

## Справка о натуральных системных испытаниях 26.10.2016

В процессе натуральных испытаний проведены два эксперимента по созданию кратковременных небалансов мощности по командам диспетчера ЦДУ.

Во время проведения испытаний в режиме НПРЧ работали 36 единиц генерирующего оборудования, расположенных на 19 станциях с размещенным суммарным резервом НПРЧ в объеме  $\pm 766,582$  МВт и величиной «мертвой полосы» первичного регулирования  $50,00 \pm 0,02$  Гц.

В период проведения указанных экспериментов:

- отключалось автоматическое вторичное регулирование частоты и потоков активной мощности;
- оперативному персоналу станций запрещалось вмешиваться в работу регуляторов первичной мощности блоков/агрегатов.

### Эксперимент №1

Дефицит мощности в объеме 1403 МВт создан путем одновременного отключения восьми гидроагрегатов Жигулевской ГЭС с нагрузкой 802 МВт и одного гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС с нагрузкой 601 МВт.

Квазиустановившееся значение частоты перед небалансом составляло 49,968 Гц, квазиустановившееся значение частоты (среднее за 20 секунд на интервале от 10 до 30 секунды после небаланса) составило 49,925 Гц (отклонение 0,043 Гц).

При создании дефицита активной мощности в 1-й синхронной зоне ЕЭС России произошло скачкообразное уменьшение частоты до величины 49,9186 Гц. Максимальная величина понижения частоты от начала проведения эксперимента составила 0,0508 Гц.

Требуемая суммарная первичная мощность на загрузку генерирующего оборудования, участвующего в НПРЧ, составила 305,782 МВт. Фактическая суммарная первичная мощность на загрузку составила 309,976 МВт, что соответствует 101,97% от требуемой.

**Расчет частотных характеристик ОЭС/ЭС энергообъединения, при возникновении запланированных небалансов мощности.**

**Расчёт на 10 секунду**

|   |                  |
|---|------------------|
| Расчетная величина небаланса                                | 1347 МВт         |
| Величина изменения частоты сети                             | 0,043 Гц         |
| Крутизна СЧХ ОЭС 1-й синхронной зоны                        | 25 365,83 МВт/Гц |
| Крутизна СЧХ ЕЭС  | 31 252,94 МВт/Гц |
| % Отношение крутизны ОЭС 1-й синхр. зоны / крутизне СЧХ ЕЭС | 81 %             |

**Расчёт на 120 секунду**

|   |                  |
|---|------------------|
| Расчетная величина небаланса                                | 1111,66 МВт      |
| Величина изменения частоты сети                             | 0,038 Гц         |
| Крутизна СЧХ ОЭС 1-й синхронной зоны                        | 23 605,23 МВт/Гц |
| Крутизна СЧХ ЕЭС  | 29 409,04 МВт/Гц |
| % Отношение крутизны ОЭС 1-й синхр. зоны / крутизне СЧХ ЕЭС | 80 %             |

**Эксперимент №2**

Избыток мощности в объеме 1485 МВт создан путем одновременной быстродействующей загрузки 14 гидроагрегатов Жигулевской ГЭС на 895 МВт и 6 гидроагрегатов Саяно-Шушенской ГЭС на 590 МВт.

Процесс увеличения мощности происходил с недостаточной динамикой и занял примерно 60 секунд, в связи с этим изменение частоты  $\Delta f$  находим как разность квазиустановившегося значения частоты перед небалансом на интервале от 13:44:34-13:44:53 = 49,990 Гц и квазиустановившемся значении частоты после небаланса на интервале от 13:45:43 до 13:46:03 = 50,062 Гц (отклонение 0,072 Гц).

При создании избытка активной мощности в 1-й синхронной зоне ЕЭС России максимальное отклонение от величины мертвой полосы составило 0,06 Гц. Скачкообразное отклонение частоты не зафиксировано. Проведена оценка реакции генерирующего оборудования, участвующего в НПРЧ, при работе в следящем режиме.

Требуемая суммарная первичная мощность на разгрузку генерирующего оборудования, участвующего в НПРЧ, составила 360,679 МВт. Фактическая суммарная первичная мощность на разгрузку составила 360,74 МВт, что соответствует 100,47% от требуемой.

**Расчет частотных характеристик ОЭС/ЭС энергообъединения, при возникновении запланированных небалансов мощности.**

**Расчёт на 10 секунду**

|   |                  |
|---|------------------|
| Расчетная величина небаланса                                | 793,93 МВт       |
| Величина изменения частоты сети                             | 0,043 Гц         |
| Крутизна СЧХ ОЭС 1-й синхронной зоны                        | 11 497,92 МВт/Гц |
| Крутизна СЧХ ЕЭС  | 18 571,36 МВт/Гц |
| % Отношение крутизны ОЭС 1-й синхр. зоны / крутизне СЧХ ЕЭС | 62 %             |

**Расчёт на 60 секунду**

|   |                 |
|---|-----------------|
| Расчетная величина небаланса                                | 1519,56 МВт     |
| Величина изменения частоты сети                             | 0,072 Гц        |
| Крутизна СЧХ ОЭС 1-й синхронной зоны                        | 15462,70 МВт/Гц |
| Крутизна СЧХ ЕЭС  | 20973,85 МВт/Гц |
| % Отношение крутизны ОЭС 1-й синхр. зоны / крутизне СЧХ ЕЭС | 74 %            |

**Расчёт на 240 секунду**

|   |                 |
|---|-----------------|
| Расчетная величина небаланса                                | 1461,12 МВт     |
| Величина изменения частоты сети                             | 0,085 Гц        |
| Крутизна СЧХ ОЭС 1-й синхронной зоны                        | 17031,01 МВт/Гц |
| Крутизна СЧХ ЕЭС  | 17159,34 МВт/Гц |
| % Отношение крутизны ОЭС 1-й синхр. зоны / крутизне СЧХ ЕЭС | 0,99 %          |

Усредненное значение крутизны СЧХ потребителей, рассчитанное классическим способом на основании данных генерации и сальдо перетоков в обоих опытах на интервалах времени 30...180 сек. близки по величине и равны соответственно 6290 МВт/Гц и 6160 МВт/Гц

|                             | Эксперимент №1               | Эксперимент №2               |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                             | Дефицит мощности             | Избыток мощности             |
|                             | МВт/Гц                       | МВт/Гц                       |
| СЧХ ЕЭС                     | 31252,94                     | 20973,85                     |
| СЧХ 1-й синхронной зоны ЕЭС | 25365,83<br><b>(81,163%)</b> | 15462,70<br><b>(73,723%)</b> |

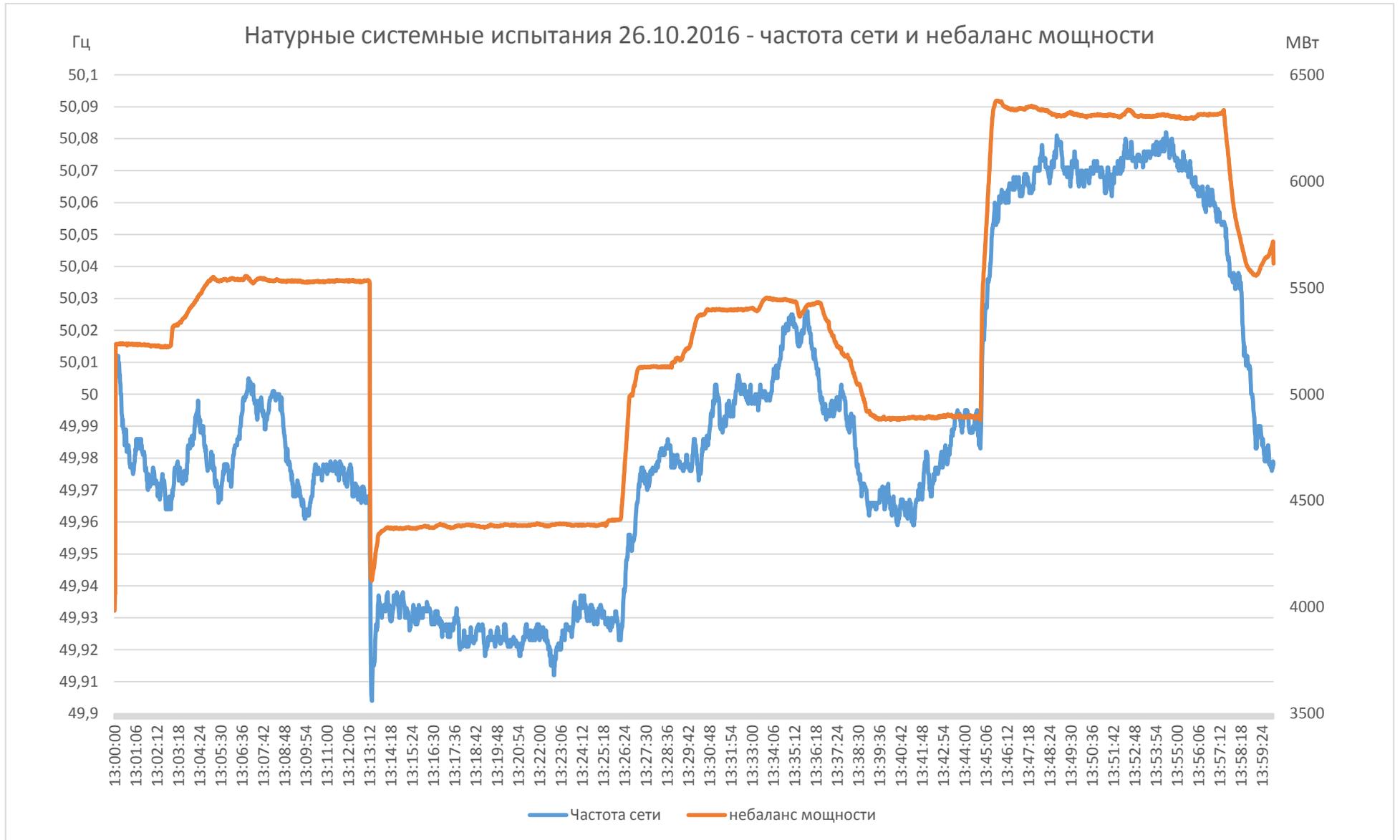
**Коэффициент участия 1-й синхронной зоны ЕЭС России исходя из расчётов параметров регулирования частоты и перетоков для энергосистем стран СНГ и Балтии на 2016 год - 69,687%**

В результате анализа данных расчетов было выявлено, что наиболее эффективным в первичном регулировании частоты закономерно показало себя генерирующее оборудование, выделенное для участия в НПРЧ. Установленная мощность ГО НПРЧ составляет 11,6% от мощности всего ГО ЕЭС и обеспечивает порядка 30% вклада в СЧХ ЕЭС. Самыми низкоэффективными в первичном регулировании частоты показали себя АЭС.

Вклад в СЧХ всего ГО 1-й синхронной зоны ЕЭС России, за исключением ГО, за счет которых наносили возмущение, составлял:

в 1-м опыте = 926 МВт (0,78% от суммарной мощности)

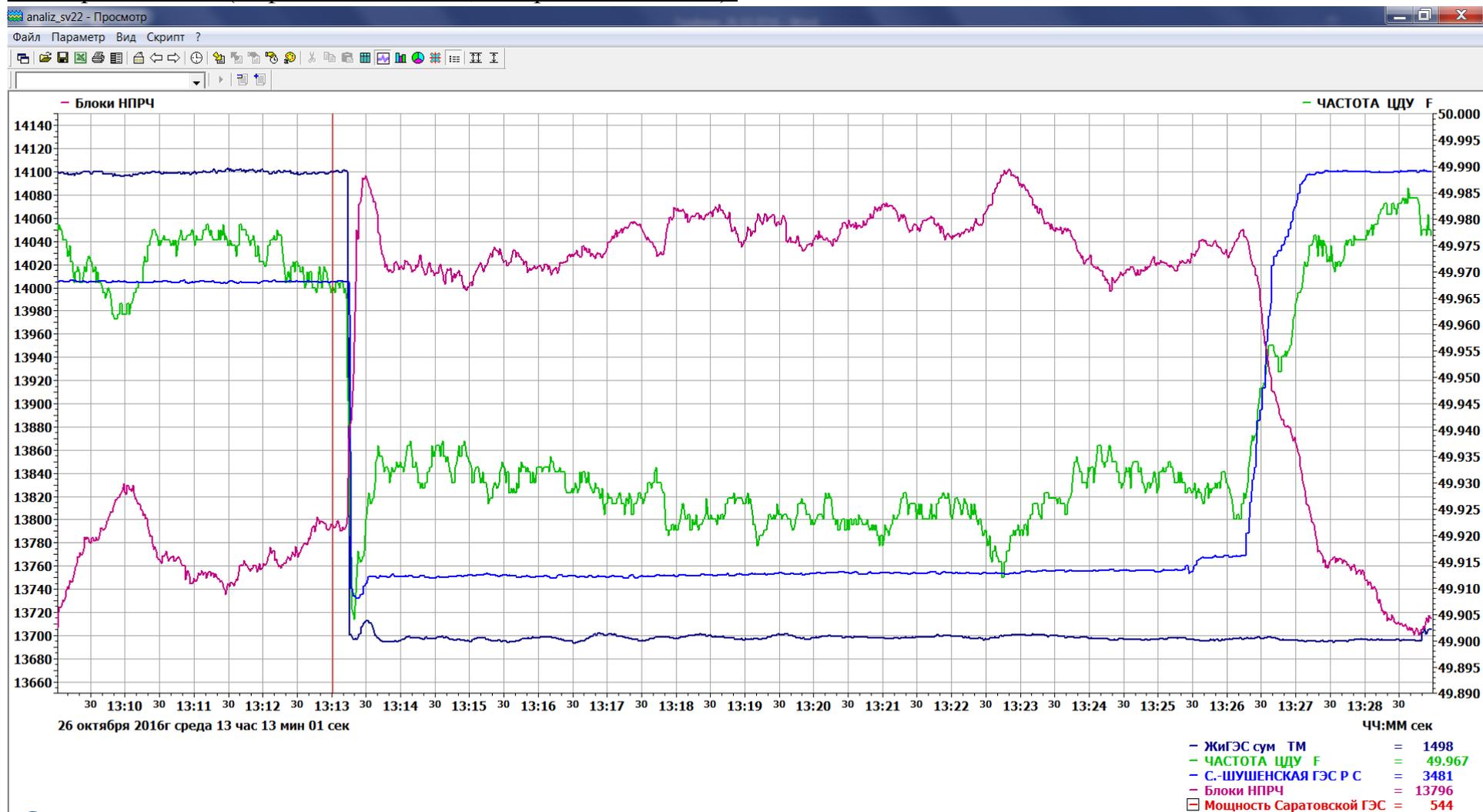
во 2-м опыте = -720 МВт (0,62% от суммарной мощности)



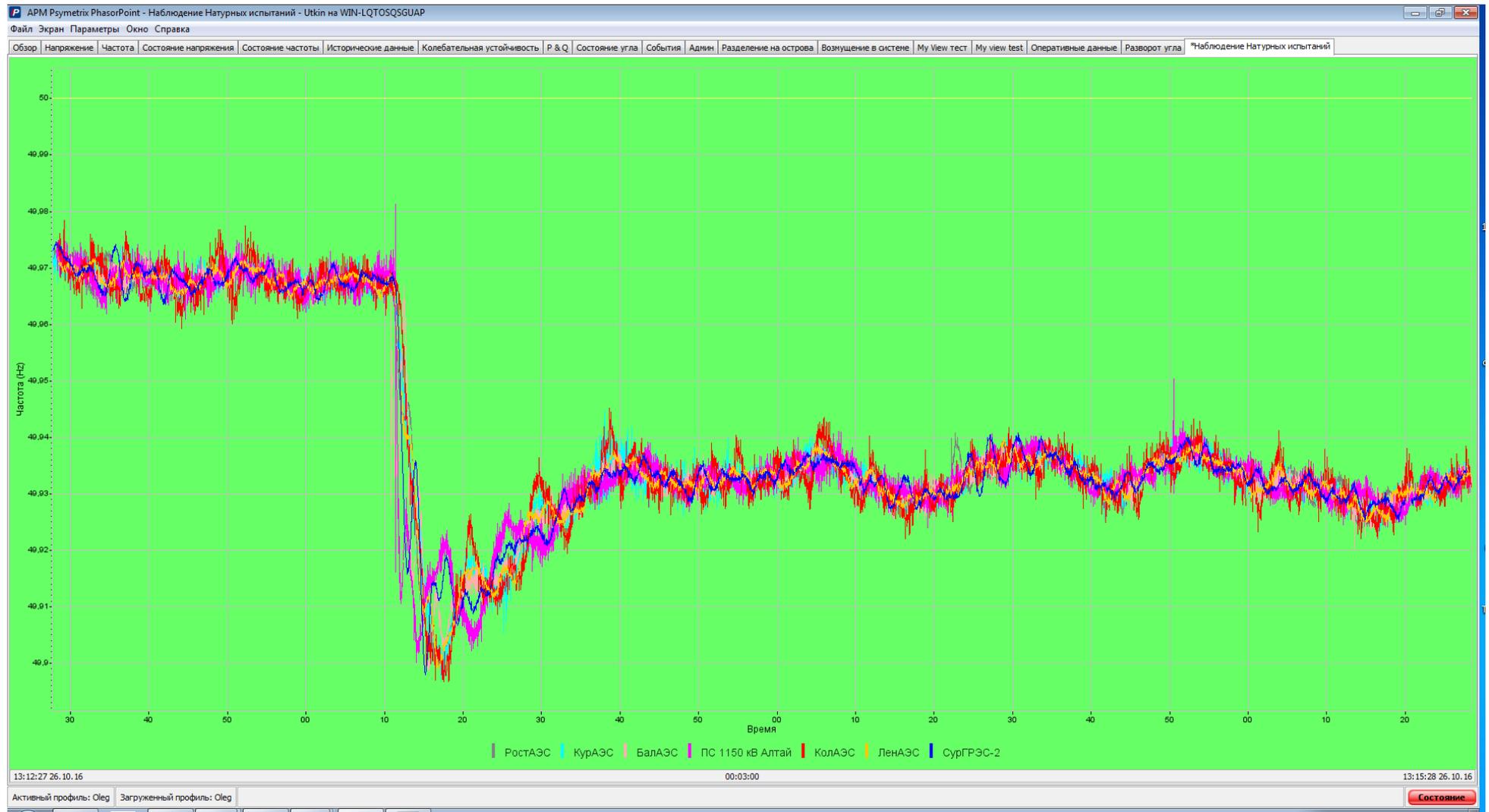
Графики ОИК: зеленый – частота, темно-синий – мощность Жигулевской ГЭС, синий – мощность Саяно-Шушенской ГЭС, малиновый – суммарная мощность блоков НПРЧ.

Шаг регистрации 1 секунда, длина кадра – 20 минут.

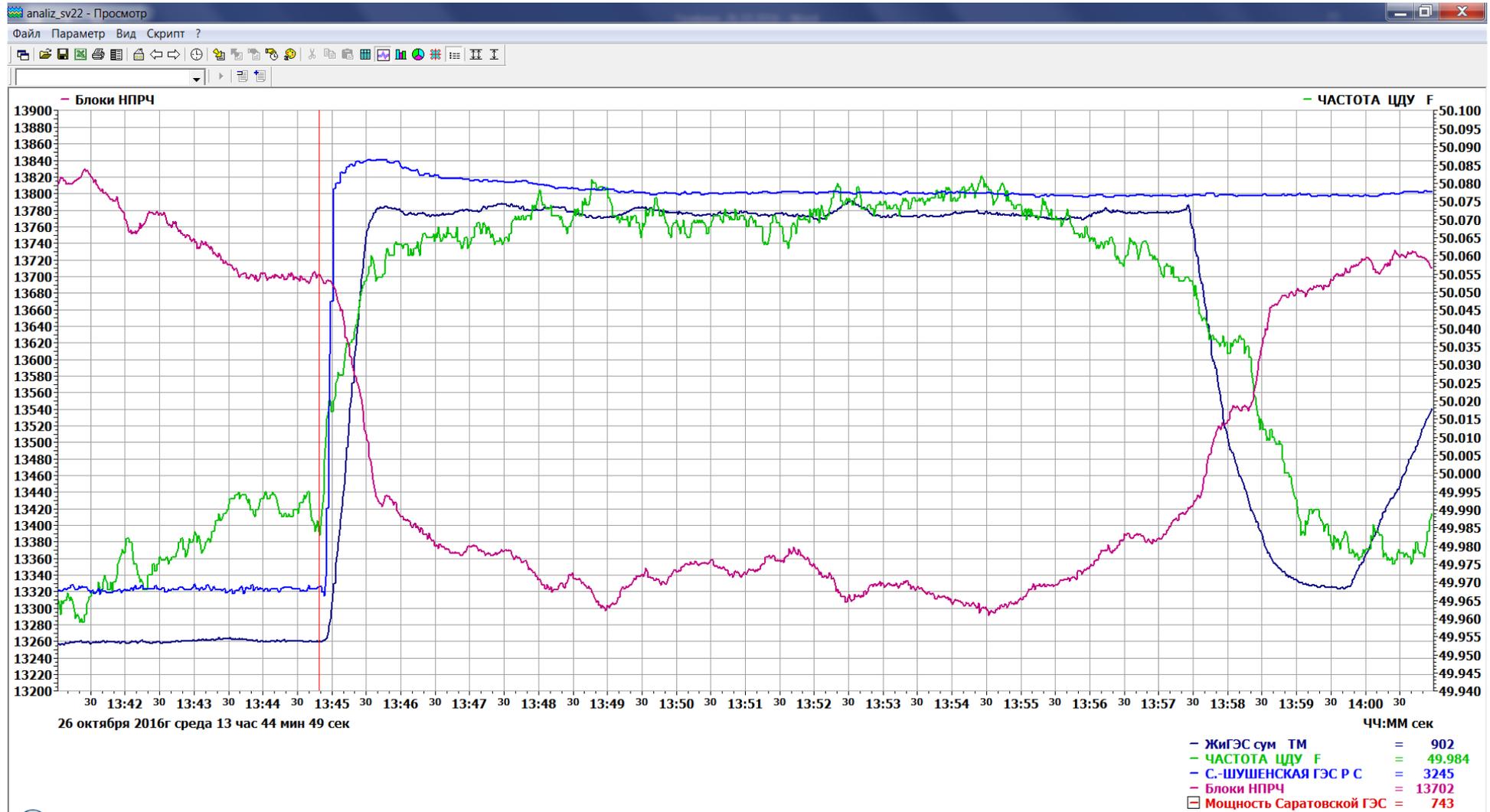
Эксперимент №1 (дефицит в 13:13:15, завершение в 13:28):



Графики частоты с регистраторов СМПП, установленных на объектах в разных частях ЕЭС России (ОЭС Сибири, ОЭС Урала, ОЭС Средней Волги, ОЭС Центра, ОЭС Юга и ОЭС Северо-Запада):



Эксперимент №2 (избыток в период с 13:44:55 до 13:45:35 (40 секунд), завершение в 13:59):



## Графики с регистраторов СМПР:

