



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.

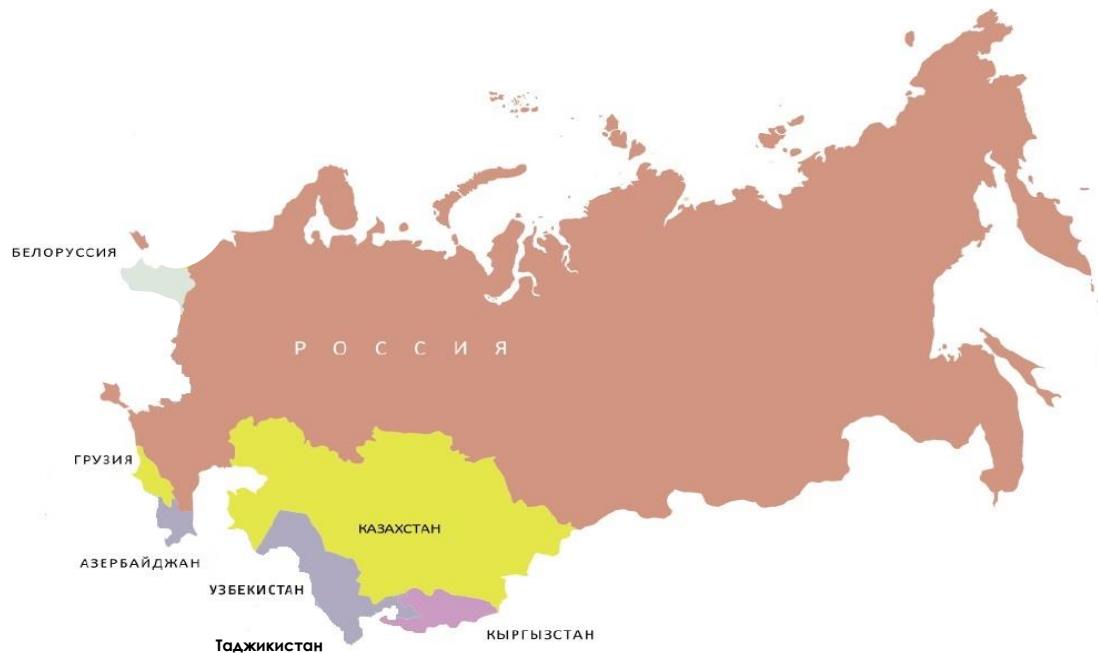
**Частота электрического тока является важнейшим параметром режима энергосистемы**

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



# СТРАНЫ УЧАСТИЦЫ 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

4

**Допустимое мгновенное  
отклонение частоты – 0,8 Гц**

## Территориально изолированные системы

I синхронная зона



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

II синхронная зона

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

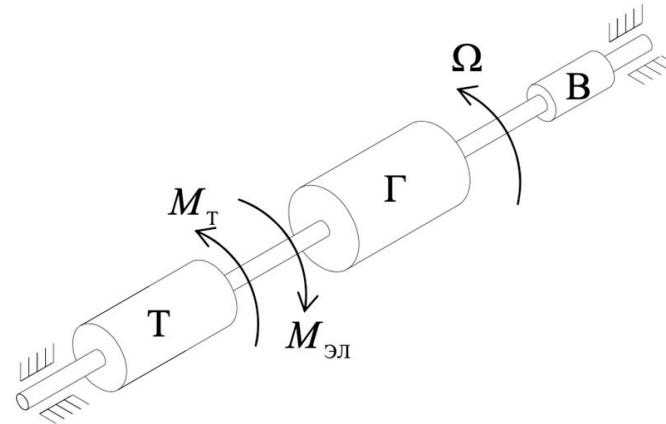


**Инерционность ЭЭС – это способность ЭЭС «противостоять» изменению частоты, за счёт «сопротивления», оказываемого вращающимися массами**

## 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 действием номинальной мощности  $S$
- Постоянная инерции  $Tj$  – время, в секундах, необходимое для разгона электрической машины из состояния покоя до номинальной скорости вращения под действием 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

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           |



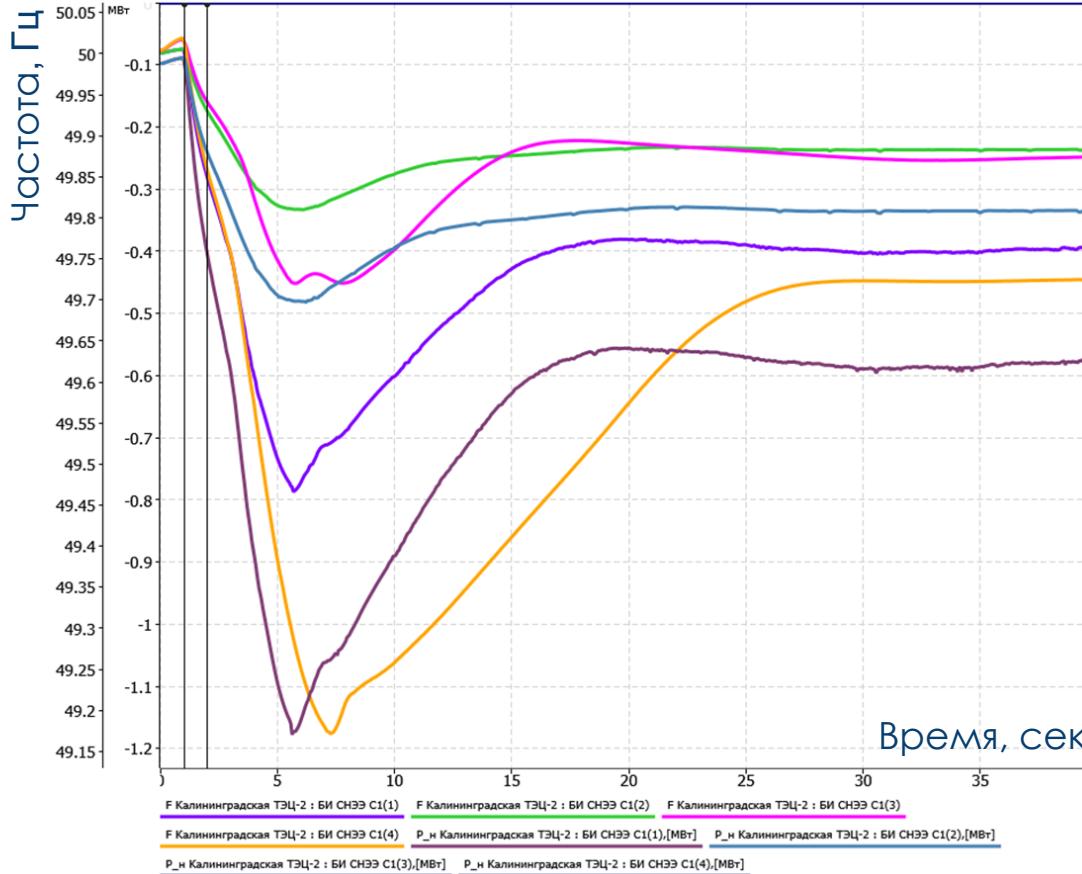
# ОЦЕНКА УРОВНЯ ИНЕРЦИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

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<br>постоянная инерции $H_T$ :  | 4,3                   | 4,1               | 4,2                    | 3,9               |
| Суммарная кинетическая<br>энергия <sup>2</sup> вращающихся<br>машин $KE_{eq}$ :        | 7,2<br>ГВА·сек        | 6,9<br>ГВА·сек    | 4,8<br>ГВА·сек         | 4,3<br>ГВА·сек    |
| Скорость изменения частоты<br>(СИЧ/RoCoF) при отключении<br>энергоблока КТЭЦ-2, Гц/сек | 1,3<br>(225 МВт)      | 1,36<br>(225 МВт) | 1,72<br>(128 МВт)      | 1,85<br>(128 МВт) |



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



## 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):

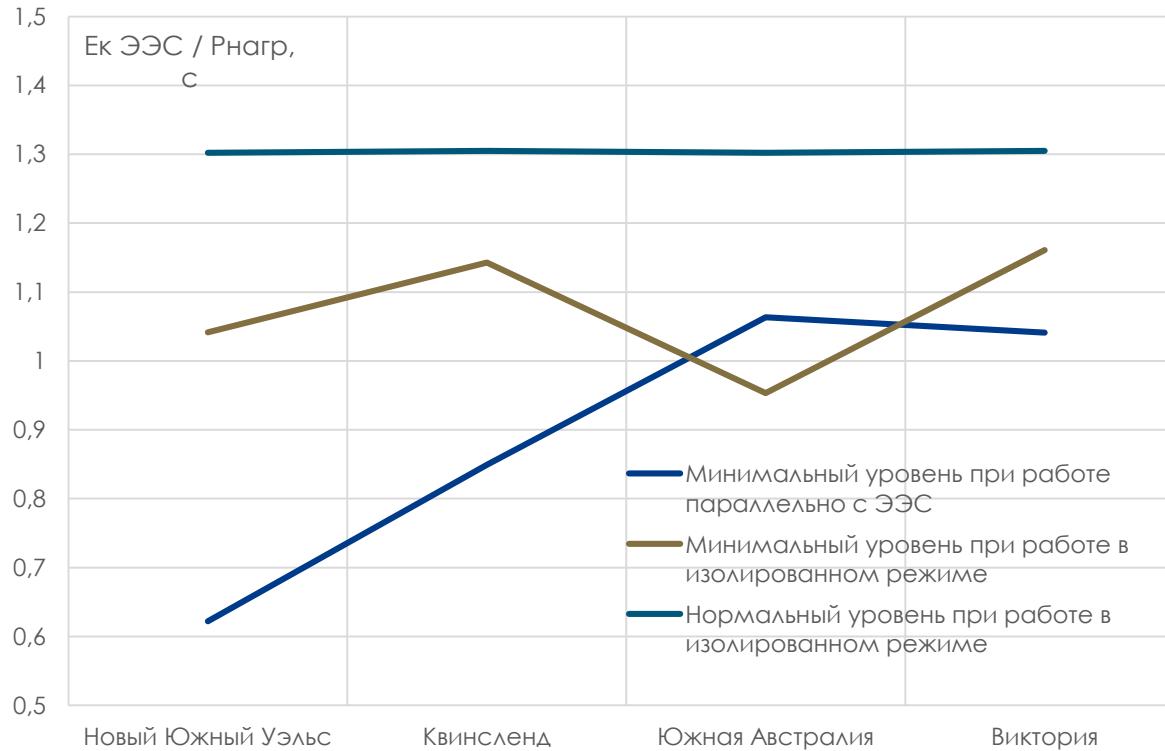
**Голубой** – при отключении блока на Приморской ТЭС (40 МВт)

**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

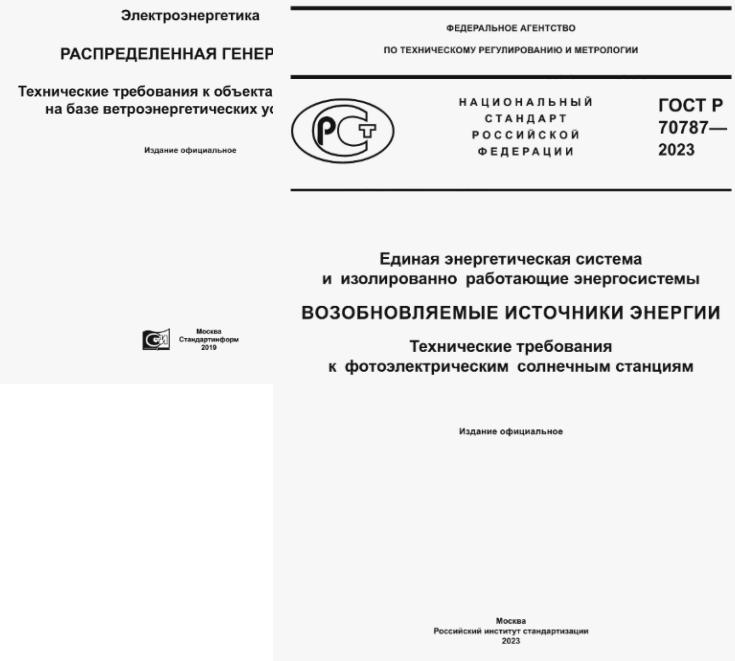


# ТРЕБОВАНИЯ К ИНЕРЦИОННОМУ ОТКЛИКУ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ

| 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>            |



# ТРЕБОВАНИЯ К ВИЭ



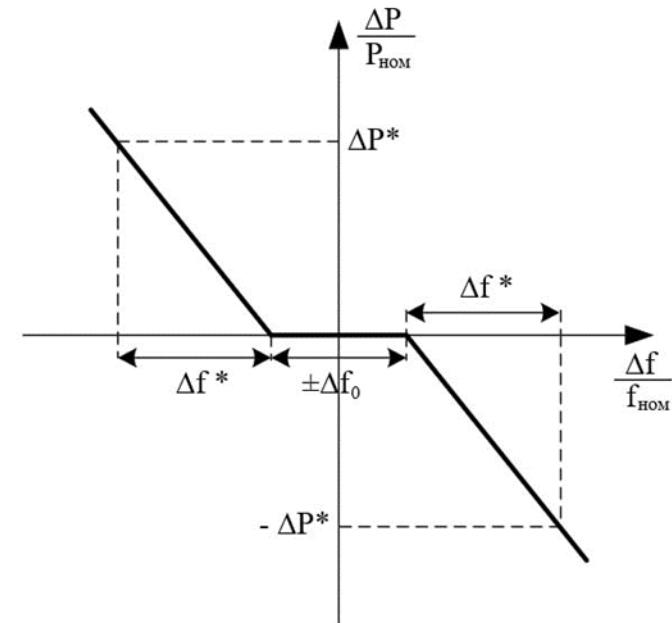
- **Основные технические требования к объектам генерации, функционирующим на основе возобновляемых источников энергии, работающим в составе энергосистем (в части солнечной и ветровой генерации)**
- **ГОСТ Р 58491-2019 Технические требования к объектам генерации на базе ветроэнергетических установок**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



## ТРЕБОВАНИЯ К УЧАСТИЮ ВИЭ В ОПРЧ

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.





## ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ СНЭЭ НА ВИЭ

**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

