



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

# ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ (ВИЭ) НА ИНЕРЦИЮ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ СИНХРОННОЙ ЗОНЫ. РЕАЛИЗОВАННЫЕ И ПЛАНИРУЕМЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ КОТК

Совместное заседания Рабочей группы по низкоуглеродному развитию электроэнергетики (РГ НУР)  
и Рабочей группы по цифровой трансформации электроэнергетики (РГ ЦТЭ) ЭЭС СНГ  
г. Москва, 18 декабря 2025 года

Начальник службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики  
Сацук Е.И.



### **Влияние частоты электрического тока на процессы, протекающие в энергосистеме**

- частота – единый параметр для синхронно работающих энергосистем;
- влияние частоты на режимы работы энергетического оборудования электростанций (увеличение вибраций, износа турбин при отклонении от номинальных оборотов);
- зависимость величины потребления от частоты (изменение производительности оборудования потребителей и механизмов собственных нужд электростанций);
- возможность возникновения «лавины частоты» в энергосистеме.

### **Частота электрического тока является важнейшим параметром режима энергосистемы**

**Поддержание частоты на уровне близком к номинальному обеспечивает максимальную экономичность работы энергетического оборудования и максимальный запас надежности работы энергосистем**



## СТРАНЫ УЧАСТНИЦЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

3



	Потребление, %
Россия	79,01
Азербайджан	1,77
Грузия	0,90
Кыргызстан	1,07
Беларусь	2,91
Казахстан	8,11
Узбекистан	5,05
Таджикистан	1,18

Ежегодно АО «СО ЕЭС» проводит мониторинг возникших небалансов мощности в синхронной зоне для определения частотных характеристик энергообъединения (ЕЭС). В 2024 году расчетное значение крутизны статической частотной характеристики ЕЭС:

$$\text{СЧХ} = 20052 \text{ МВт/Гц}$$



# ДОПУСТИМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

## Территориально изолированные системы

Допустимое мгновенное отклонение частоты – 0,8 Гц

I синхронная зона



II синхронная зона

Нормальный уровень -  $(50,00 \pm 0,05)$  Гц  
Допустимый уровень -  $(50,00 \pm 0,2)$  Гц

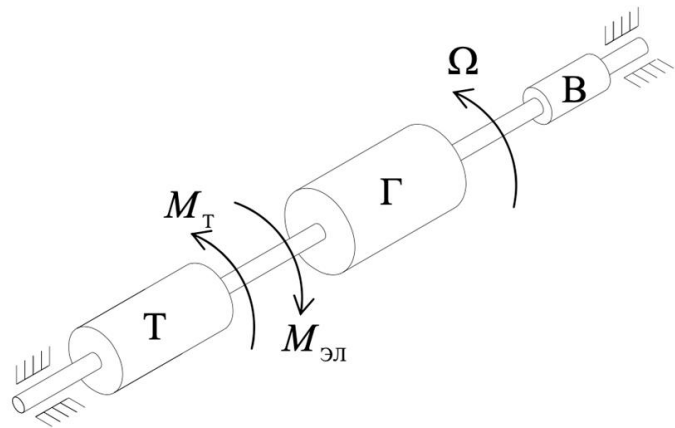
Нормальный уровень -  $(50,00 \pm 0,2)$  Гц  
Допустимый уровень -  $(50,00 \pm 0,4)$  Гц



**Инерционность ЭЭС – это способность ЭЭС «противостоять» изменению частоты, за счёт «сопротивления», оказываемого вращающимися массами**

## Показатели инерции

- Накопленная кинетическая энергия  $E_k$
- Постоянная инерции  $H$  – время, в секундах, в течение которого электрическая машина (генератор или двигатель) израсходует всю кинетическую энергию, запасенную в роторах (генератор-турбина и двигатель-приводимый механизм) и остановится под тормозящим воздействием номинальной мощности  $S$
- Постоянная инерции  $T_j$  – время, в секундах, необходимое для разгона электрической машины из состояния покоя до номинальной скорости вращения под воздействием номинального момента силы



$$H = \frac{T_j \cdot \cos(\varphi_{\text{НОМ}})}{2}$$

$$J_G \frac{d\Omega}{dt} = M_T - M_{\text{эл}},$$



# УСТАНОВЛЕННАЯ МОЩНОСТЬ СЭС И ВЭС В ЕЭС РОССИИ

6

## Установленная мощность ВЭС и СЭС в ЕЭС России (декабрь 2025) (МВт)

	ВЭС	СЭС
<b>ЕЭС России</b>	<b>4248</b>	<b>3032</b>
<b>ОЭС Средней Волги</b>	<b>316</b>	<b>180</b>
Самарская область	231	75
Саратовская область	0	105
Ульяновская область	85	0
<b>ОЭС Урала</b>	<b>2</b>	<b>517</b>
Республика Башкортостан	2	109
Оренбургская область	0	370
Свердловская область	0	38
<b>ОЭС Северо-Запада</b>	<b>207</b>	<b>0</b>
Калининградская область	5	0
Мурманская область	202	0
<b>ОЭС Юга</b>	<b>3722</b>	<b>1754</b>
Астраханская область	340	353
Волгоградская область	107	120
Республика Дагестан	153	16
Республика Калмыкия	219	297
Республика Адыгея и Краснодарский край	150	55
Ростовская область	607	0
Ставропольский край	765	100
<b>ОЭС Сибири</b>	<b>0</b>	<b>581</b>
Алтайский край и Республика Алтай	0	120
Республика Бурятия	0	217
Забайкальский край	0	160
Омская область	0	79
Республика Хакасия	0	5



# ОЦЕНКА УРОВНЯ ИНЕРЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

7

**Постоянная инерции  $H$ : 3,0 сек ... 5,8 сек**

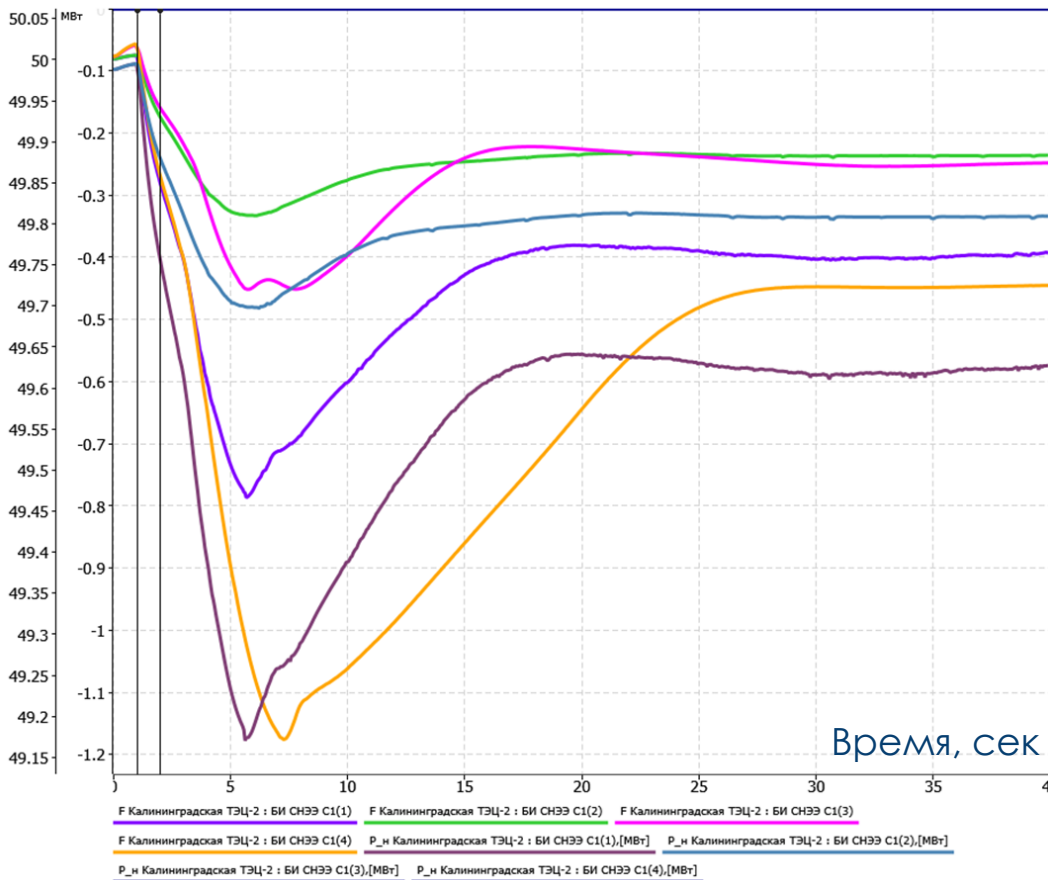
Параметр	Зим. Макс. (1003 МВт)		Летн. мин. (443,7 МВт)	
	Без СНЭЭ	с СНЭЭ	Без СНЭЭ	с СНЭЭ
Эквивалентная постоянная инерции $H_T$ :	4,3	4,1	4,2	3,9
Суммарная кинетическая энергия <sup>2</sup> вращающихся машин $KE_{eq}$ :	7,2 ГВА·сек	6,9 ГВА·сек	4,8 ГВА·сек	4,3 ГВА·сек
Скорость изменения частоты (СИЧ/RoCoF) при отключении энергоблока КТЭЦ-2, Гц/сек	1,3 Гц/сек (225 МВт)	1,36 Гц/сек (225 МВт)	1,72 Гц/сек (128 МВт)	1,85 Гц/сек (128 МВт)



# ИЗМЕНЕНИЕ ЧАСТОТЫ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ УЧАСТИИ СНЭЭ В ОПРЧ

8

Частота, Гц



## Изменение частоты:

### Без СНЭЭ

**Розовый** – отключение блока на Приморской ТЭС (40 МВт)

**Жёлтый** – отключение блока на МТЭС (80 МВт)

### с СНЭЭ

**Зелёный** – отключение блока на Приморской ТЭС (40 МВт)

**Фиолетовый** – отключение блока на МТЭС (80 МВт)

## Изменение мощности модуля СНЭЭ (2,5 МВт):

**Голубой** – при отключении блока на Приморской ТЭС (40 МВт)

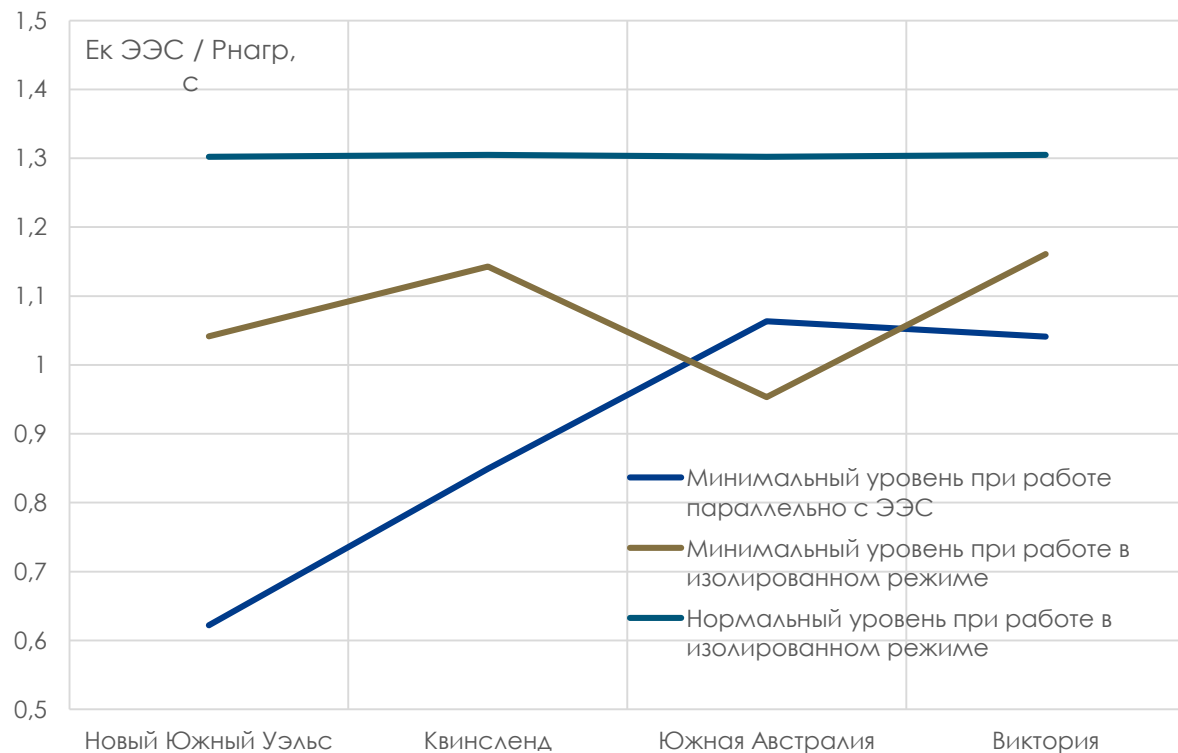
**Коричневый** – при отключении блока на МТЭС (80 МВт)





# ТРЕБОВАНИЯ К ИНЕРЦИОННОСТИ В АВСТРАЛИИ

## Требования к инерционности энергорайонов входящих в ЭЭС Австралии



**В ЭС Южной Австралии средняя постоянная инерции  $H$  составляет 1,6 сек, минимальное значение 0,14 сек**



# ТРЕБОВАНИЯ К ИНЕРЦИОННОМУ ОТКЛИКУ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ

10

Страна	Инерционный отклик
США	<ul style="list-style-type: none"><li>- СИЧ: <math>\leq 5</math> Гц/с</li><li>- требование к времени отклика отсутствует</li><li>- требование к <math>T_j</math> отсутствует</li></ul>
Великобритания	<ul style="list-style-type: none"><li>- СИЧ: <math>\leq 2</math> Гц/с</li><li>- время инерционного отклика <math>\leq 5</math> мс</li><li>- требование к <math>T_j</math> отсутствует</li></ul>
Австралия	<ul style="list-style-type: none"><li>- СИЧ: <math>\leq 4</math> Гц/с</li><li>- время инерционного отклика <math>\leq 5</math> мс</li><li>- требование к <math>T_j</math> отсутствует</li></ul>
Китай	<ul style="list-style-type: none"><li>- требование к СИЧ отсутствует</li><li>- время инерционного отклика <math>\leq 0,5</math> с</li><li>- постоянная времени инерции <math>T_j = 2-16</math> с</li></ul>
Финляндия	<ul style="list-style-type: none"><li>- СИЧ: <math>\leq 2</math> Гц/с</li><li>- время инерционного отклика <math>\leq 5</math> мс</li><li>- требование к <math>T_j</math> отсутствует</li></ul>

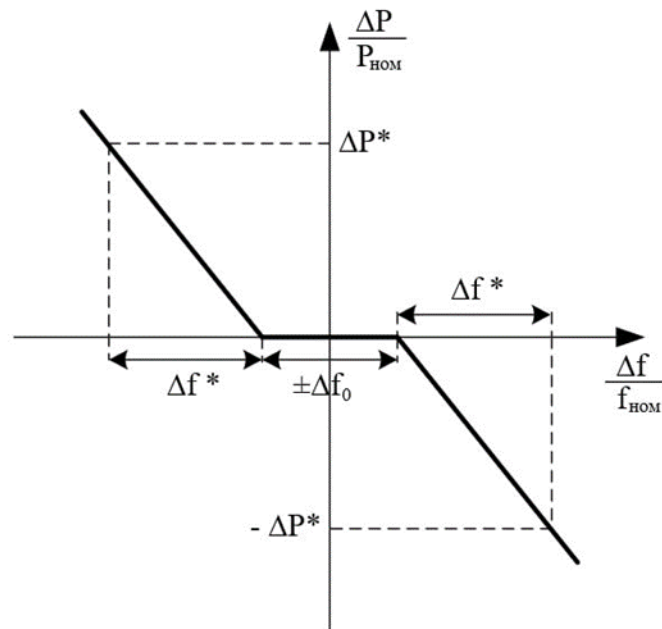


- Основные технические требования к объектам генерации, функционирующим на основе возобновляемых источников энергии, работающим в составе энергосистем (в части солнечной и ветровой генерации)
- ГОСТ Р 58491-2019 Технические требования к объектам генерации на базе ветроэнергетических установок
- ГОСТ Р 70787-2023 Технические требования к фотоэлектрическим солнечным станциям



На объектах генерации ВИЭ должна быть обеспечена возможность снижения выдаваемой в электрическую сеть активной мощности с целью участия в ОПРЧ при увеличении частоты.

Участие объектов генерации ВИЭ в ОПРЧ должно осуществляться путем снижения мощности группы или совокупности групп ВЭУ или ФЭМ (подключенных к одному преобразовательному устройству), присоединенных к одному РУ, средствами регулирования активной мощности генерирующего или преобразовательного оборудования, либо посредством автоматического отключения в соответствии с техническими решениями, принятыми при проектировании.





**Необходимость установки системы накопления электрической энергии (СНЭЭ) на объекте генерации ВИЭ определяется следующими положениями:**

- В случае, если прогнозная величина установленной мощности объектов генерации ВИЭ в энергорайоне превышает заданное граничное значение, все вновь вводимые в данном энергорайоне объекты генерации ВИЭ (ВЭС и СЭС), работающие в составе энергосистемы, должны быть оснащены СНЭЭ. Установленная мощность СНЭЭ должна находиться в диапазоне 30-50% от установленной мощности электростанции (ВЭС, СЭС). Выдача максимальной мощности СНЭЭ должна обеспечиваться после завершения полного цикла накопления в течение не менее 2 часов.
- Для определения заданного граничного значения установленной мощности ВЭС и СЭС субъект оперативно-диспетчерского управления должен выполнить анализ покрытия прогнозных почасовых суточных графиков потребления энергорайона, сформированных на основе показателей перспективных балансов мощности энергорайона.



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

[www.so-ups.ru](http://www.so-ups.ru)  
Официальный  
сайт



[https://t.me/so\\_ups\\_official](https://t.me/so_ups_official)  
Официальный  
телеграм-канал

