

3. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Приложение к Приказу Минэнерго РФ от 30.12.2008 N 326 (ред. от 01.02.2010).

УДК 621.311.154

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПРЕДЕЛЬНЫХ НЕБАЛАНСОВ МОЩНОСТЕЙ
ПРИ ВЫХОДЕ НА РАЗДЕЛЬНУЮ РАБОТУ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
С РЕЗКОПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

Д.А. Мусин, О.В. Газизова, А.В. Малафеев, Д.А. Мисулин

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
logan_b_7@mail.ru*

Аннотация

Увеличение предприятиями собственных генерирующих мощностей и внедрение энергоемких электроприемников с резкопеременной нагрузкой приводит к усложнению возможных эксплуатационных режимов. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для определения предельных небалансов мощностей при выходе промышленной электростанции на раздельную работу.

Ключевые слова: промышленное предприятие, собственная электростанция, система электроснабжения, резкопеременная нагрузка, раздельная работа, предельный небаланс мощности.

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF DEFINITION OF
LIMIT NOT BALANCES OF CAPACITIES AT THE EXIT TO
SEPARATE WORK OF ELECTRIC POWER PLANTS WITH
VARIABLE LOADING**

D.A. Musin, O.V. Gazizova, A.V. Malafeev, D.A. Misulin

*Nosov Magnitogorsk State Technical University
Russia, Magnitogorsk
logan_b_7@mail.ru*

Abstract

The increase of the enterprises own generating capacities and introduction of power-intensive electroreceivers with variable loading leads to complication of possible operational modes. The algorithm and the software are developed for definition of limit not balances of capacities at an exit of electric power plant to separate work.

Key words: industrial enterprise, own power plant, power supply system, variable loading, separate work, limit not balance of power.

Одно из приоритетных направлений промышленности – развитие энергоемкой металлургической отрасли. Это неразрывно связано с усовершенствованием и усложнением технологических переделов крупных промышленных предприятий и сопровождается вводом в эксплуатацию потребителей большой единичной мощности с резкопеременным характером электропотребления, широким использованием на прокатных станах энергоемких выпрямительных агрегатов, расширением собственных электростанций предприятия, а также усложнением конфигурации электрической сети. В таких условиях неизбежно влияние узлов резкопеременной нагрузки на работу электрически близко расположенных синхронных генераторов местных электростанций и двигателей, а также на показатели качества электроэнергии.

В связи с этим появляется необходимость планирования эксплуатационных переходных режимов промышленных систем электроснабжения, сопровождающихся работой электрических нагрузок резкопеременного характера. Это невозможно без специализированного программного обеспечения, ориентированного на систему электроснабжения крупного промышленного предприятия, имеющего собственные электростанции и электрическую резкопеременную нагрузку. Как показал анализ существующего программного обеспечения, программные комплексы расчета режимов электроэнергетических систем ориентированы на крупные энергосистемы и не учитывают особенностей работы промышленных систем электроснабжения, в том числе не дают возможности учета работы резкопеременных нагрузок в сети. Особый интерес представляет исследование режима выхода электростанции с резкопеременной нагрузкой на отдельную с энергосистемой работу при подключении нагрузки в различных точках выделенной сети.

Разработка алгоритма определения предельных небалансов мощностей при выходе на отдельную работу промышленных электростанций с резкопеременной нагрузкой потребовала предварительного создания математической модели энергоузла с характерными электроприемниками с резкопеременным характером потребления электриче-

ской энергии. Полученная модель была использована при разработке алгоритма определения предельных небалансов мощностей при отделении от энергосистемы электростанций с резкопеременной нагрузкой.

Алгоритм основан на сочетании метода последовательных интервалов и метода последовательного эквивалентирования [1] и требует задания генераторов в схему замещения переходными ЭДС \dot{E}' за фазовыми углами δ'' , определяемыми в ходе решения дифференциального уравнения движения ротора. Угол представляет собой фазовый сдвиг между векторами переходной ЭДС \dot{E}' и напряжением \dot{U} и определяется на каждом шаге интегрирования n как $\delta''_{(n)} = \delta_{(n)} - \delta'_{(n)}$. Здесь $\delta'_{(n)}$ – угол между осью q и вектором \dot{E}' .

В данном алгоритме, после моделирования узла и выбора уровня напряжения присоединения дополнительной мощности, прежде всего, выполняется расчет установившегося доаварийного режима, и определяются ЭДС синхронных машин. Вынужденная ЭДС определяется действием системы возбуждения и в первый момент времени равна ЭДС машины E_q по поперечной оси. При расчете действие АРВ и форсировки моделируется изменением вынужденной ЭДС E_{qe} на каждом шаге расчета. На каждом интервале рассчитывается сверхпереходный режим, определяются приращения углов роторов и приращения сверхпереходных ЭДС.

После расчета установившегося режима производится расчет переходного режима при выходе узла на раздельную работу методом последовательных интервалов. Далее последовательно проверяется сохранение динамической устойчивости каждого генератора относительно других генераторов. Признаком нарушения динамической устойчивости является расхождение взаимных углов генераторов.

При сохранении динамической устойчивости узла с использованием метода последовательного утяжеления происходит увеличение дополнительной присоединенной нагрузки с определенным шагом.

Метод последовательного утяжеления включает этапы [1]:

- 1) расчет заведомо устойчивого режима выхода на раздельную работу;
- 2) для данного режима вычисляется значение критерия устойчивости;
- 3) производится изменение параметров в соответствии с выбранным законом утяжеления и рассчитывается новый переходный режим.

Утяжеление продолжается до тех пор, пока на определенном шаге

не произойдет изменение знака критерия устойчивости. Расчет последовательно утяжеляемых режимов требует больших затрат времени ЭВМ. Преимущества методов дискретного утяжеления состоит в простоте реализации и возможности изменения параметров утяжеления на любом шаге процесса. Это позволяет учитывать действия противоаварийной автоматики, технические и эксплуатационные ограничения. К недостаткам данных методов относится значительная трудоемкость, связанная с расчетом большого числа промежуточных режимов.

Следующим шагом является изменение точки присоединения дополнительной нагрузки и повторение расчета до нахождения критического небаланса. Результатом расчета является значения критического небаланса мощности на всех рассматриваемых уровнях напряжения.

Методы, заложенные в основу программного комплекса КАТРАН 6.0, позволили разработать вышеуказанный алгоритм определения критического небаланса мощности при выходе на раздельную работу, который может быть использован для анализа режимов в службах диспетчерского управления крупных промышленных предприятий, имеющих собственные электростанции.

Самой крупной электростанцией Магнитогорского энергетического узла является ТЭЦ, главная электрическая схема которой является комбинированной и содержит неблочную (ТГ-2,3) и блочную части (ТГ-1,4,5,6), особенностью которого является выдача электроэнергии на различных уровнях напряжения от 3 до 110 кВ. Собственные нужды станции питаются от семи трансформаторов напряжением 10/3 кВ и содержат в своем составе ряд асинхронных двигателей топливоподачи, газовоздушного тракта, обслуживания электрофильтров, перекачки конденсата, деаэрации, подогрева питательной воды.

От ТЭЦ с шин 110, 35, 10 кВ получают питание ряд крупных потребителей, в том числе с резкопеременной нагрузкой (ЛПЦ-9, АПК-1,2 ЭСПЦ). На ЛПЦ-9 нагрузка на валу двигателя, приводящего вал прокатного стана, имеет резкопеременный ударный характер, что приводит к возникновению переходных электромеханических процессов. Данные переходные процессы негативно сказываются на качестве электроэнергии и прокатываемого металла. При выходе узла на раздельную работу с энергосистемой данные потребители оказывают существенное влияние на устойчивость узла.

На рис. 1 показана однолинейная схема ТЭЦ ОАО «ММК» в программном комплексе КАТРАН 6.0. В исследуемой модели крупные потребители, такие как АПК 1,2 ЭСПЦ, и ЛПЦ-9 были заданы обобщенными резкопеременными нагрузками. На рис. 2 приведен односекундный график мощности отходящих линий ТЭЦ на АПК 1 ЭСПЦ. Электроприемники со спокойной нагрузкой были заданы в модели

обобщенными нагрузками. Величины потребляемой мощности электроприемников со спокойной нагрузкой и вырабатываемой мощности генераторов ТЭЦ были приняты из эксплуатационных данных.

При исследовании влияния места подключения нагрузки на динамическую устойчивость при выходе на раздельную с энергосистемой работу был использован метод последовательного утяжеления. Дополнительная нагрузка подключалась последовательно к шинам 10, 35, 110 кВ ТЭЦ. В результате исследования получены предельные значения критического небаланса мощностей при выходе узла на раздельную с энергосистемой работу.

На каждом этапе утяжеления получены графические зависимости изменения параметров узла (рис. 3).

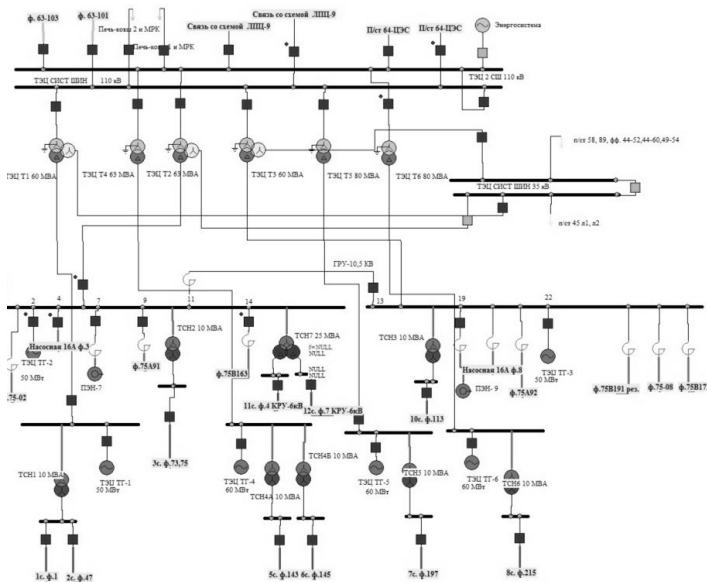


Рис. 1. Однолинейная схема ТЭЦ ОАО «ММК»

Таким образом, с использованием метода последовательного утяжеления были определены предельные небалансы мощностей при выходе узла на раздельную работу. Величина дополнительной присоединенной нагрузки к шинам ЗРУ 35 кВ при выходе узла на раздельную работу имеет максимальное значение. Повышение дополнительной активной нагрузки оказывает влияние на изменение углов роторов, а повышение реактивной влияет в основном на уровень напряжения. Узел ТЭЦ может быть загружен дополнительно до 60 МВт по активной и до 70 Мвар по реактивной мощности с сохранением динамиче-

ской устойчивости при выходе на раздельную работу с энергосистемой при изменении частоты.

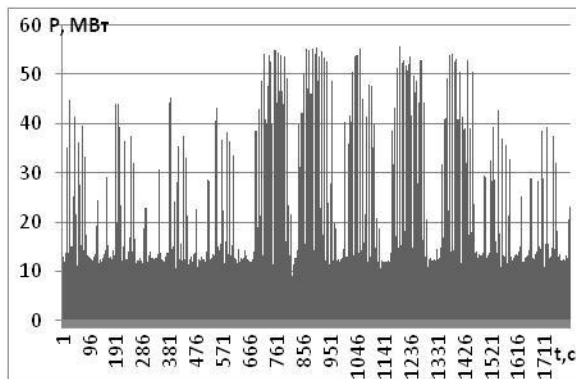


Рис. 2. График активной мощности ЛЭП-2 ПС81, АПК-1 ЭСПЦ

В данном исследовании был проведен расчет с использованием методики определения предельных небалансов мощностей при выходе на раздельную работу промышленных электростанций с резкопеременной нагрузкой. При исследовании получили следующие значения дополнительной присоединяемой мощности, при которой сохраняется динамическая устойчивость при выходе на раздельную работу: 10 кВ – 60 МВт; 35 кВ – 80 МВт; 110 кВ – 60 МВт. Дополнительная присоединяемая к ЗРУ 35 кВ нагрузка имеет большее по сравнению с остальными уровнями напряжения значение. Это связано с тем, что секции шин 10 кВ и 110 кВ наиболее электрически удалены от генераторов.

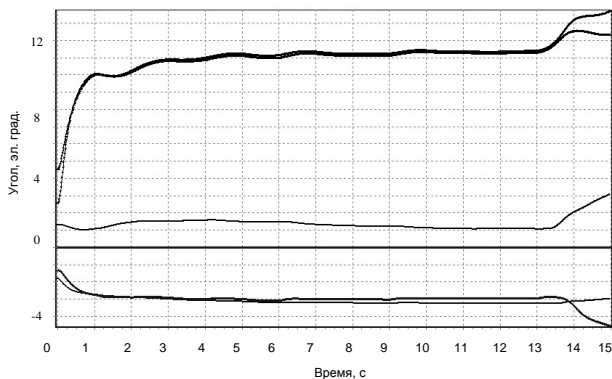


Рис. 3. Взаимные углы генераторов (нарушение устойчивости $U=10\text{кВ}$, $P_{\text{доб}}=70\text{МВт}$)

Список литературы

1. Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2008. – №6. – С. 16-22.

УДК 621.311.1

ЗАДАЧА РАСЧЕТА РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ МЕТОДОМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ ПРИ НЕПОЛНОТЕ ИНФОРМАЦИИ ОБ УЗЛАХ ПРИМЫКАНИЯ

А.В. Малафеев, Е.С. Кутукова

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск
malapheev_av@mail.ru, katya_kutukova@mail.ru*

Аннотация

Статья посвящена расчету режима энергосистемы методом последовательного эквивалентирования при неполноте информации об узлах примыкания. В данной статье предлагается определить потоки реактивной мощности в узлах связи на основе потокораспределения активной мощности и замеренных модулей напряжений, а также комплексных проводимостей схемы замещения. Пренебрежение фазовым сдвигом между векторами напряжений в узлах связи приводит к неудовлетворительной сходимости в случае использования метода простой итерации. В настоящей работе предлагается использовать для улучшения сходимости метод Ньютона.

Ключевые слова: потокораспределение активной мощности, модуль напряжения, оценивание состояния, метод Ньютона, сходимость.

THE NETWORK CALCULATIONS USING THE SEQUENTIAL EQUIVALENTING METHOD IN THE CASE OF INFORMATION INCOMPLETENESS ABOUT ADJACENCY NODES

A.V. Malafeev, E.S. Kutukova

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia, Magnitogorsk.
malapheev_av@mail.ru, katya_kutukova@mail.ru*