**Описание эквивалентных схем для решения задач по оценке состояния и расчета запаса статической устойчивости в рамках реализации WACS**

По полной модели ЕЭС Казахстана были разработаны две эквивалентные модели согласно существующей структуре WAMS (дополнительно приложена схема по размещению устройств PMU).

*Первая эквивалентная модель состоит из 16 узлов ПС-500 кВ, вторая – из 20 узлов.*

1. По схеме из 16 узлов участки сети, фактически неконтролируемые существующей системой WAMS:
2. Л-5107 «Экибастузкая - ЭГРЭС-1» не контролируется PMU по обеим концам линии;
3. Л-5117 «Экибастузкая - ЭГРЭС-1» не контролируется PMU по обеим концам линии;
4. Л-5143 «Шу-Фрунзе» не контролируется PMU со стороны ПС Фрунзе;
5. Л-5159 «Жамбыл-Фрунзе» не контролируется PMU со стороны ПС Фрунзе;
6. Л-5019 «Шымкент-ТашТЭС» не контролируется PMU со стороны ТашТЭС.

**II.** По схеме из 20 узлов участки сети, фактически неконтролируемые существующей системой WAMS:

1) Л-5107 «Экибастузкая - ЭГРЭС-1» не контролируется PMU по обеим концам линии;

2) Л-5117 «Экибастузкая - ЭГРЭС-1» не контролируется PMU по обеим концам линии;

3) Л-5143 «Шу-Фрунзе» не контролируется PMU со стороны ПС Фрунзе;

4) Л-5159 «Жамбыл-Фрунзе» не контролируется PMU со стороны ПС Фрунзе;

5) Л-5019 «Шымкент-ТашТЭС» не контролируется PMU со стороны ТашТЭС;

1. Л-5527 «ЕЭК-Рубцовск» не контролируется PMU по обеим концам линии;
2. Л-5017 «ЭГРЭС-1-ЕЭК» не контролируется PMU со стороны ПС ЕЭК;
3. Л-5544 «Усть-Каменогорск-Рубцовск» не контролируется PMU со стороны ПС Рубцовск.
4. Л-1104 «Экибастузкая-Алтай» не контролируется PMU со стороны ПС Алтай.

В обеих эквивалентных схемах базовым узлом принята ПС Экибастузкая-1150.

Диапазон регулирования реактивной мощности задан исходя из наличия на ПС УШР и присоединенных к ним электростанций способных регулировать напряжение на шинах 500 кВ. Нагрузки и перетоки мощности выставлены согласно полной модели ЕЭС Казахстана.

Состав работающих реакторов на подстанциях при расчетах электрических режимов принят следующим образом (на ПС Нура ШР откл.):

1. Нормальная схема:

* ПС Агадырь - 2 ШР, 2 УШР:
* ПС ЮКГРЭС - 2 ШР, 1 УШР;
* ПС Алматы - 1 ШР;
* ПС Алма - 1 УШР, 1 ШР;
* ПС Семей - 1 ШР, 1 УШР.

1. Отключена ВЛ Семей-Актогай (Актогай-Талдыкорган):

* ПС Агадырь - 0 ШР, 2 УШР;
* ПС ЮКГРЭС - 1 ШР, 1 УШР;
* ПС Алматы - 1 ШР;
* ПС Алма - 1 УШР, 1 ШР;
* ПС Семей - 1 ШР, 1 УШР.

1. Отключена Л-5300 (Л-5320) ЮКГРЭС-Агадырь:

* ПС Агадырь - 1 ШР, 2 УШР;
* ПС ЮКГРЭС - 1 ШР, 1 УШР;
* ПС Алматы - 1 ШР;
* ПС Алма - 1 УШР, 1 ШР;
* ПС Семей - 1 ШР, 1 УШР.

1. Отключена Л-5170 Экибастузская-Агадырь:

* ПС Агадырь - 0 ШР, 2 УШР;
* ПС ЮКГРЭС - 2 ШР, 1 УШР;
* ПС Алматы - 1 ШР;
* ПС Алма - 1 УШР, 1 ШР;
* ПС Семей - 1 ШР, 1 УШР.

1. Отключена Л-5120 Экибастузская-Нура:

* ПС Агадырь - 1 ШР, 2 УШР;
* ПС ЮКГРЭС - 2 ШР, 1 УШР;
* ПС Алматы - 1 ШР;
* ПС Алма - 1 УШР, 1 ШР;
* ПС Семей - 1 ШР, 1 УШР.

1. Отключена Л-5370 Экибастузская-Семей:

* ПС Агадырь - 2 ШР, 2 УШР;
* ПС ЮКГРЭС - 2 ШР, 1 УШР;
* ПС Алматы - 1 ШР;
* ПС Алма - 1 УШР, 1 ШР;
* ПС Семей - 0 ШР, 1 УШР.

Контролируемые сечения при расчетах:

Сечение №1: 3 ВЛ-500 кВ: Л5170 "Экибастузская-Агадырь", Л5120 "ЭГРЭС 1-Нура", Л "Семей-Актогай".

Сечение №2: 3 ВЛ-500 кВ: Л-5300 "ЮКГРЭС-Агадырь", Л-5320 "ЮКГРЭС-Агадырь", Л "Актогай-Талдыкорган".

Для сравнения полной и эквивалентных моделей по значениям взаимного угла между ПС Экибастуз-1150 и ПС Алматы и по предельным перетокам мощности по контролируемым сечениям, были проведены расчеты электрических режимов, результаты которых приведены ниже.

Таблица 1 – Сравнение значений взаимного угла между ПС Экибастуз-1150 и ПС Алматы полной и эквивалентных моделей при различных режимах работы схемы сети

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Схема сети** | Полная схема | Эквивалентная схема 16 узлов | Эквивалентная схема 20 узлов | Объекты |
| 1. | Нормальная. | -37,83 | 0 | -3,5 | ПС Экибастуз |
| -100,09 | -61,28 | -63 | ПС Алматы |
| **62,26** | **61,28** | **59,5** | Взаимный угол |
|  | | | | | |
| 2. | Отключены Л-5394 и Л-5400 «Семей-Актогай-Талдыкорган» | -14,77 | 0 | -3,5 | ПС Экибастуз |
| -95,47 | -74,45 | -78,72 | ПС Алматы |
| **80,7** | **74,45** | **75,22** | Взаимный угол |
|  | | | | | |
| 3. | Отключена Л-5300 (Л-5320) «ЮКГРЭС-Агадырь» | -28,11 | 0 | -3,5 | ПС Экибастуз |
| -100,23 | -65,65 | -67,48 | ПС Алматы |
| **72,12** | **65,65** | **63,98** | Взаимный угол |
|  | | | | | |
| 4. | Отключена Л-5170 «Экибастузская-Агадырь» | -23,77 | 0 | -3,5 | ПС Экибастуз |
| -99,16 | -78,54 | -80,5 | ПС Алматы |
| **75,39** | **78,54** | **77** | Взаимный угол |
|  | | | | | |
| 5. | Отключена Л-5120 «ЭГРЭС1-Нура» | -25,77 | 0 | -3,5 | ПС Экибастуз |
| -101,3 | -74,5 | -76,5 | ПС Алматы |
| **75,53** | **74,5** | **73** | Взаимный угол |
|  | | | | | |
| 6 | Отключена Л-5370 «Экибастузская-Семей» | -36,8 | 0 | -3,5 | ПС Экибастуз |
| -103,91 | -70,15 | -72,63 | ПС Алматы |
| **67,11** | **70,15** | **69,13** | Взаимный угол |

Таблица 2 - Сравнение значений перетока мощности по контролируемым сечениям полной и эквивалентных моделей при различных режимах работы схемы сети

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№** | **Схема сети** | Сечение | Полная схема | | | Эквивалентная схема  16 узлов | | | Эквивалентная схема  20 узлов | | |
| **Переток, МВт** | | | **Переток, МВт** | | | **Переток, МВт** | | |
| **Рпред** | **Р8%** | **Р20%** | **Рпред** | **Р8%** | **Р20%** | **Рпред** | **Р8%** | **Р20%** |
| 1. | Нормальная. | № 1 | 2890 | 2490 | 2241 | 2903 | 2503 | 2253 | 2903 | 2503 | 2253 |
| № 2 | 2188 | 1841 | 1657 | 2113 | 1771 | 1594 | 2114 | 1772 | 1595 |
|  | | | | | | | | | | | |
| 2. | Отключены Л-5394 и Л-5400 Семей-Актогай-Талдыкорган | № 1 | 2337 | 1978 | 1780 | 2441 | 2075 | 1868 | 2439 | 2073 | 1866 |
| № 2 | 1720 | 1407 | 1266 | 1753 | 1438 | 1294 | 1752 | 1437 | 1293 |
|  | | | | | | | | | | | |
| 3. | Отключена Л-5300 (Л-5320) ЮКГРЭС-Агадырь | № 1 | 2708 | 2322 | 2090 | 2626 | 2246 | 2022 | 2634 | 2254 | 2028 |
| № 2 | 1955 | 1625 | 1462 | 1930 | 1602 | 1442 | 1936 | 1607 | 1446 |
|  | | | | | | | | | | | |
| 4. | Отключена Л-5170 Экибастузская-Агадырь | № 1 | 2447 | 2080 | 1872 | 2603 | 2225 | 2003 | 2616 | 2237 | 2013 |
| № 2 | 1919 | 1592 | 1432 | 1827 | 1506 | 1356 | 1839 | 1518 | 1366 |
|  | | | | | | | | | | | |
| 5. | Отключена Л-5120 ЭГРЭС1-Нура | № 1 | 2352 | 1992 | 1793 | 2524 | 2152 | 1937 | 2530 | 2157 | 1942 |
| № 2 | 1975 | 1644 | 1479 | 1785 | 1468 | 1321 | 1792 | 1474 | 1327 |
|  | | | | | | | | | | | |
| 6 | Отключена Л-5370 Экибастузская-Семей | № 1 | 2864 | 2466 | 2220 | 2443 | 2077 | 1869 | 2827 | 2432 | 2189 |
| № 2 | 2163 | 1818 | 1636 | 1767 | 1451 | 1306 | 2050 | 1713 | 1542 |

Выше представленные расчеты показывают, что значения предельных переток мощности по транзиту «Север-Юг», взаимного угла между Север и Югом, а также напряжений в контролируемых узлах по полной модели сети имеют отличие от эквивалентных моделей в пределах 5%.