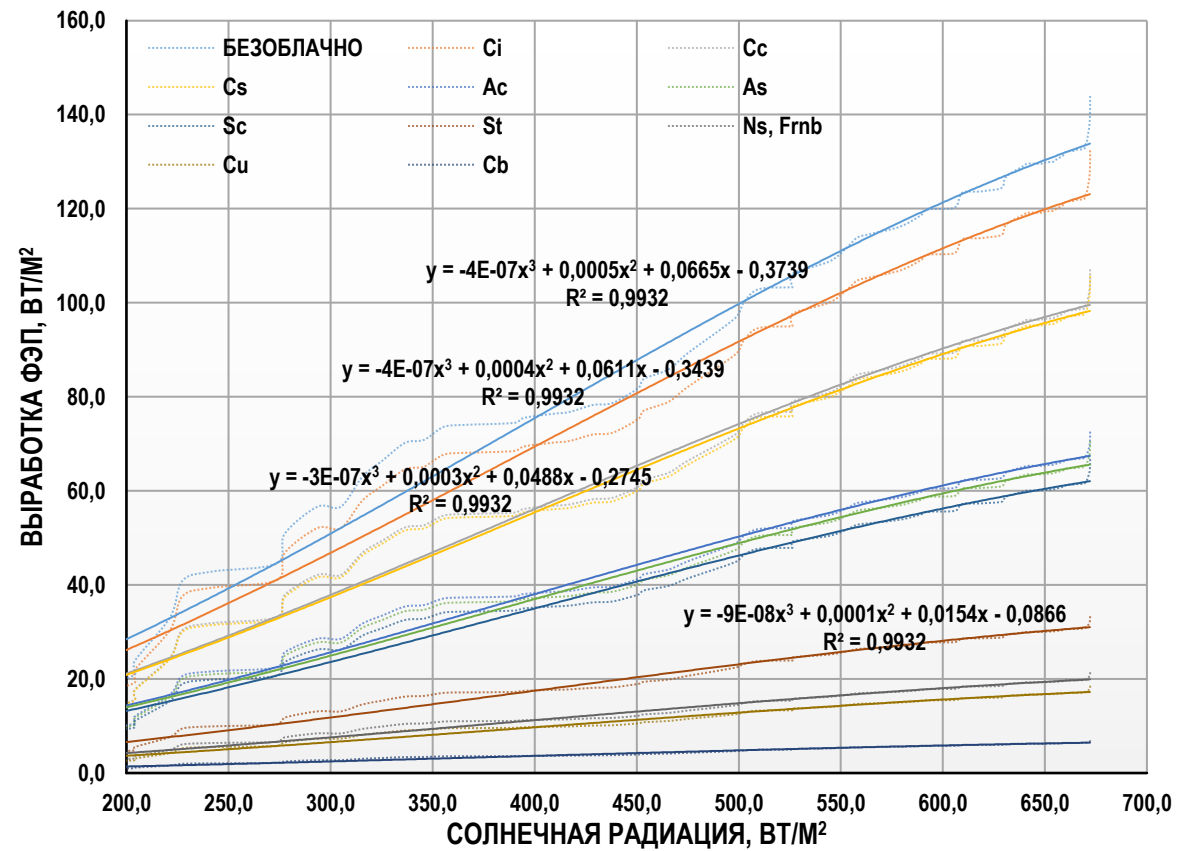
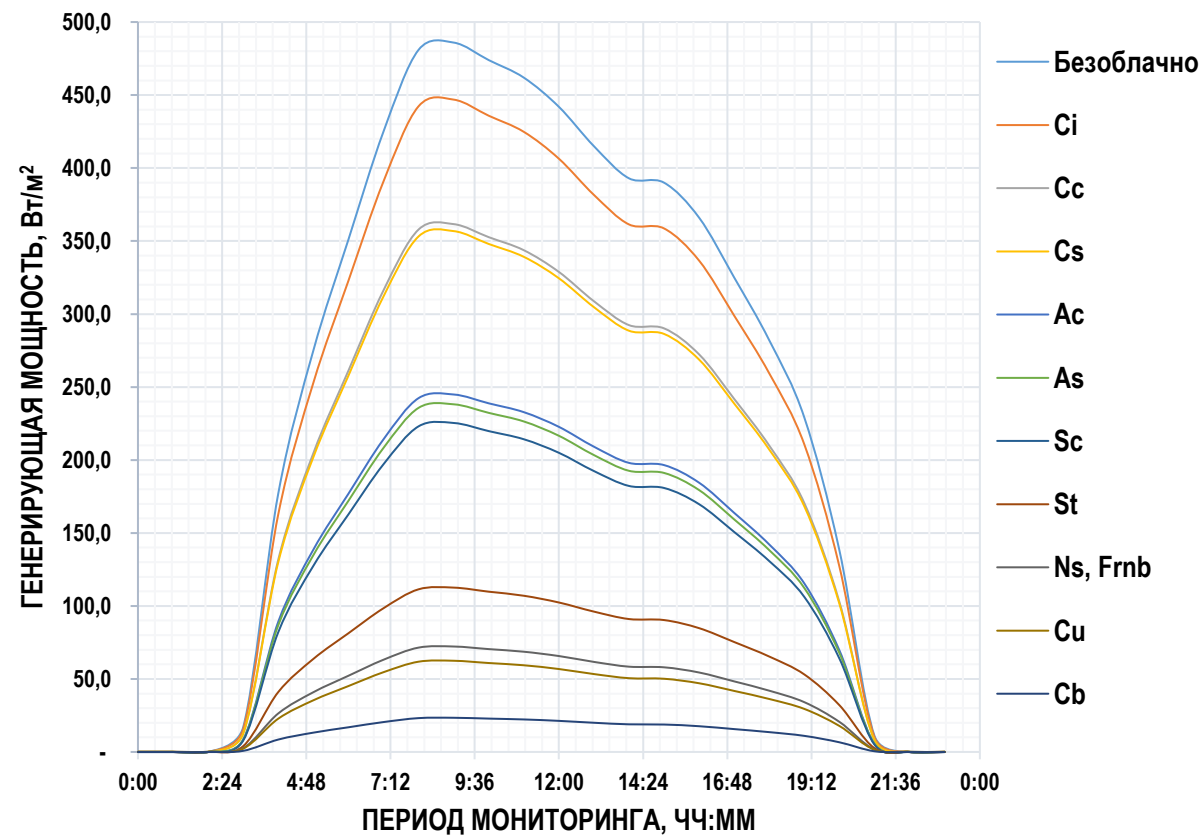
$2^2 = 4$ повтора

ТЕМПЕРАТУРА
ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ

$$\Delta_{\text{ТЕМПЕРАТУРА}} = \frac{\sum_{i=1}^8 \frac{(\int_0^1 \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{T_{\text{ос}}=+10^{\circ}\text{C}}(t)dt - \int_0^1 \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{T_{\text{ос}}=-60...+60^{\circ}\text{C}}(t)dt)}{\int_0^1 \mathcal{E}_{\text{ФЭП}}^{T_{\text{ос}}=+10^{\circ}\text{C}}(t)dt}}{8}$$

$2^3 = 8$ повторов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



ВИДЫ ОБЛАЧНОСТИ	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Sc	St	Ns,Frnb	Cu	Cb
СНИЖЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ, %	8,03	25,60	26,57	49,60	51,00	53,64	76,83	85,13	87,13	95,18

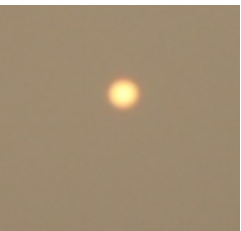
СТЕПЕНИ ЗАДЫМЛЕНИЯ



МАЛОЕ

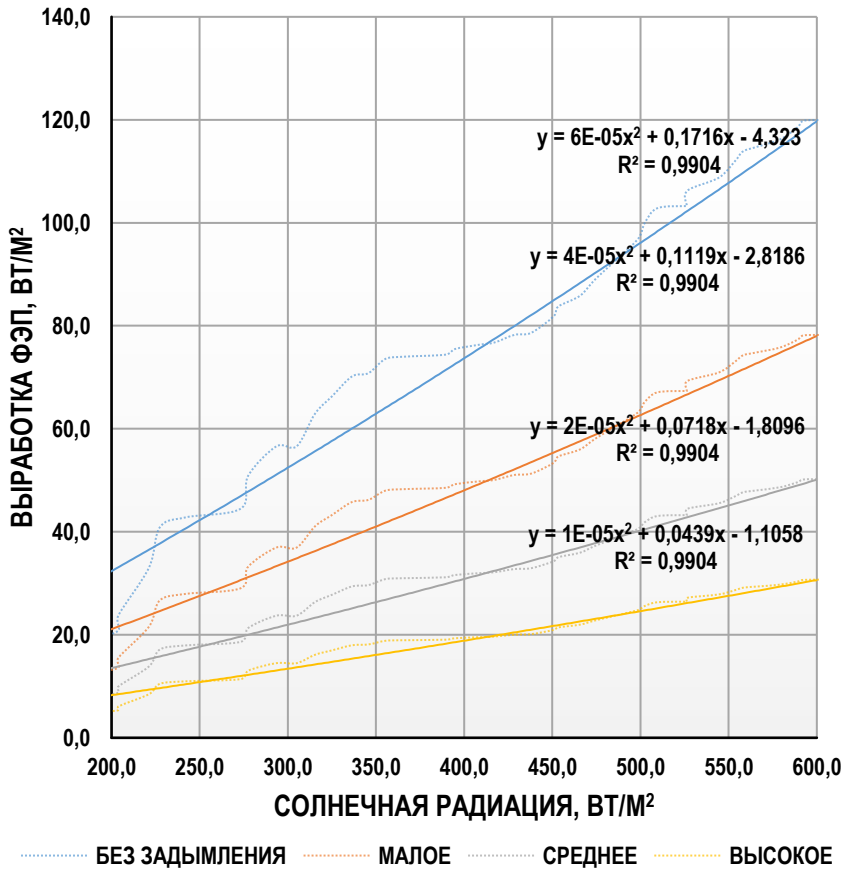
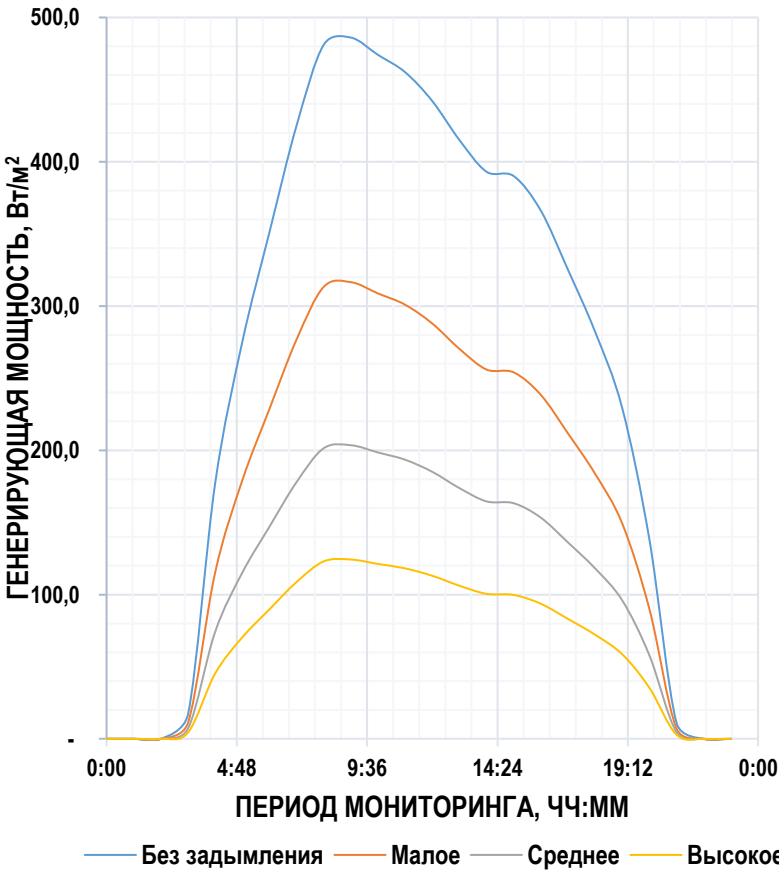


СРЕДНЕЕ



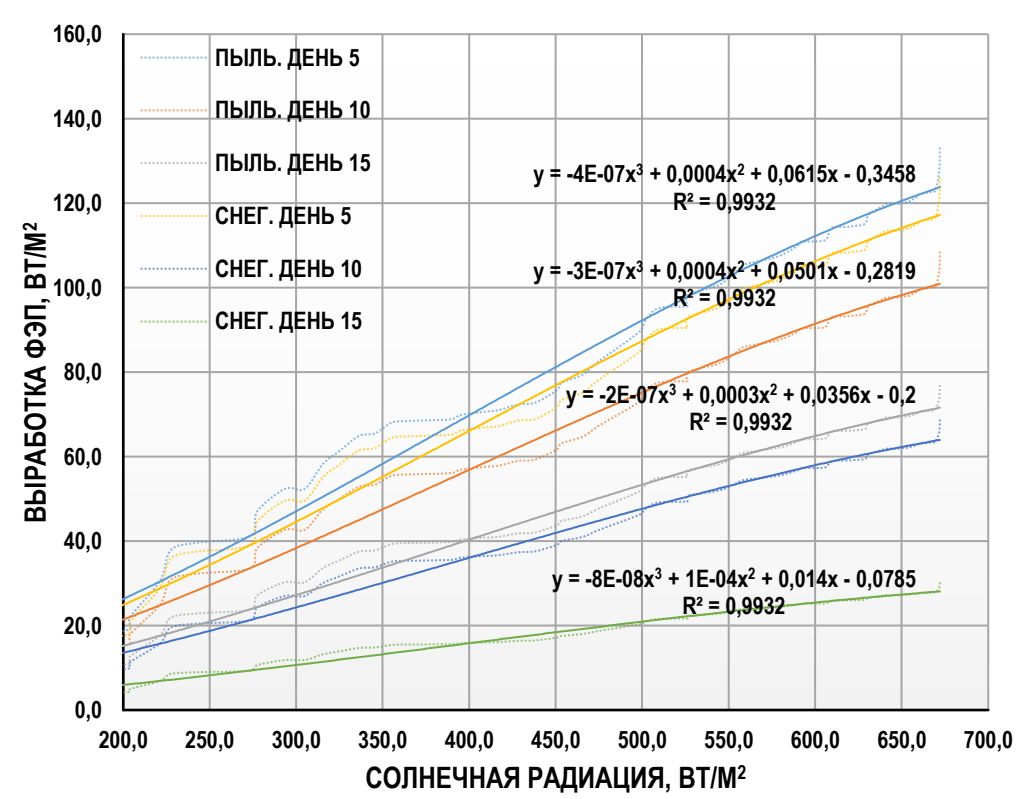
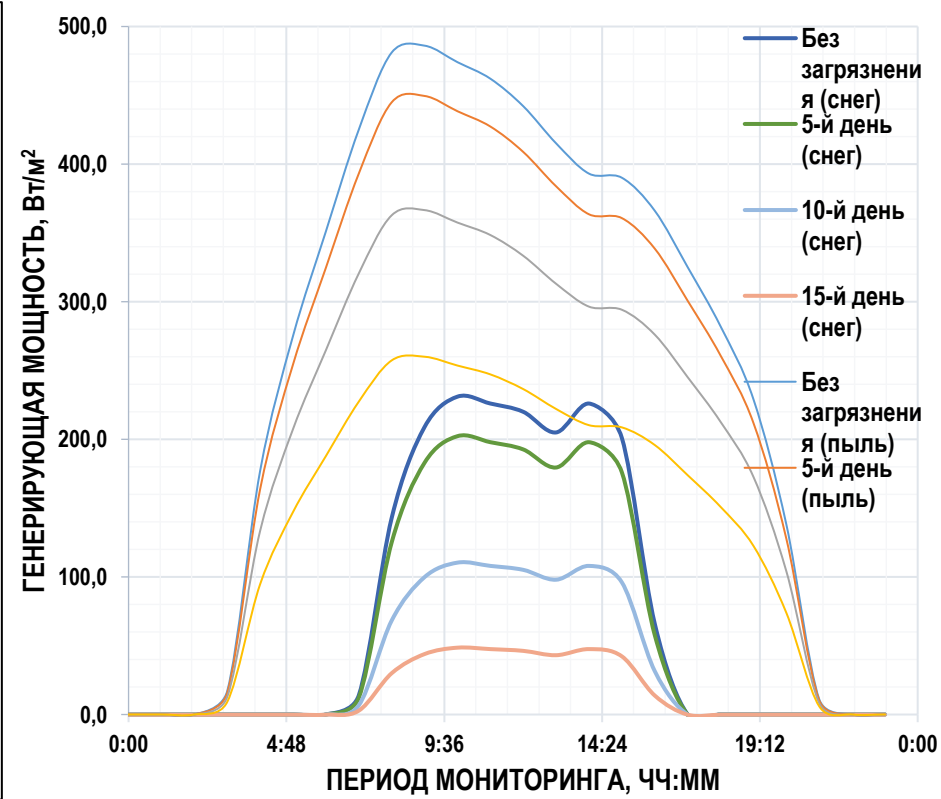
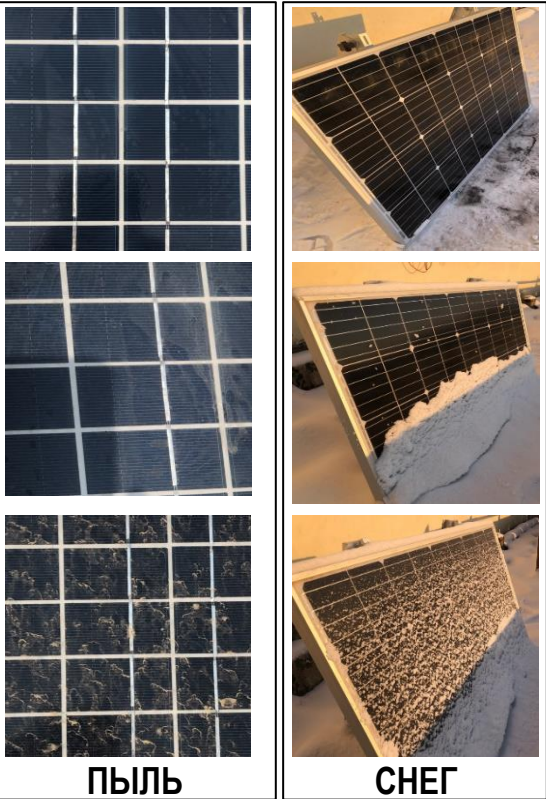
ВЫСОКОЕ

ПРОЦЕСС ЗАМЕРА ДАННЫХ



СТЕПЕНЬ ЗАДЫМЛЕНИЯ	МАЛОЕ	СРЕДНЕЕ	ВЫСОКОЕ
СНИЖЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ, %	34,88	58,14	74,42

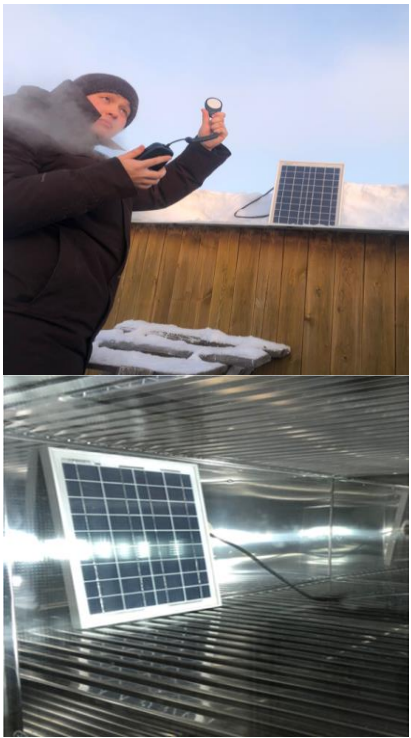
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



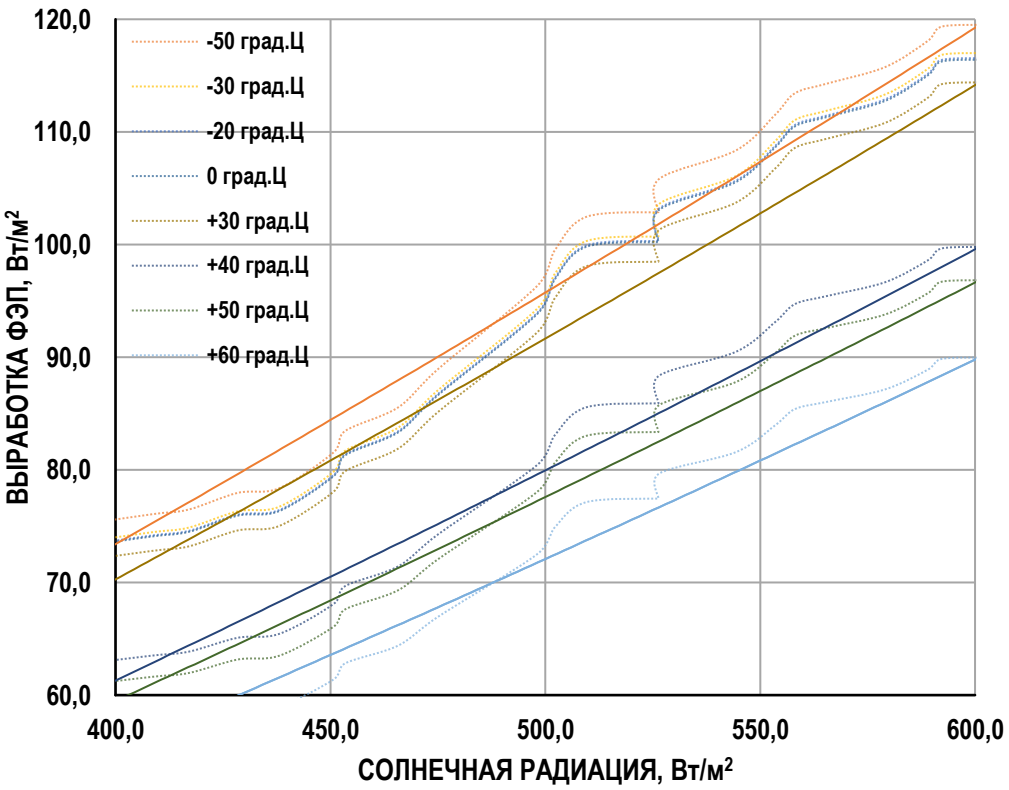
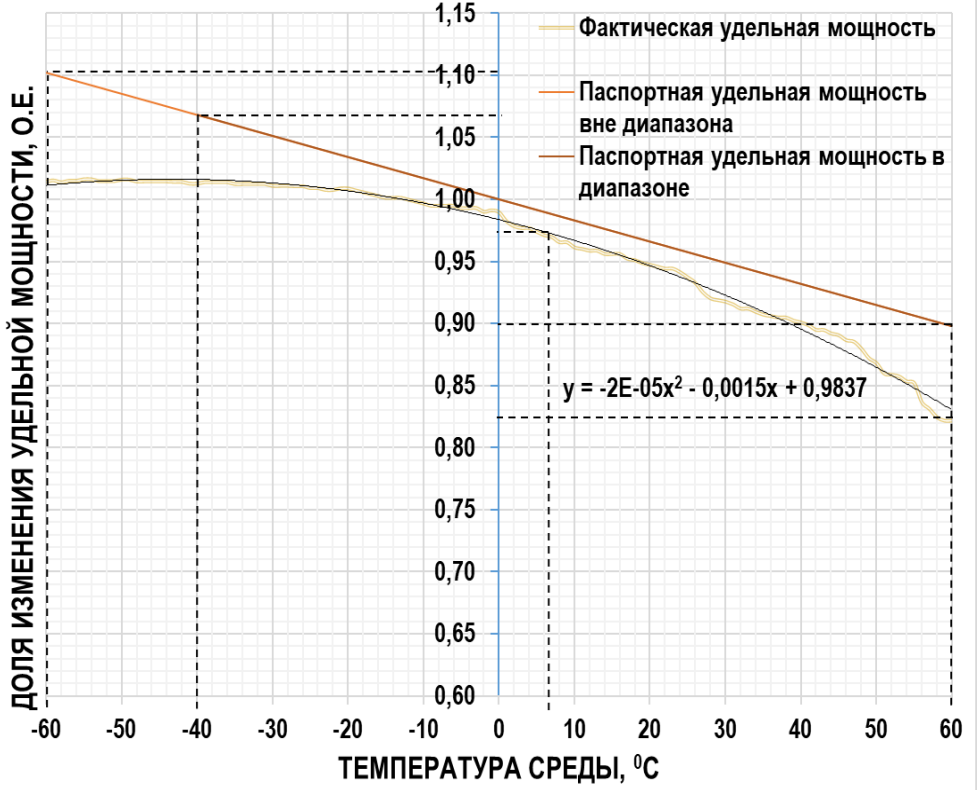
ВИД ЗАГРЯЗНЕНИЯ	ПЫЛЬ			СНЕГОВОЙ ПОКРОВ		
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, СУТКИ	5	10	15	5	10	15
СНИЖЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ, %	7,5	24,6	46,5	12,4	52,2	79

Продолжительность эксперимента обосновывается тем, что в методических указаниях АО «Сахазэнерго» (дочерняя структура ПАО «Русгидро») по эксплуатации солнечных электростанций **очистка поверхности фотоэлектрических панелей необходимо производить не менее 2 раз в месяц**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ФОТО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



ПРОЦЕСС ЗАМЕРА ДАННЫХ



Температура окружающей среды, °C	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60
Снижение генерирующей мощности, %	0,16	0,39	1,91	2,46	2,84	1,41	2,96	1,69	3,28	4,64	16,82	19,28	25,01

Уровень I	Наименование факторов		Поверхностное загрязнение		Снижение интенсивности солнечного излучения		Поверхностная температура ФЭП
Наименование факторов	Уровень II		Пыль	Снег	Облако	Лесной пожар	T _{ос}
Поверхностное загрязнение			Уменьшение генерирующей мощности, %				
	Пыль	Зима	–	–	–	–	–
		Весна	44	83	72	–	45
		Лето	44	–	72	75	53
	Снег	Зима	–	70	75	–	70
		Весна	83	70	85	–	71
		Лето	–	–	–	–	–
Снижение интенсивности солнечного излучения	Облако	Зима	–	75	17	–	18
		Весна	72	85	51	–	52
		Лето	72	–	51	78	59
	Лесной пожар	Зима	–	–	–	–	–
		Весна	–	–	–	–	–
		Лето	75	–	78	56	63
Поверхностная температура ФЭП	T _{ос}	Зима	–	70	18	–	1,9
		Весна	45	71	52	–	2,9
		Лето	53	–	59	63	16

Сущность предложенного способа



I. Очистка ФЭП от пыли



II. Нанесение покрытия



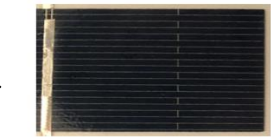
III. Распределение покрытия



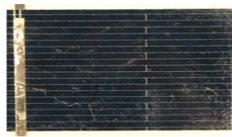
IV. Размещение ФЭП в ОС

Наименование покрытия	Тип покрытия	Состав	Цена, руб./литр
Образец – 1	СИЛИКОН	Эмульсия, состоящая из воска, силикона, растворителей и воды, абразив.	5 000
Образец – 2	ВОСК	Синтетический воск, алифатический спирт, органическая кислота, дистиллированная вода.	600
Образец – 3	СПИРТ	Вода, спирт изопропиловый, нашатырный спирт, отдушка, краситель, неионогенное поверхностно-активное вещество и др.	500

$N = P^K = 3^3 = 27 \text{ опытов}$



а) После нанесения



б) После загрязнения



а) После нанесения



б) После загрязнения



а) После нанесения



б) После загрязнения

[1]. Местников Н.П. Разработка способа защиты поверхности солнечной панели от снежного покрова в условиях Севера / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев, И. И. Куркина // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 1. – С. 46-55. – DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-46-55. – EDN RXQXOZ.
[2]. Местников Н.П. Разработка способа защиты фотоэлектрических солнечных установок от поверхностного загрязнения в условиях Севера / Н. П. Местников // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 4. – С. 16-24. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-79-4-16-24. – EDN KHHSLR.

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ ФОТО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, СПОСОБСТВУЮЩИЙ ЗАМЕДЛЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПАНЕЛЯХ



Наименование параметра	В.1 Р _{чист} , Вт/м ²	В.2 Р _{отп.} , Вт/м ²
Среднеарифметическое значение	38,841	3,506
Медиана	44,343	3,995
Среднее отклонение	28,09	2,53
T-критерий Стьюдента	10,6	
Определение погрешности измерений		
Средняя погрешность измерений, %	3,287	0,029
Систематическая погрешность измерительных приборов, %	2,0	2,0
Полная погрешность, %	3,848	2,021

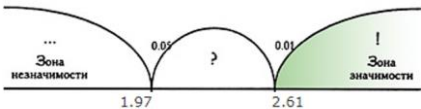
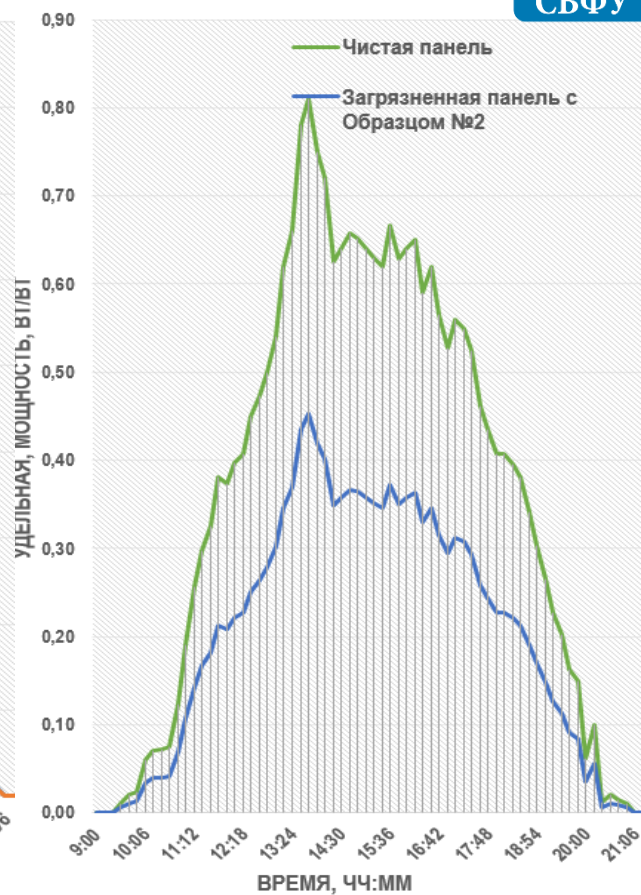
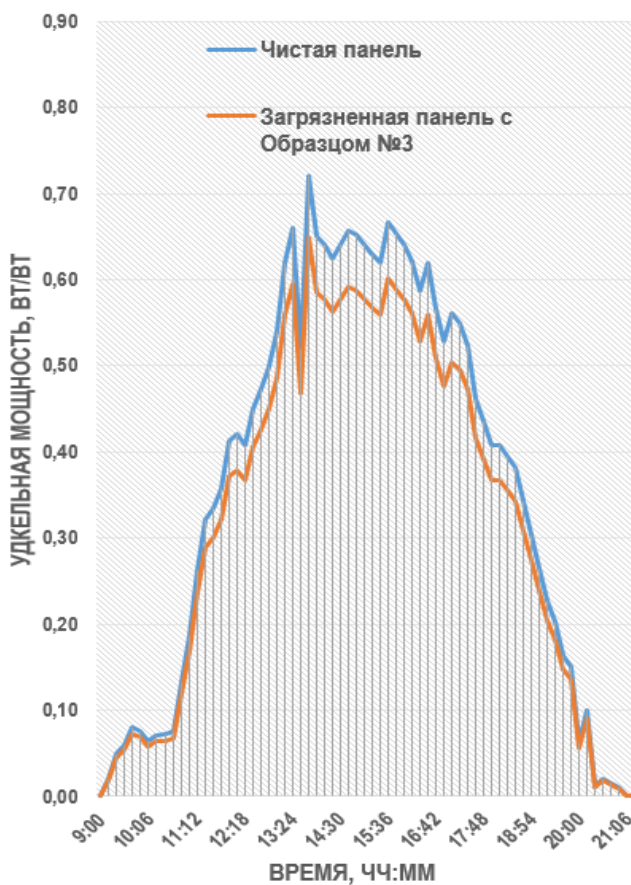
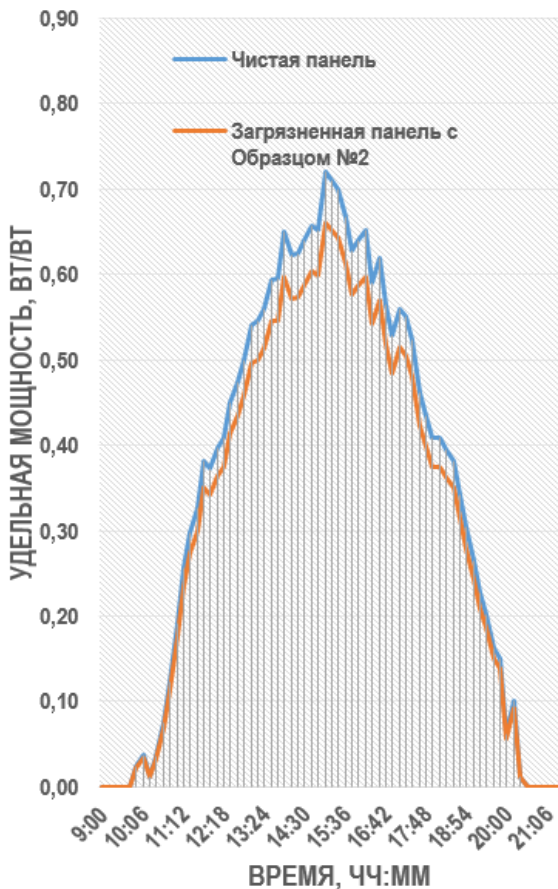


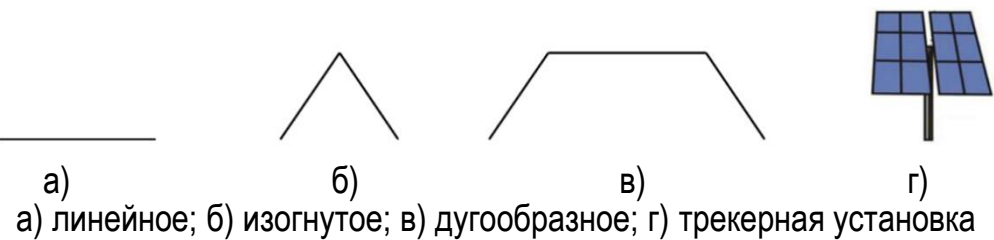
Рисунок 3.42 – Ось значимости гипотезы



ПОСЛЕ 15 СУТОК РАЗМЕЩЕНИЯ В ОС	Образец – 1	Образец – 2	Образец – 3
СОСТАВ ПОКРЫТИЯ	Силикон	Воск	Спирт
СНИЖЕНИЕ ГЕНЕРИРУЮЩЕЙ МОЩНОСТИ, %	$-8,21 \pm 2,93$	$-9,90 \pm 2,93$	$-44,15 \pm 2,93$

[1]. Местников Н.П. Разработка способа защиты поверхности солнечной панели от снежного покрова в условиях Севера / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев, И. И. Куркина // Международный технико-экономический журнал. – 2022. – № 1. – С. 46-55. – DOI 10.34286/1995-4646-2022-82-1-46-55. – EDN RXQXOZ.
[2]. Местников Н.П. Разработка способа защиты фотоэлектрических солнечных установок от поверхностного загрязнения в условиях Севера / Н. П. Местников // Международный технико-экономический журнал. – 2021. – № 4. – С. 16-24. – DOI 10.34286/1995-4646-2021-79-4-16-24. – EDN KHNSLR.

СПОСОБ ДУГООБРАЗНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ ФОТО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЙ ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА 10...15%



Трекерная установка в ходе натурных исследований



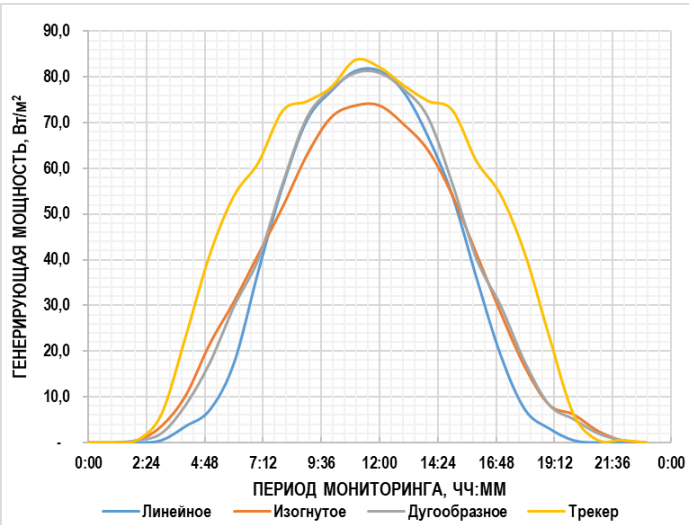
Дугообразное размещение фотоэлектрических панелей

Фактические данные получены путем проведения натурных исследований

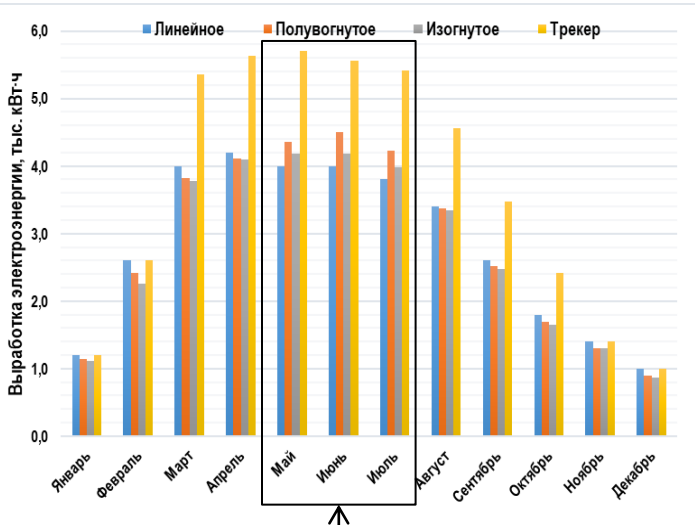
Расчетные данные получены на платформе «Global Solar Atlas» по причине его высокой точности и широкой доступности

«TRNSYS», «Homer Energy», «RET Screen» имеют сложный интерфейс и требуют наличия дорогостоящей лицензии

Среднесуточная выработка



Годовая выработка



Рекомендуемый период применения дугообразного способа размещения ФЭП

Период – май...июль		Способ размещения ФЭП			
Наименование параметра	Ед. изм.	Трекер	Дугообразное	Изогнутое	Линейное
Кап. затраты	тыс. руб./кВт	600,0	120,0	120,0	100,0
Суточная выработка	Вт·ч/м²	999,1	771,9	732,3	696,9
Увеличение выработки (фактическое)	%	+43,36	+10,77	+5,07	0,0
Увеличение выработки (расчетное)		+41,40	+14,07	+4,80	0,0
Относительная погрешность		±1,96	±3,3	±0,27	0,0

[3]. Патент № 2794626 С1 РФ, МПК H02S 40/10. Способ повышения электроэнергетической эффективности солнечной электростанции микро- и малой мощности: № 2022126618; заявл. 13.10.2022; опубл. 24.04.2023 / Н.П. Местников, П.Ф. Васильев; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Якутский научный центр СО РАН". – EDN IZDJPX.

СПОСОБ ДУГООБРАЗНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ ФОТО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, УВЕЛИЧИВАЮЩИЙ ВЫРАБОТКУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА 10...15%

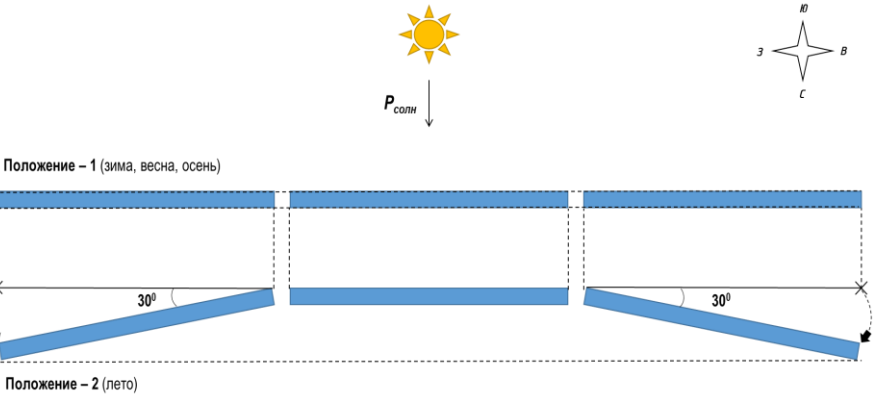


Схема размещения ФЭП (сверху)

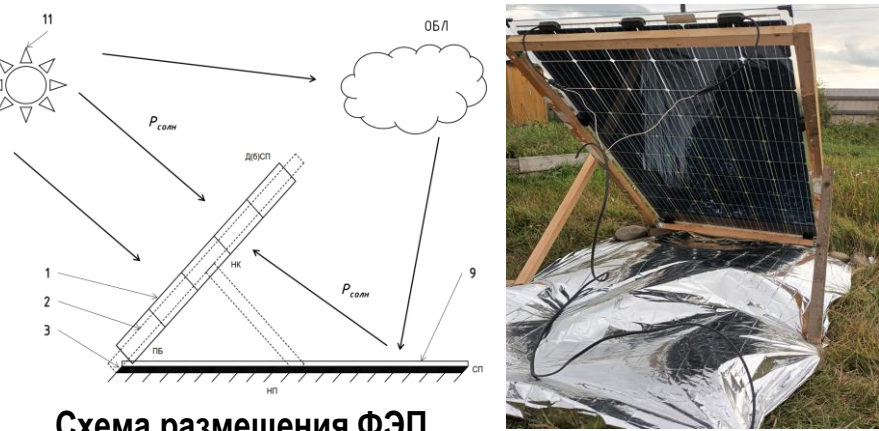
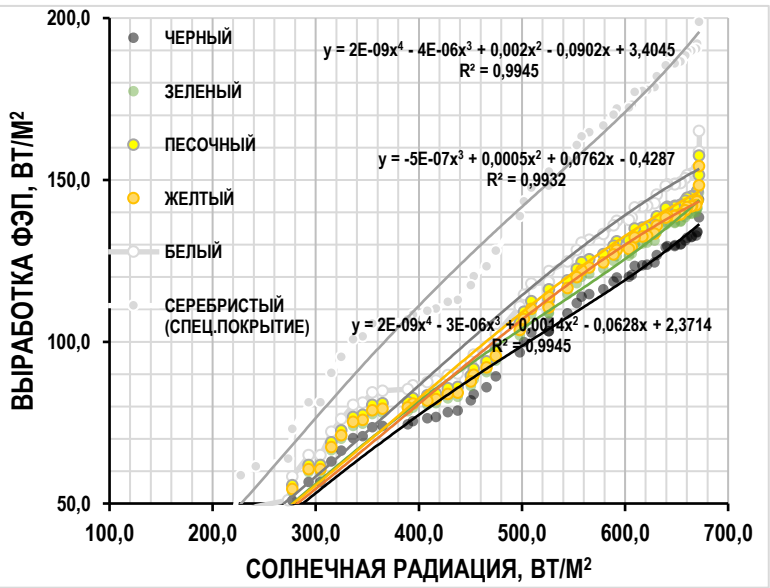


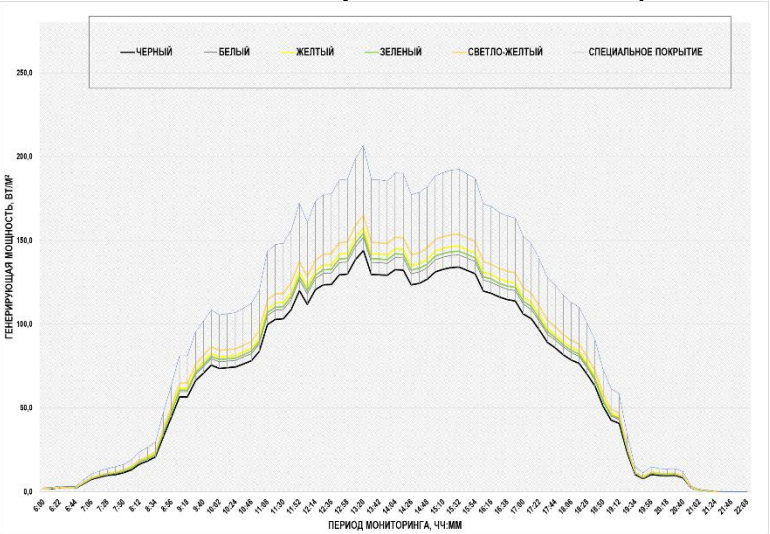
Схема размещения ФЭП



Размещение спец. покрытия на нижней поверхности – изотермическое покрывало в виде полиэфирной пленки с напылением металла



Зависимость выработки от инсоляции



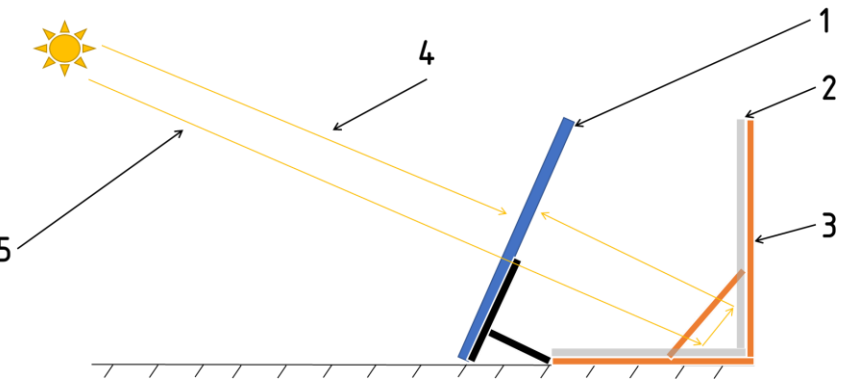
Суточный график выработки

Сезон	Выработка электроэнергии, кВт·ч/м²			
	Величина дуги, град.			
	20°	30°	40°	50°
ВЕСНА	83,88	84,01	83,50	83,11
ЛЕТО	76,07	76,46	75,65	75,18
ЗИМА	20,10	20,10	20,10	20,10
ОСЕНЬ	27,41	27,41	27,41	27,41
Год	207,46	207,98	206,65	205,80

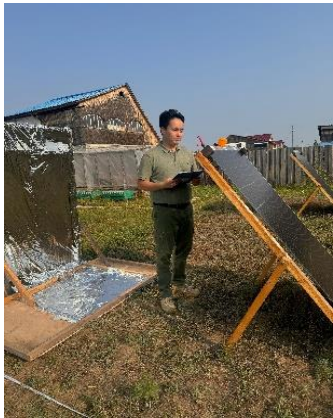
Цветовой тон относительно тыльной части ФЭП	Суточная выработка, кВт·ч	Увеличение выработки э/э, %	Изменение тока, о.е.
Спец. покрытие с дугообразным размещением	2,73	+33,2	1,33
Спец. покрытие без дугообразного размещения	2,56	+25,2	1,25
Белый	2,0	+0,0	1,00
Песочный	1,95	-4,6	0,95
Желтый	1,91	-6,6	0,92
Зеленый	1,88	-8,1	0,89
Черный	1,78	-12,8	0,85

[3]. Патент № 2794626 С1 РФ, МПК H02S 40/10. Способ повышения электроэнергетической эффективности солнечной электростанции микро- и малой мощности: № 2022126618; заявл. 13.10.2022; опубл. 24.04.2023 / Н.П. Местников, П.Ф. Васильев; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Якутский научный центр СО РАН". – EDN IZDJPX.

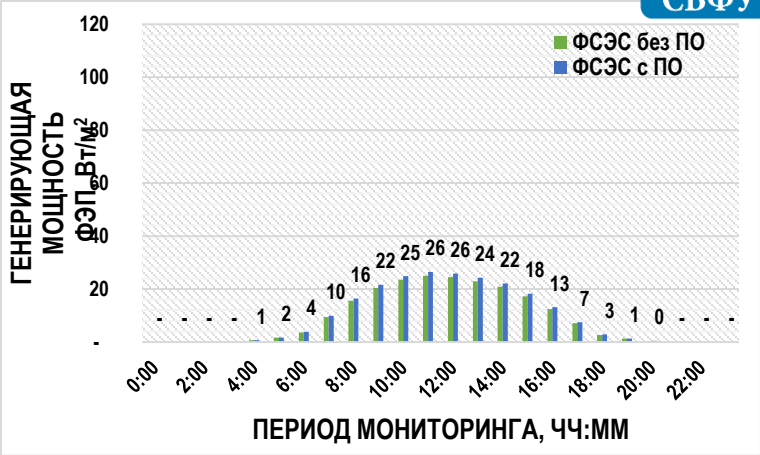
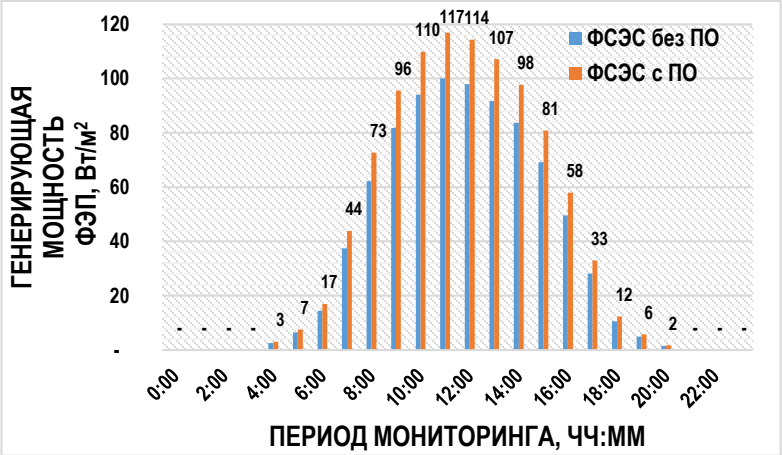
ПРИМЕНЕНИЕ ПЛОСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ДЛЯ ДВУХСТОРОННИХ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ



1 – фотоэлектрическая панель; 2 – светоотражающий материал; 3 – конструкция плоского отражателя; 4 – солнечное излучение; 5 – отраженное солнечное излучение



Процедуры выполнения натурных исследований



Наименование параметра	Ед. изм	Вид размещения ФЭП	
		ПО	Без ПО
Среднесуточная генерирующая мощность при безоблачной погоде	Вт/м²	40,7	34,8
Среднесуточная выработка электроэнергии при безоблачной погоде	Вт·ч/м²	976,9	836,1
Повышение выработки электроэнергии при безоблачной погоде	%	+16,84	0,0
Среднесуточная генерирующая мощность при облачной погоде	Вт/м²	9,2	8,7
Среднесуточная выработка электроэнергии при облачной погоде	Вт·ч/м²	220,8	209,0
Повышение выработки электроэнергии при облачной погоде	%	+5,64	0,0

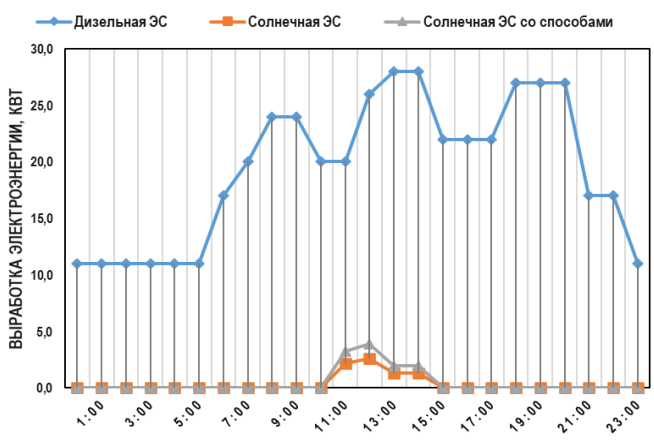
[4]. Патент № 2827548 С1 Российская Федерация, МПК H01L 31/054, H02S 10/00. Способ и устройство для повышения выработки электроэнергии двухсторонних фотоэлектрических панелей : № 2023121831 : заявл. 22.08.2023 : опубл. 30.09.2024 / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев, Я. М. Андреев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки федеральный исследовательский центр "Якутский научный центр СО РАН".

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗРАБОТАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

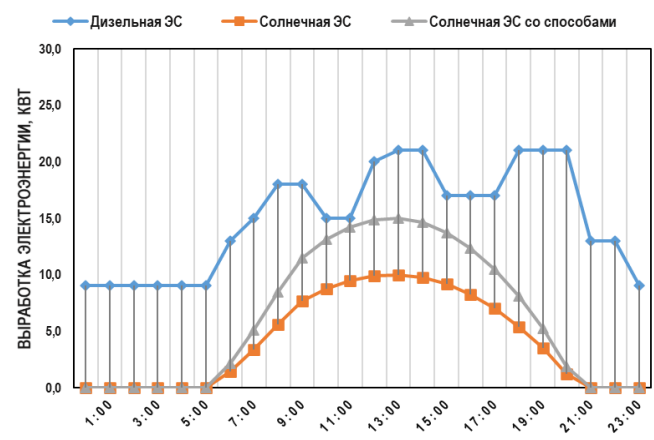
Наименование показателя	Единица измерения	ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ			
		БЕЗ СПОСОБОВ	СПОСОБ (I)	СПОСОБ (II)	СПОСОБЫ (I) И (II)
ВЫРАБОТКА ДЭС	кВт·ч/год	92 676,00			
ВЫРАБОТКА СОЛНЕЧНОЙ ЭС		32 849,83	38 735,81	46 482,97	49 280,56
ВЫРАБОТКА ДЭС ПОСЛЕ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭС		62 340,60	56 910,56	56 894,76	52 439,53
ПЕРИОД АВТОНОМНОЙ РАБОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭС	мес./год	0,00	0,00	0,00	1,00
ЭКОНОМИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА	тн./год	13,23	15,60	15,61	17,55
ЭКОНОМИЯ МОТОРНОГО МАСЛА		0,20	0,21	0,22	0,23
УДЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА	тн./кВт в год	0,44	0,52	0,52	0,59
УДЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЯ НА ГСМ	тыс.руб./кВт в год	44,11	52,01	52,03	58,51
УДЕЛЬНАЯ СЕБЕСТОИМОСТЬ Э/Э	руб./кВт·ч	12,36	16,08	13,28	16,78

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ	Единица измерения	ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СПОСОБОВ			
		БЕЗ СПОСОБОВ	СПОСОБ (I)	СПОСОБ (II)	СПОСОБЫ (I) И (II)
КАП. ЗАТРАТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭС	тыс. руб.	7 500,00			
ОПЕР. ЗАТРАТЫ в том числе:	тыс. руб./год	375,00	575,00	475,00	675,00
Амортизация объекта		375,00			
ФОТ на способы		0,00	50,00		100,00
Затраты на способы		0,00	150,00	50,00	200,00
ПРИБЫЛЬ ОТ ЭКОНОМИИ ГСМ	тыс. руб.	1 323,29	1 560,16	1 560,85	1 755,20
ГОДОВЫЕ ДОХОДЫ		758,63	788,13	868,68	864,16
СРОК ОКУПАЕМОСТИ	лет	9,89	9,52	8,63	8,68
ДИСКОНТ. СРОК ОКУПАЕМОСТИ		14	13	11	11
УМЕНЬШЕНИЕ ВЫБРОСОВ CO ₂	тн./год	41,68	49,15	49,17	55,29

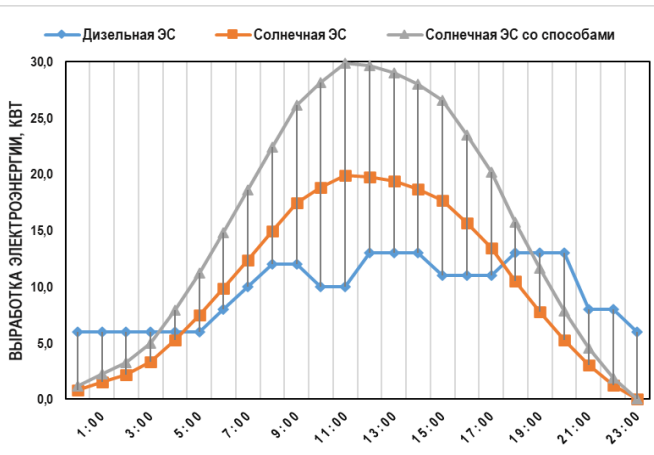
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ СПОСОБОВ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТО-СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



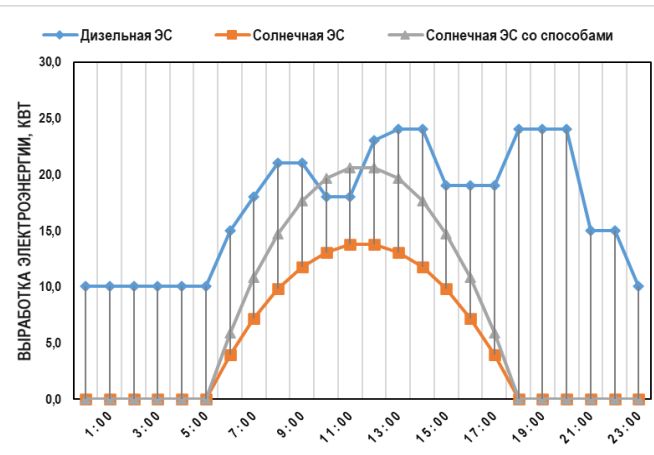
Среднесуточный график – ЗИМА



Среднесуточный график – ВЕСНА



Среднесуточный график – ЛЕТО



Среднесуточный график – ОСЕНЬ

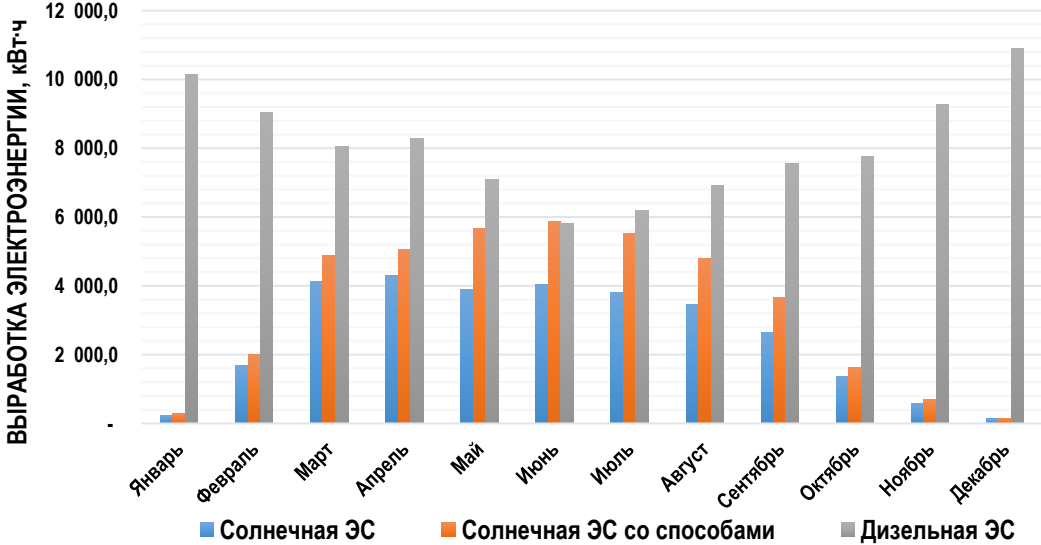
Критерии внедрения способов

Способ I – при наличии антропогенных факторов (концентрация пыли, песка или снега, урбанизация), отсыпка дорог, сухой климат, обнажение и высыхание почвы

Способ II – при размещении солнечной ЭС в пределах 60°...70° северной широты, где есть эффект «белых ночей», при наличии твердой площадки для ФЭП

Компенсация пиковых нагрузок, а также базовых (при наличии АКБ)

Среднегодовой график выработки



Наименование параметра	Сезон эксплуатации	Выработка электроэнергии от солнечной ЭС, кВт·ч	
		Без способов	Способы I и II
Выработка электроэнергии от солнечной ЭС, кВт·ч	ЗИМА	251,8	383,5
	ВЕСНА	11 697,7	17 546,6
	ЛЕТО	18 687,9	28 031,9
	ОСЕНЬ	2 212,4	3 318,5
Среднесуточный период автономной работы, час/сутки	ЗИМА	0,0	0,0
	ВЕСНА	0,0	≈0,0
	ЛЕТО	≈13,00	≈14,0...24,0*
	ОСЕНЬ	0,0	2,0
КИУМ, %		13...15	19,5...22,5

* при условии наличия системы накопления энергии из АКБ в солнечной ЭС

1. В автономных энергосистемах Северо-Востока России совершенствуется применение фото-солнечных электростанций. Бесперебойное функционирование и стабильность режимов работы фото-солнечных электростанций зависят от характера влияния внешних факторов, таких как: солнечная инсоляция; облачность; задымление окружающей среды, вызванное лесными пожарами; температура окружающей среды; поверхностное загрязнение фотоэлектрических панелей (пыль, снег). Влияние данных факторов имеет сезонный характер. Отсутствие учета внешних факторов приводит к отклонениям расчетных и фактических показателей функционирования солнечной электростанции на 10...22%.
2. Проведенные натурные исследования по идентификации характера и показателей влияния внешних факторов Севера на режим работы фото-солнечных электростанций, функционирующих в составе автономных энергосистем, установили следующее: поверхностное загрязнение фотоэлектрических панелей, вызванное мелкодисперсными фракциями пыли, уменьшает выработку электроэнергии на 44...46%; поверхностное загрязнение фотоэлектрических панелей, вызванное снеговым покровом, уменьшает выработку электроэнергии на 12,4...79%; задымление окружающей среды, вызванное сезонными лесными пожарами, уменьшает выработку электроэнергии на 33,88...74,42%; наличие облачности уменьшает выработку электроэнергии на 8,03...95,18%; при температуре окружающей среды в диапазоне $-60...+20$ °C показатели выработки электроэнергии ($-3,28...-0,16\%$); температура окружающей среды в диапазоне $+30...+40$ °C уменьшает выработку электроэнергии на 16,81%.
3. Разработан способ дугообразного размещения фотоэлектрических панелей электростанций, учитывающий траекторию движения Солнца, и позволяющий увеличить выработку электроэнергии на 33,25%. Сущность данного способа заключается в размещении двухсторонних фотоэлектрических панелей по дугообразной форме на специальном светоотражающем покрытии. Данный способ позволяет увеличить объем экономии топлива на 34%, уменьшить объемы выбросов CO_2 на 33,8% в течение летнего периода. При этом размер площади размещения панелей увеличивается в сравнении с линейным способом размещения.

4. Разработанный способ защиты фотоэлектрических панелей солнечных электростанций от негативного влияния поверхностного загрязнения, вызванного мелкодисперсными фракциями пыли в летне-осенний и снеговым покровом в зимне-весенний периоды, предохраняет от образования загрязнения на поверхности панелей в течение 14 суток вследствие чего уменьшается периодичность их очистки. Сущность данного способа заключается в нанесении жидкого воскового покрытия на поверхность панели. Исследования показали, что применение разработанного способа снижает интенсивность загрязнения панелей. При отсутствии применения данного способа защиты выработка электрической энергии снижается на 46%, а при применении – на 9,90%. То есть эффект от применения данного способа уменьшает уровень снижения выработки электроэнергии по причине негативного влияния поверхностного загрязнения – в среднем на 37%.
5. Техничко-экономическая и экологическая оценки функционирования автономной энергосистемы с солнечной электростанцией на примере с. Мачах (северная Якутия) при комплексом применении (внедрении) разработанных и предложенных в работе способов показал следующее: годовая экономия моторного масла – 0,23 т.; годовая экономия дизельного топлива – до 17,55 т.; уменьшение годовых выбросов CO₂ на 55,29 т.; период автономной работы солнечной электростанции без выработки дизельной электростанции – до 1 мес./год; дисконтированный срок окупаемости применения способов в оцениваемый объект – 11 лет.
6. Анализ среднесуточных графиков выработки электроэнергии от автономных энергосистем с солнечными электростанциями при комплексном применении представленных в работе способов показал, что в летний период – продолжительность автономного питания от солнечной электростанции составила 14...24 часов в сутки. При этом коэффициент использования установленной мощности солнечной электростанции увеличивается на 7,5...9,5%.