

XX Юбилейная международная и Первая всероссийская научно-практическая конференция  
«ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ И МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА – 2023. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ.  
АВТОНОМНЫЕ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ И ПОДВИЖНЫХ  
ОБЪЕКТОВ»

# МЕТОДИКА ВЫБОРА СОСТАВА ВКЛЮЧЁННОГО ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СОЛНЕЧНО- ДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

**Васьков А. Г.**, заведующий лабораторией «Системы  
управления солнечно-дизельными комплексами»  
**Сигель А. С.**, инженер-исследователь лаборатории  
«Системы управления солнечно-дизельными  
комплексами»


10.11.23

# Лаборатория «Системы управления солнечно-дизельными комплексами»

Федеральный проект «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок» национального проекта «Наука и университеты»

## Цель НИОКР:

разработка программного комплекса, осуществляющего быструю и надёжную оптимизацию состава, параметров и режимов функционирования гибридного энергокомплекса в условиях эксплуатации, близких к реальным

	
<b>МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</b> (МИНОБРНАУКИ РОССИИ)	
<small>Тверская ул., д. 11, стр. 1, 4, Москва, 125009, телефон: (495) 547-13-16, e-mail: info@minobrnauki.gov.ru, http://www.minobrnauki.gov.ru</small>	
10.06.2022	№ МН-13/875
На № _____	от _____
	Научные организации и образовательные организации высшего образования, подведомственные Минобрнауки России
О сборе предложений по созданию молодежных лабораторий	(по списку)
<p>Минобрнауки России проводит работу по созданию за счет средств федерального бюджета, на базе научных организаций и образовательных организаций высшего образования, подведомственных Министерству науки и высшего образования Российской Федерации, новых молодежных лабораторий (далее – новые лаборатории) под руководством молодых перспективных исследователей в рамках федерального проекта «Развитие человеческого капитала в интересах регионов, отраслей и сектора исследований и разработок» национального проекта «Наука и университеты», в том числе по направлению «новая энергетика». Формирование новых лабораторий в сфере энергетики предполагается по следующим приоритетным направлениям:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- атомная энергетика;</li><li>- биотопливо, биотопливные элементы;</li><li>- солнечная энергетика (гелиоэнергетика);</li><li>- ветроэнергетика;</li></ul>	
<small>Документ зарегистрирован № МН-13/875 от 10.06.2022 Брудинова Е.С. (Минобр) Страница 1 из 15. Страница создана: 09.06.2022 17:25</small>	

# Классификация СДК

Категория СДК	Доля СЭС в годовой выработке энергии, %	Отношение мощности СЭС к мощности локальной энергосистемы, %	Особенности работы
Низкая доля СЭС	< 20	< 50	<ul style="list-style-type: none"><li>• ДЭС находится в работе в течение всего рабочего цикла.</li><li>• Отсутствие необходимости наличия центрального контроллера управления.</li></ul>
Средняя доля СЭС	20-50	> 50	<ul style="list-style-type: none"><li>• ДЭС находится в работе в течение всего рабочего цикла.</li><li>• Необходимость наличия небольшого накопителя энергии для регулирования частоты/напряжения.</li><li>• Необходимость учета вращающегося резерва.</li></ul>
Высокая доля СЭС (автономный комплекс)	> 50...80	> 100...150	<ul style="list-style-type: none"><li>• ДЭС работают изредка (резерв).</li><li>• Требуются АКБ для перераспределения электроэнергии, вырабатываемой ФЭМ.</li><li>• Требуется контроллер для управления системой.</li></ul>

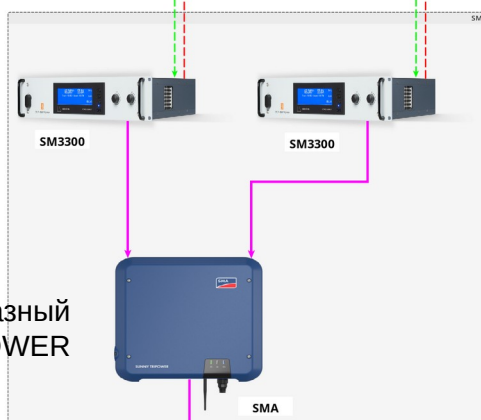
# Имитационный макет солнечно-дизельного комплекса

Электроагрегат  
дизельный ПСМ АД12,  
12 кВт

Электроагрегат  
дизельный ПСМ АД30,  
30 кВт

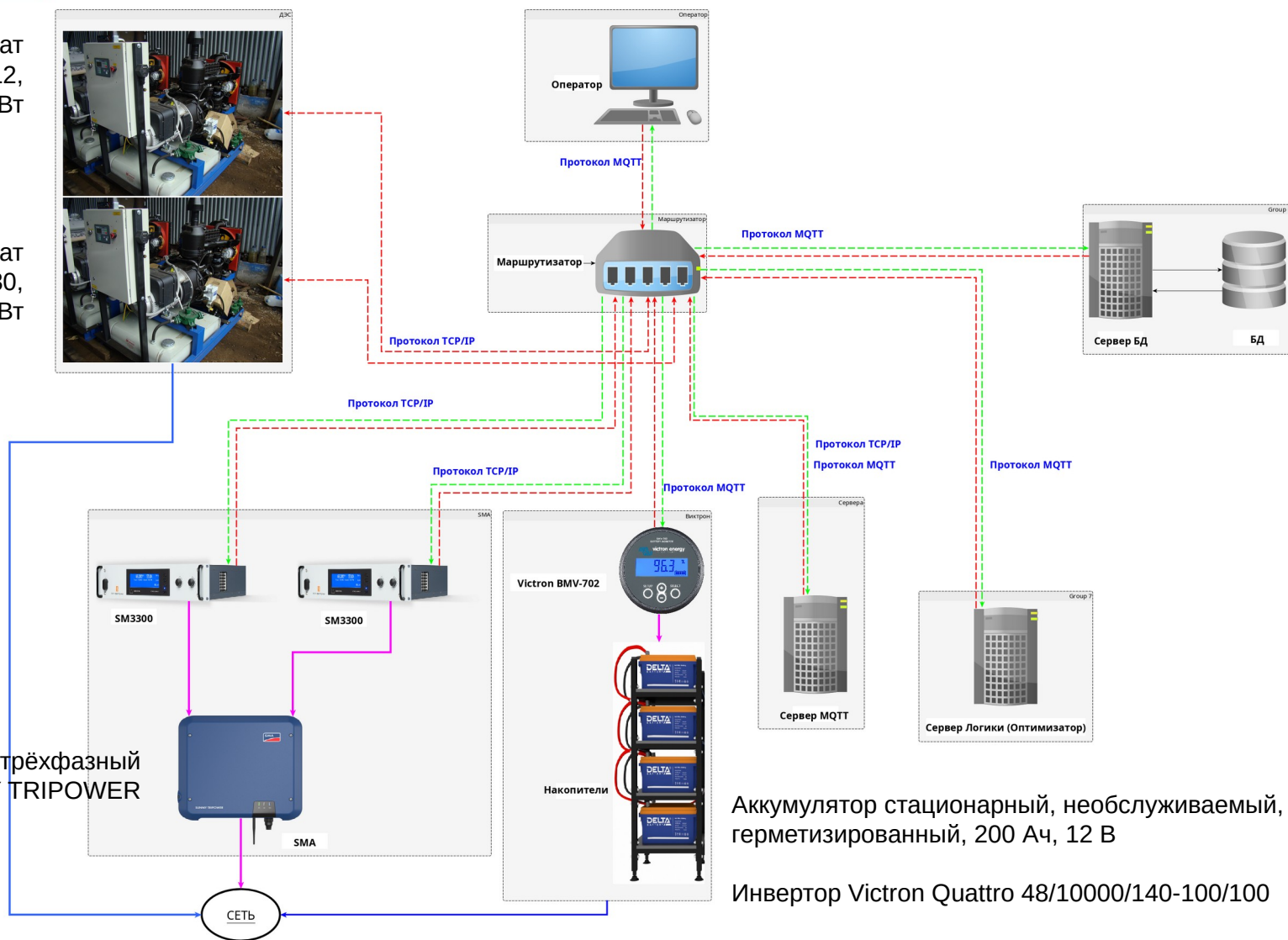


Сетевой трёхфазный  
инвертор SUNNY TRIPOWER

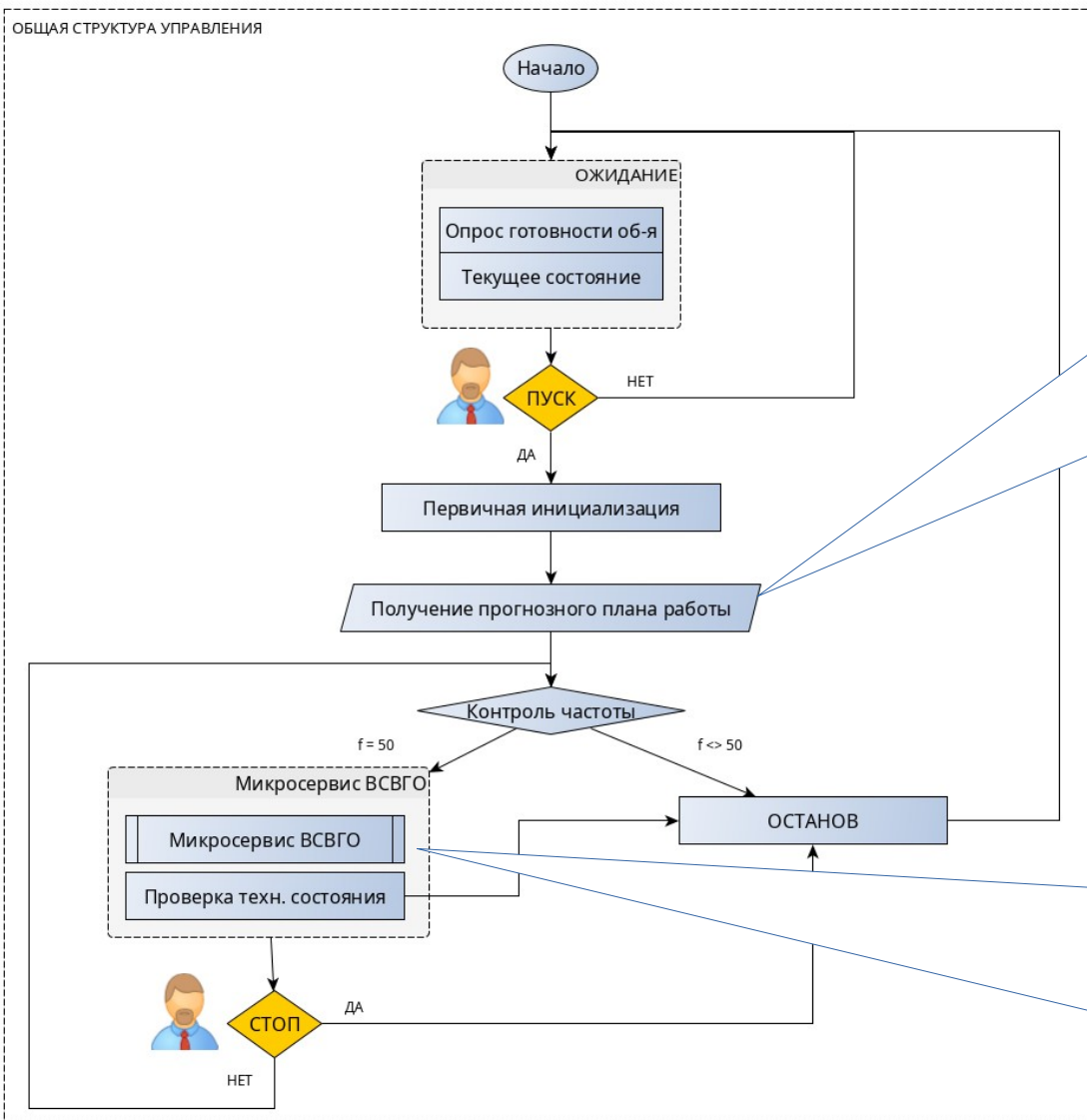


Аккумулятор стационарный, необслуживаемый,  
герметизированный, 200 Ач, 12 В

Инвертор Victron Quattro 48/10000/140-100/100



# Общая структура системы управления СДК



## Прогноз работы СДК на сутки вперёд

- Прогноз солнечного излучения
- Расчёт баланса мощности
- Критерий — минимум эксплуатационных затрат

## Выбор состава включённого генерирующего оборудования

- Контроль выполнения плана работы СДК
- Распределение мощности ДЭС между ДГУ
- Критерий — минимум удельного расхода топлива

## Особенности обеспечения баланса мощности

$$P_{нагр}(t) = N_{ДЭС}(t) + N_{СЭС}(t) \pm N_{СНЭ}(t)$$

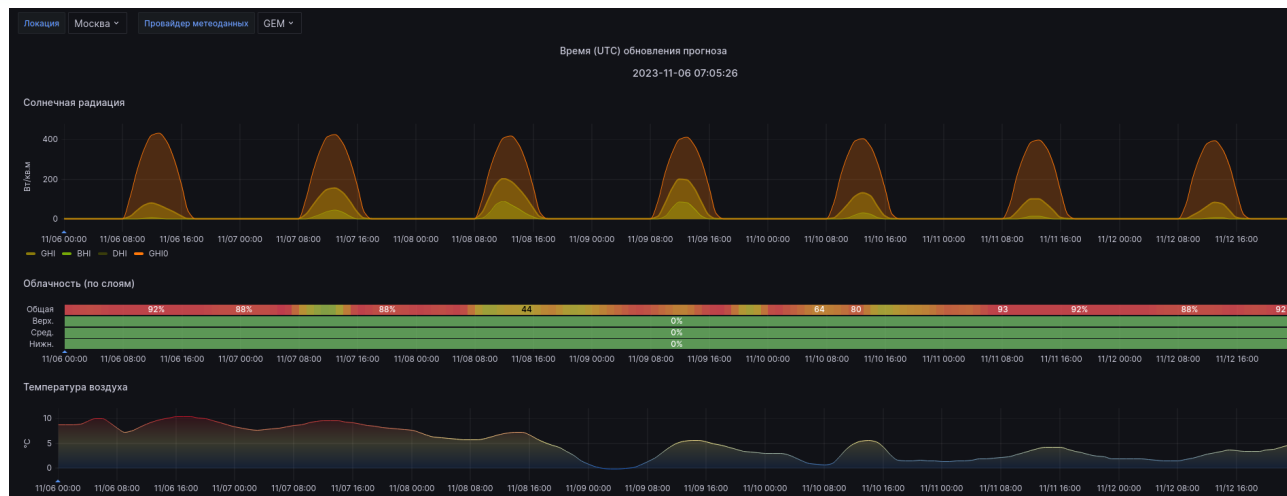
$P_{нагр}(t)$ , кВт — совокупная мощность электроприёмников («нагрузка»)

$N_{СЭС}(t)$ , кВт — мощность солнечной электростанции, определяется исходя из интенсивности солнечного излучения

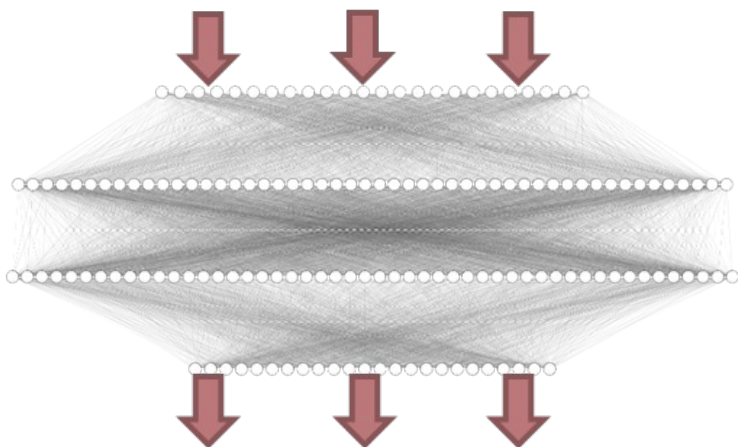
$\pm N_{СНЭ}(t)$ , кВт — мощность заряда/разряда системы накопления энергии, определяется исходя из соотношения мощности СЭС и нагрузки, а также с учётом уровня заряда АКБ

$N_{ДЭС}(t)$ , кВт — мощность ДЭС, резервная мощность

# Прогнозирование мощности СЭС



Входные данные - данные метеопрогноза погоды на сутки вперед



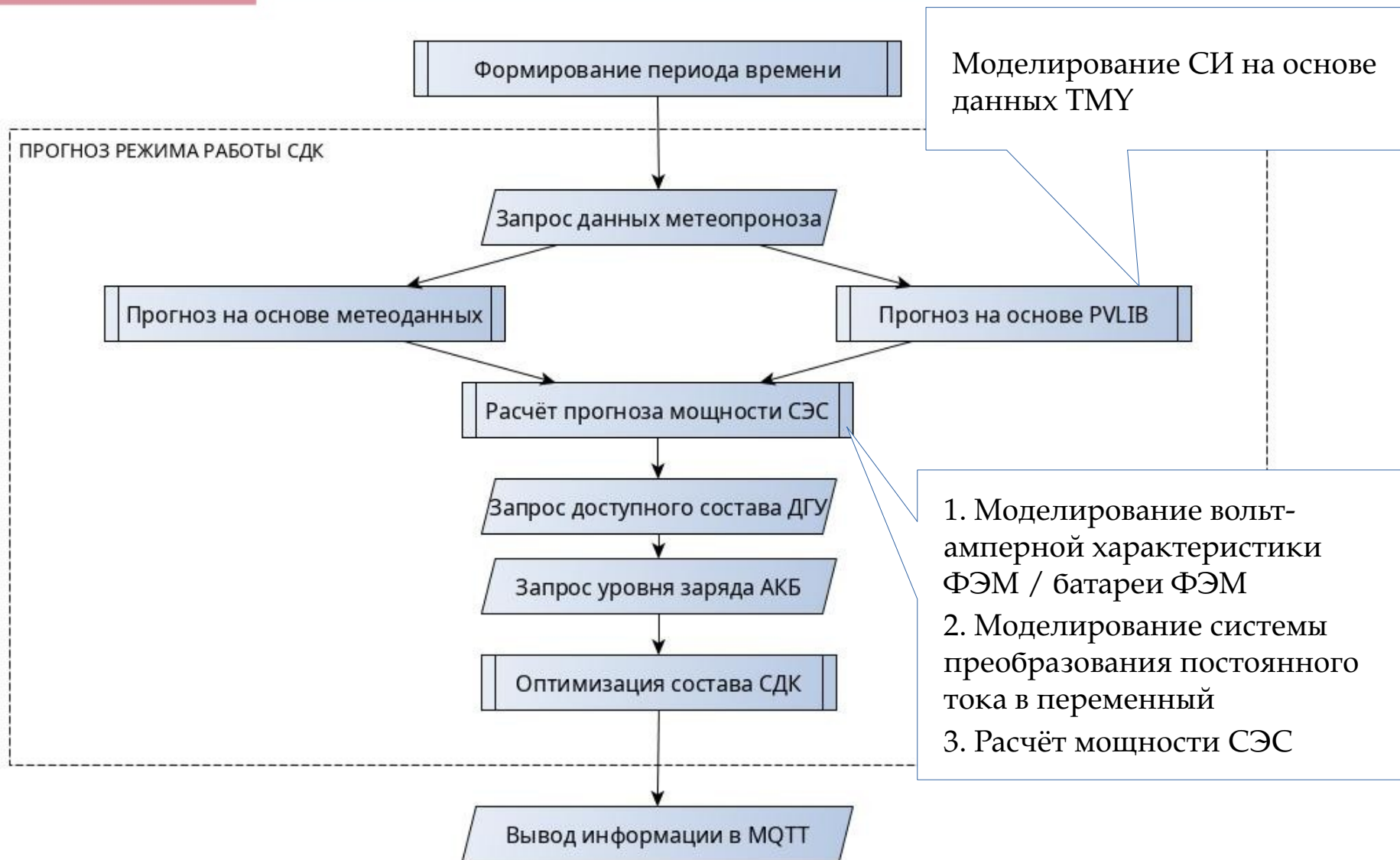
Выходные данные - среднечасовые значения солнечной радиации на следующие 24 часа

Краткосрочное прогнозирование солнечного излучения (период — 1 сутки, интервалы — 1 час)

	MAE, Вт/кв.м	RMSE, Вт/кв.м	nRMSE, %
Построенная модель	123,3	177,9	16,1
“Наивная” инерционная модель	146,4	233,5	21



# Прогнозирование мощности СЭС





## Режим работы СНЭ

$$N_{\text{СЭС}}(t) > P_{\text{нагр}}(t)$$

Во время процесса зарядки, когда суммарная мощность солнечной электростанции превышает потребность в нагрузке:

$$SOC(t) = SOC(t-1) \cdot (1 - \sigma) + \left( N_{\text{СЭС}}(t) - \frac{P_{\text{нагр}}(t)}{\eta_{\text{inv}}} \right)$$

$$N_{\text{СЭС}}(t) < P_{\text{нагр}}(t)$$

Когда потребность в нагрузке больше, чем генерируемая солнечной электростанцией мощность, то аккумуляторная батарея находится в состоянии разряда:

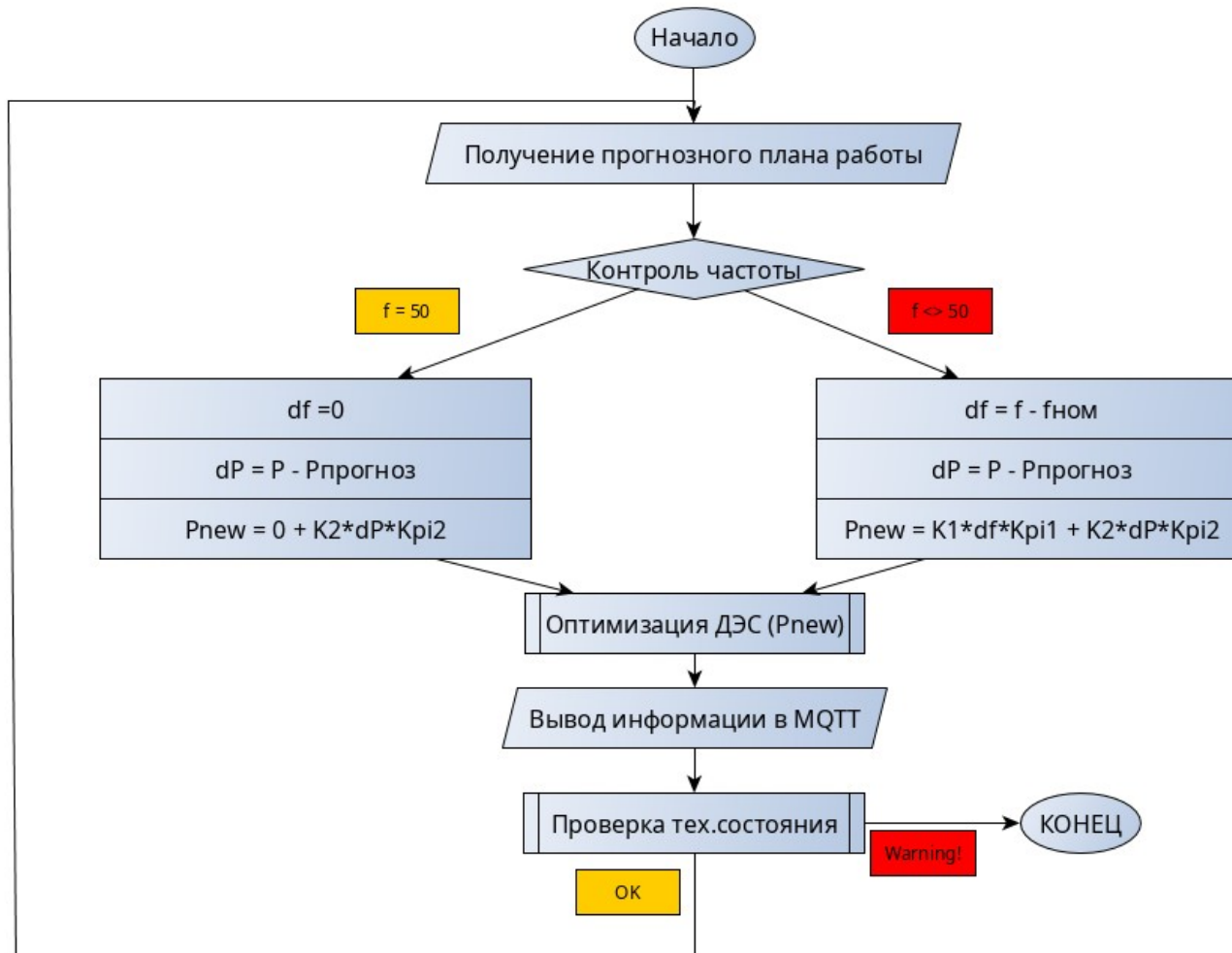
$$SOC(t) = SOC(t-1) \cdot (1 - \sigma) - \left( \frac{P_{\text{нагр}}(t)}{\eta_{\text{inv}}} - N_{\text{СЭС}}(t) \right)$$

В любом случае уровень заряда SOC ограничен:

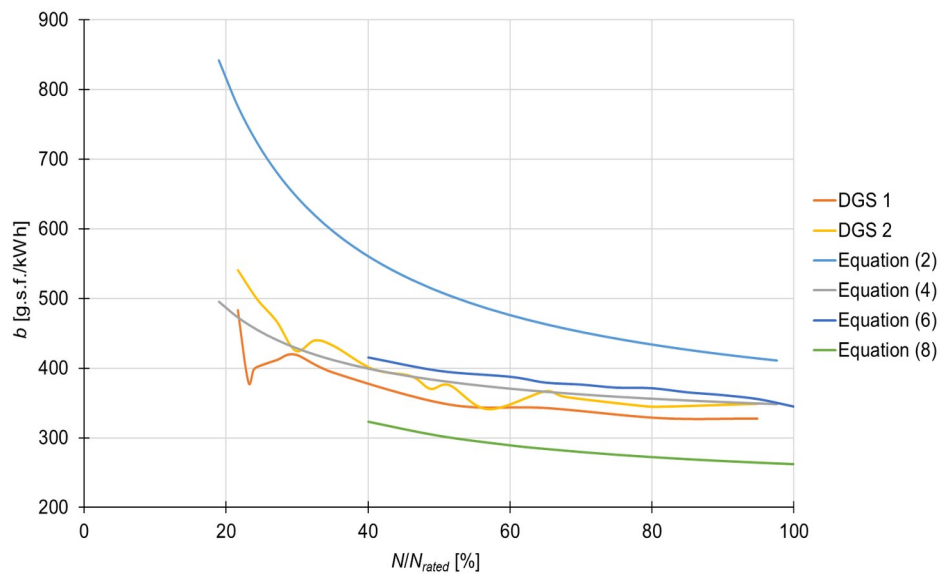
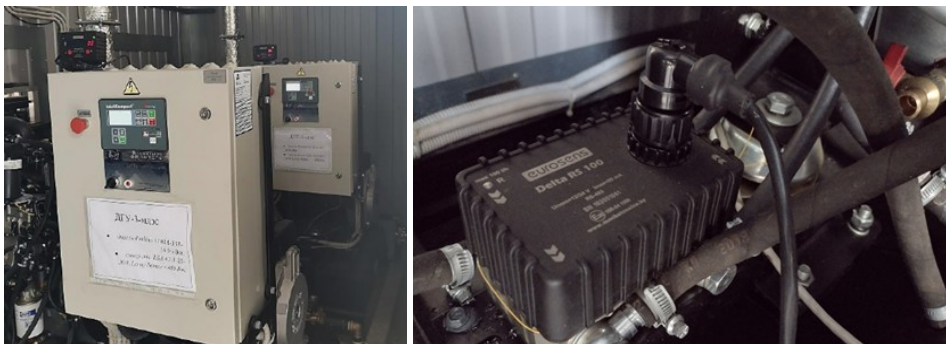
$$SOC_{\min} \leq SOC(t) \leq SOC_{\max}$$

# Алгоритм работы системы ВСВГО

МИКРОСЕРВИС ВЫБОРА СОСТАВА ВКЛЮЧЁННОГО ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ СОЛНЕЧНО-ДИЗЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА



# Внутристанционная оптимизация ДЭС



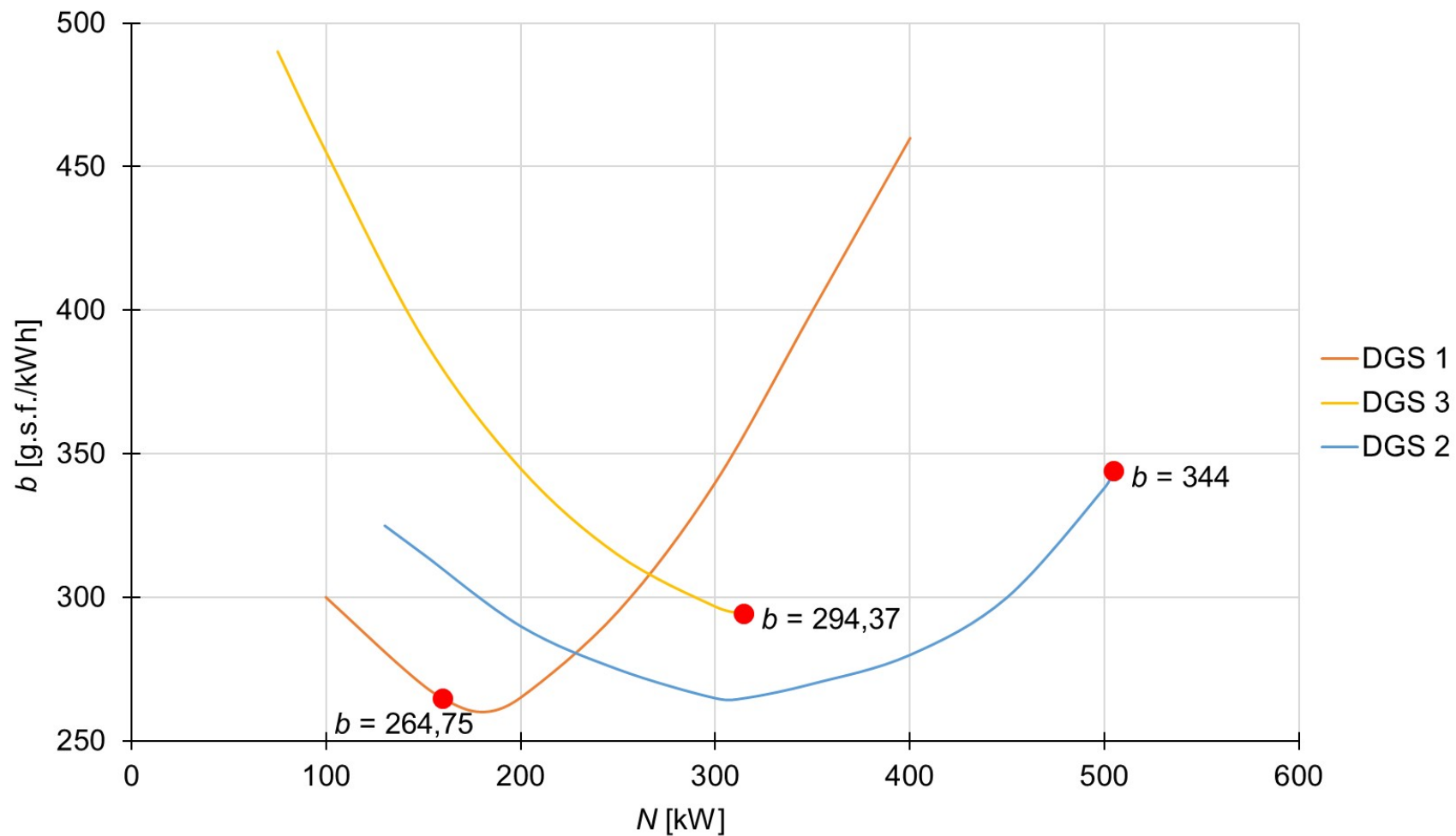
$$b_{s.f.} = 1.45 \cdot \frac{FC_G \cdot \rho}{P_G},$$

$$b_i^{DGS} = b_{rated i}^{DGS} \cdot K_{mode i} \cdot \frac{Q_e^n}{7000},$$

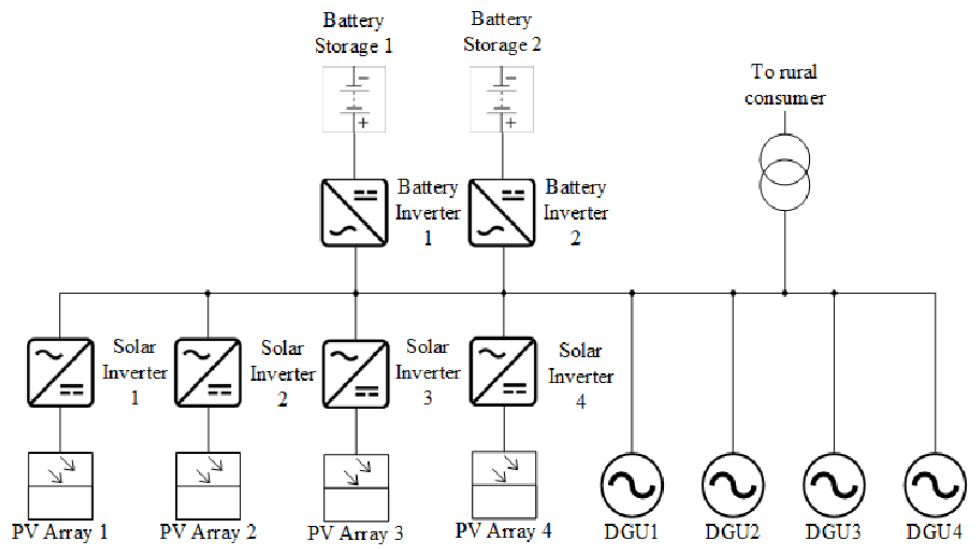
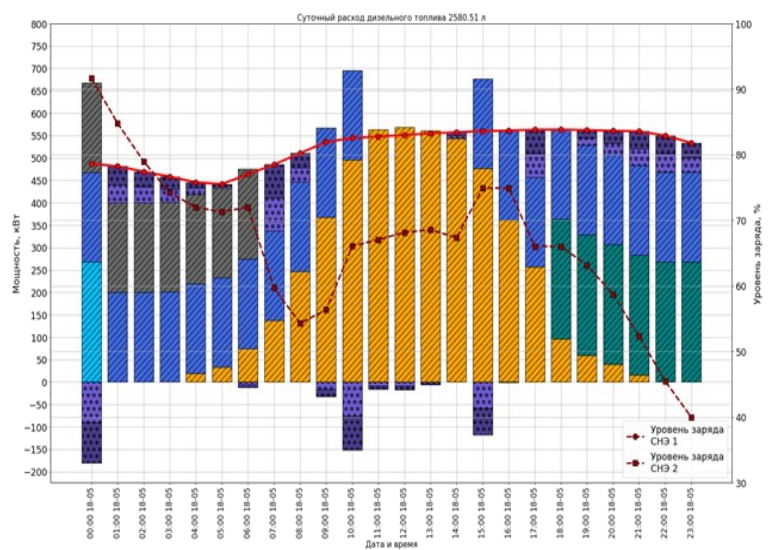
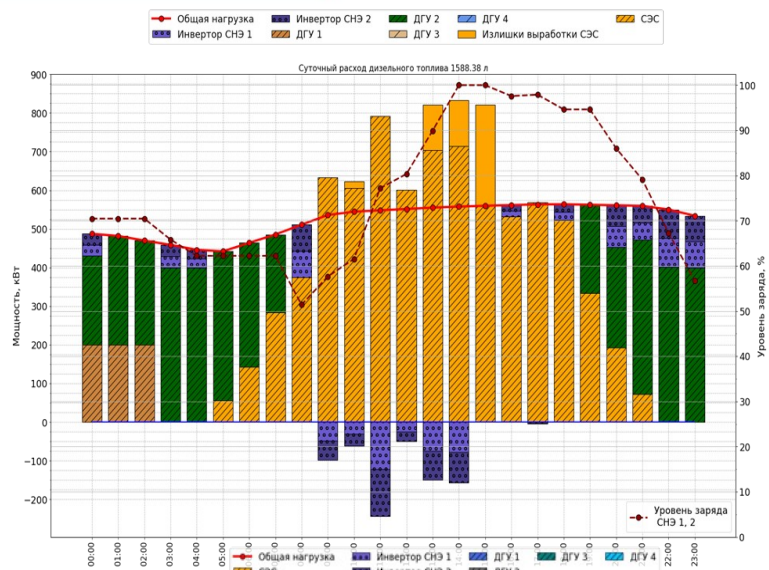
$$b_i^{DGS} = \frac{g_{rated} \cdot H \cdot C \cdot 1.36}{\eta_g} + \frac{B_i}{E},$$

$$b_i^{DGS} = \frac{1.05 \cdot K \cdot g_{rated}}{\eta_g} + \frac{1.05 \cdot K_i \cdot g_{rated} \cdot N_{rated} \cdot 0.15}{E},$$

# Внутристанционная оптимизация ДЭС



# Апробация полученных результатов



# Апробация полученных результатов

ДГУ	Равномерное распределение нагрузки					Оптимальное распределение нагрузки				
	Время работы [ч]	Количество включений [шт.]	Выработка [кВт·ч]	КИУМ [%]	Абсолютный расход, л	Время работы [ч]	Количество включений [шт.]	Выработка [кВт·ч]	КИУМ [%]	Абсолютный расход, л
1	68	18	25404	22.05	7385.35	165	21	39440	34.24	11343.75
2	23	5	8520	7.40	2314.1	109	10	43600	37.85	11749.11
3	51	13	24265	16.20	10373.46	51	13	24305	16.23	7165.94
4	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0
5	135	27	34098	37.59	11579.2	1	1	80	0.09	30.74
6	52	21	15179	16.73	4543.45	3	3	240	0.26	92.22
<b>Итого</b>	<b>397</b>	<b>84</b>	<b>107465</b>	<b>15,11</b>	<b>36196</b>	<b>397</b>	<b>48</b>	<b>107665</b>	<b>15,14</b>	<b>30382</b>

# Спасибо за внимание!

Васьков Алексей Геннадьевич  
e-mail: [VaskovAG@mpei.ru](mailto:VaskovAG@mpei.ru)  
тел.: +7 (495) 362-72-51

