

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ГРАФИКА НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТРОЛЬНЫХ ПУНКТАХ**

**Ю.П. Питько\*, А.Ю. Останин\*\*, Д.С. Лоцман\*\***

*\*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,*

*Инженерная школа энергетики, ОЭЭ, О-5КМ81*

*\*\*Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири*

Согласно [1] в филиалах АО «СО ЕЭС» месячные графики напряжения (далее – графики напряжения) в контрольных пунктах по напряжению (далее – КП) разрабатываются отдельно для характерного рабочего и выходного/праздничного дня. График напряжения определяет границы допустимого диапазона уровней напряжения в КП для каждого часа характерных суток. Верхняя и нижняя границы графика напряжений определяются на предстоящий месяц для наиболее тяжелой схемно режимной ситуации, прогнозируемой в этом месяце (далее – расчетный режим).

Ввиду того, что абсолютное большинство фактических режимов значительно легче расчетного режима границы фактически допустимого диапазона уровней напряжения в КП могут быть существенно шире заданных в месячном графике напряжения в КП.

Как правило, при фактическом управлении электроэнергетическим режимом работы энергосистемы особое внимание уделяется поддержанию уровней напряжения не ниже минимально допустимого напряжения (МДН), аварийно допустимого напряжения (АДН) и нижней границы графика напряжений, т.к. поддержание указанных величин напряжения обеспечивает нормируемые значения запасов по статической аperiodической устойчивости в контролируемых сечениях (КС) в нормальной (ремонтной) схеме и в послеаварийных режимах.

Поддержание величин МДН, АДН и нижней границы графика напряжения выше требуемых для фактического режима может приводить к негативным последствиям, например, к невозможности постановки под напряжение ЛЭП 500 кВ без выполнения разгрузки КС по активной мощности.

Таким образом, определение границ допустимого диапазона уровней напряжения в КП в режиме реального времени является актуальной задачей субъекта оперативно-диспетчерского управления.

Для решения указанной задачи был разработан алгоритм определения МДН, АДН и нижней границы графика напряжения в КП с использованием параметров текущего электрического режима. Срез параметров текущего электрического режима в виде математической

модели расчёта установившихся режимов формируется в результате функционирования ПАК СМЗУ. Результаты работы данного алгоритма могут быть использованы диспетчерским персоналом диспетчерских центров АО «СО ЕЭС» при фактическом управлении электроэнергетическим режимом работы энергосистемы.

На рисунке 1 представлен разработанный алгоритм определения МДН, АДН и нижней границы графика напряжения с использованием параметров текущего электрического режима (далее – алгоритм).

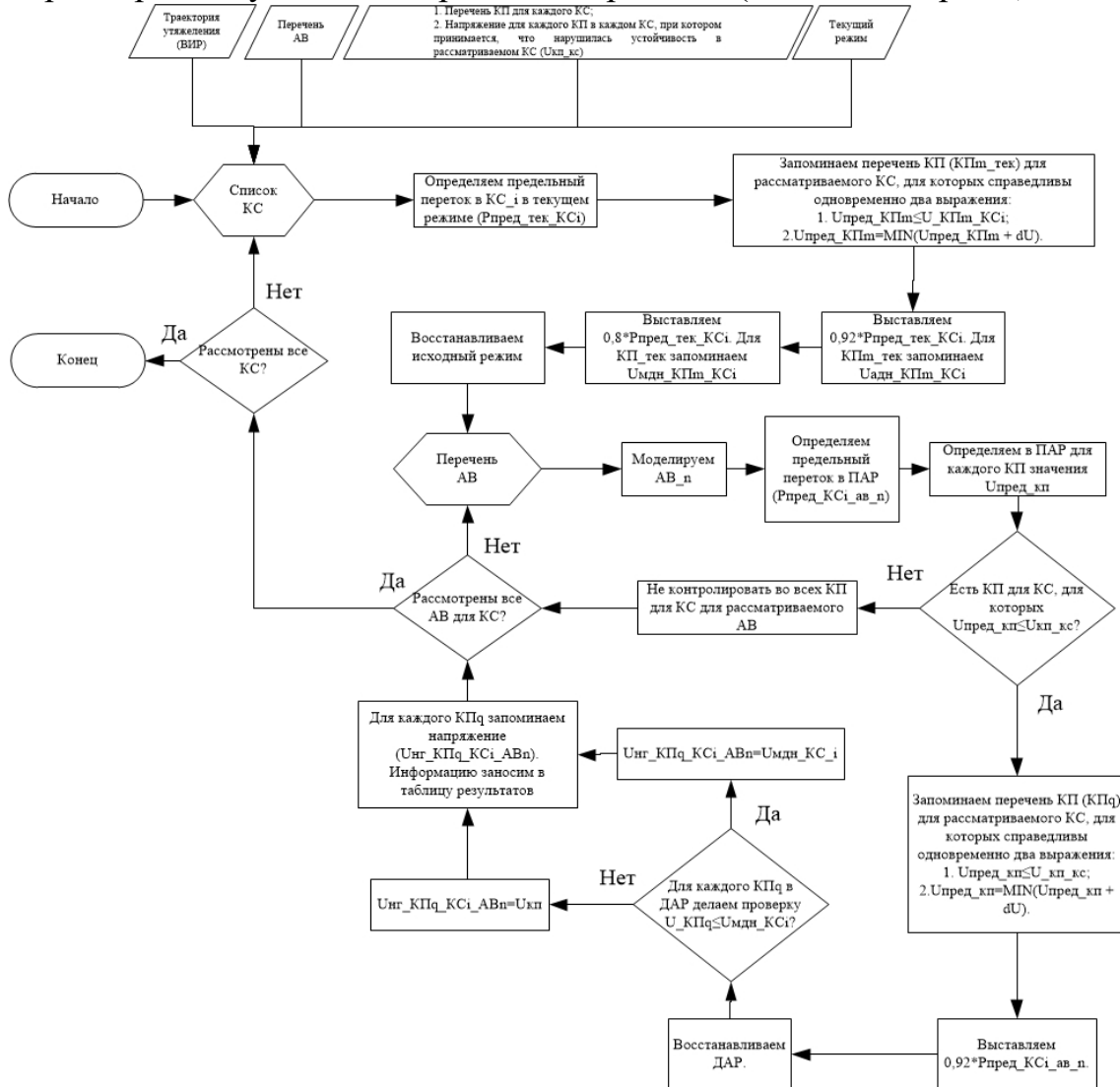


Рисунок 1 – Алгоритм определения МДН, АДН и нижней границы графика напряжения по данным текущего электрического режима

В приведённом на рисунке 1 алгоритме приняты следующие обозначения:

$U_{кп\_кc}$  – величина напряжения, при которой в соответствии с результатами расчётов нарушается устойчивость в рассматриваемом КС;

$U_{пред\_КПm}$  – значение напряжения в КП при работе КС с предельным перетоком активной мощности;

$dU$  – допустимая разница напряжений между значениями  $U_{кп\_кс}$  и  $U_{пред\_КПm}$ ;

$m, i, q, n$  – индексы.

Для работы алгоритма используются следующие исходные данные

➤ получаемые от ПАК СМЗУ:

- параметры актуального установившегося электрического режима в формате файла расчетной модели для ПК RastrWin;
- актуальный вектор изменения режима, используемый в текущем цикле ПАК СМЗУ для определения допустимых перетоков активной мощности в КС (ВИР).

➤ задаваемые технологом:

- перечень КП для каждого рассчитываемого КС;
- напряжение для каждого КП в каждом КС, при котором в соответствии с результатами расчётов нарушилась устойчивость в рассматриваемом КС ( $U_{кп\_кс}$ );
- перечень аварийных возмущений.

Пересчет нижней границы графика напряжений осуществляется на каждом цикле работы ПАК СМЗУ.

Условно работу алгоритма можно разделить на несколько этапов:

1. получение актуальных значений исходных данных;
2. определение из всего перечня КП для каждого КС тех КП, которые являются показательными с точки зрения статической устойчивости соответствующей электропередачи для текущего режима работы энергосистемы;
3. определение актуального значения МДН, АДН и нижней границы графика напряжения для рассматриваемого КС.

При формировании для каждого рассматриваемого КС перечня КП, в которых для текущего электрического режима работы энергосистемы необходимо контролировать уровни напряжения, в предельном режиме определяется перечень КП ( $КПm\_тек$ ), для которых одновременно справедливы следующие выражения:

1.  $U_{пред\_КПm} \leq U_{КПm\_КСi}$ ;
2.  $U_{пред\_КПm} = \text{MIN}(U_{пред\_КПm} + dU)$ .

Используя указанные выражения в данный перечень КП входят только те контрольные пункты по напряжению, которые характеризуют устойчивость КС в текущем режиме.

Следующим этапом для данных КП определяются значения МДН и АДН как величины, соответствующие значениям перетока активной мощности в КС 0,8Рпред и 0,92Рпред соответственно.

Далее для определения нижней границы графика напряжения для рассматриваемого КС моделируются соответствующие аварийные возмущения. Из перечня КП, в которых необходимо контролировать уровни напряжения, в предельном послеаварийном режиме для каждого аварийного возмущения определяется перечень КП, для которых одновременно справедливы следующие выражения:

1.  $U_{пред\_кп} \leq U_{кп\_кс}$ ;
2.  $U_{пред\_кп} = \text{MIN}(U_{пред\_кп} + dU)$ .

Используя указанные выражения в данный перечень КП входят только те контрольные пункты по напряжению, которые характеризуют устойчивость КС в рассмотренных послеаварийных режимах.

Следующим этапом для данных КП определяются значения напряжений в доаварийном режиме, которые соответствуют в послеаварийном режиме значению перетока активной мощности в КС 0,92Рпред.

Полученный результат сравнивается с рассчитанной величиной МДН и максимальное из этих значений заносится в выходную форму работы алгоритма как рассчитанное значение нижней границы графика напряжений.

Работа алгоритма повторяется для всего перечня контролируемых сечений.

Исследование работоспособности алгоритма осуществлялось для КС «Красноярск, Кузбасс – Запад» на расчётной модели энергосистемы ОЭС Сибири в формате ПВК RastrWin3, сформированной с использованием ПАК СМЗУ.

Для указанного КС был принят следующий перечень КП:

- шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Ново-Анжерской;
- шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Новокузнецкой;
- шины 500 кВ ОРУ 500 кВ Беловской ГРЭС;
- шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Юрга;
- шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Барнаульская.

Расчёты, выполненные согласно разработанному алгоритму показали, что в рассматриваемом электроэнергетическом режиме достаточно контролировать напряжение лишь в двух КП – шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Ново-Анжерская и шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Барнаульская. Величины допустимых напряжений, соответствующих МДН и АДН для рассматриваемого режима, а также

значения МДН и АДН согласно [2] для указанных КП приведены в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Расчёт значений МДН

КП	МДН для рассматриваемого режима, кВ	МДН по ПУР, кВ
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Ново-Анжерская	494,96	500
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Барнаульская	488,19	490

Таблица 2 – Расчёт значений АДН

КП	АДН для рассматриваемого режима, кВ	АДН по ПУР, кВ
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Ново-Анжерская	438,17	480
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Барнаульская	438,93	480

Нижняя граница графика напряжения определяется исходя из уровней напряжений в узлах, характеризующих различные аварийные возмущения, моделируемые согласно заранее сформированному списку аварийный отключений. В рассматриваемом расчётном примере определяющим аварийным отключением является отключение наиболее загруженной секции ПС 220 кВ ЦРП-220 энергосистемы Красноярского края и Республики Тыва.

Полученные значения допустимых уровней напряжений для доаварийного режима в КП, обеспечивающих требуемые запасы устойчивости в КС в послеаварийном режиме приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Уровни напряжения в КП при восстановлении ДАР

КП	U_КПq, кВ
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Ново-Анжерская	475,73
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Барнаульская	471,33

Так как получившиеся уровни напряжения в таблице 3 ниже рассчитанных величин по таблице 1, то согласно [1] нижняя граница графика напряжений принимается равной МДН в КП.

Итоговые результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 Результаты расчётов

КП	Для рассматриваемого режима		По данным ПУР [2]	
	МДН, кВ	АДН, кВ	МДН, кВ	АДН, кВ
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Ново-Анжерская	494,96	438,17	500	480
шины 500 кВ ОРУ 500 кВ ПС 500 кВ Барнаульская	488,19	438,93	490	480

### Заключение

Разработанный алгоритм позволяет из заранее известного перечня КП для КС по данным о текущем электрическом режиме работы энергосистемы определять перечень характерных КП, определяющих устойчивость рассматриваемого КС в текущем режиме, а также величины АДН, МДН и нижнюю границу графика напряжений для этого перечня характерных КП.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Стандарт организации «Правила разработки графика напряжения в контрольных пунктах диспетчерского центра АО «СО ЕЭС». СТО 9012820.27.010.002-2014.
2. Положение по управлению режимами работы энергосистем в операционной зоне Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири.

Научный руководитель: И.М. Кац, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ НИ ТПУ.