

Анализ режимной надежности с учетом краткосрочного прогнозирования поведения системы и оценки ее управляемости



**А.Б. Осак, А.И. Шалагинов,
Д.А. Панасецкий, Е.Я. Бузина
ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск
ЗАО «Энергетические технологии», г. Иркутск
osakalexey@mail.ru**

Введение

В современных условиях функционирования электроэнергетики **происходит усложнение задачи управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) и их объединений.**

Среди множества задач управления, **можно выделить задачу оперативного анализа режимной надежности ЭЭС.**

Предлагается **решать данную задачу с применением методов и средств краткосрочного (оперативного) прогнозирования поведения ЭЭС.**

Постановка задачи

Под режимной надежностью подразумевается способность системы противостоять внезапным возмущениям без непредусмотренных воздействий на потребителей электроэнергии. В данном случае речь идет о первичном регулировании режима после возмущения – регулировании в течение нескольких секунд за счет работы первичного регулирования и срабатывания устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

В основном задача анализа режимной надежности решается при оперативно-диспетчерском управлении, моделировании ремонтных и послеаварийных режимов, в меньшей степени при долгосрочном планировании и проектировании ЭЭС.

Постановка задачи

Традиционно используется следующий подход к решению задачи режимной надежности:

1. **Формируется некий исходный режим.** В оперативной постановке задачи исходный режим получается путем решения задачи оценивания состояния.
2. **Моделируется возникновение нормативных возмущений или сверхнормативных возмущений.**

Традиционный алгоритм анализа режимной надежности



Постановка задачи

В данной работе **предлагается расширить задачу анализа режимной надежности за счет применения математических средств краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС.**

Задача краткосрочного прогнозирования для целей оперативного анализа режимной надежности подразделяется на две подзадачи:

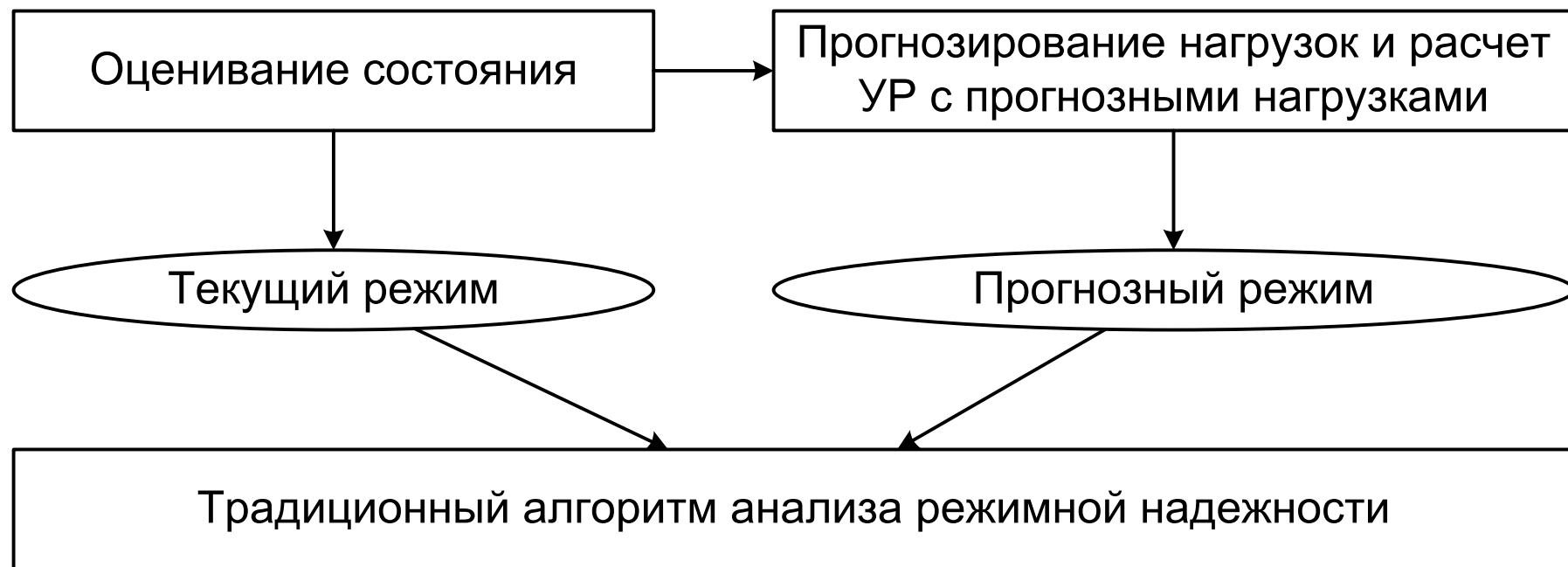
- а) подзадача краткосрочного прогнозирования параметров режима;**
- б) подзадача краткосрочного прогнозирования поведения системы.**

Подзадача краткосрочного прогнозирования параметров режима

При решении задачи краткосрочного прогнозирования параметров режима для целей оперативного и противоаварийного управления ЭЭС **можно выделить следующие составляющие:**

- **учет характерного поведения нагрузки (с учетом графиков или профилей нагрузок);**
- **учет случайного изменения нагрузки.**

Алгоритм анализа режимной надежности с учетом краткосрочного прогнозирования параметров режима



Подзадача краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС

При решении задачи краткосрочного прогнозирования поведения системы для целей оперативного анализа режимной надежности, и далее для оперативного и противоаварийного управления ЭЭС **можно выделить следующие составляющие:**

- прогнозирование поведения систем управления и регулируемых ими элементов;
- прогнозирование аварий и отказов, с учетом вероятности отказов отдельных элементов ЭЭС.

Вариант алгоритма краткосрочного прогнозирования

Оценивание состояния

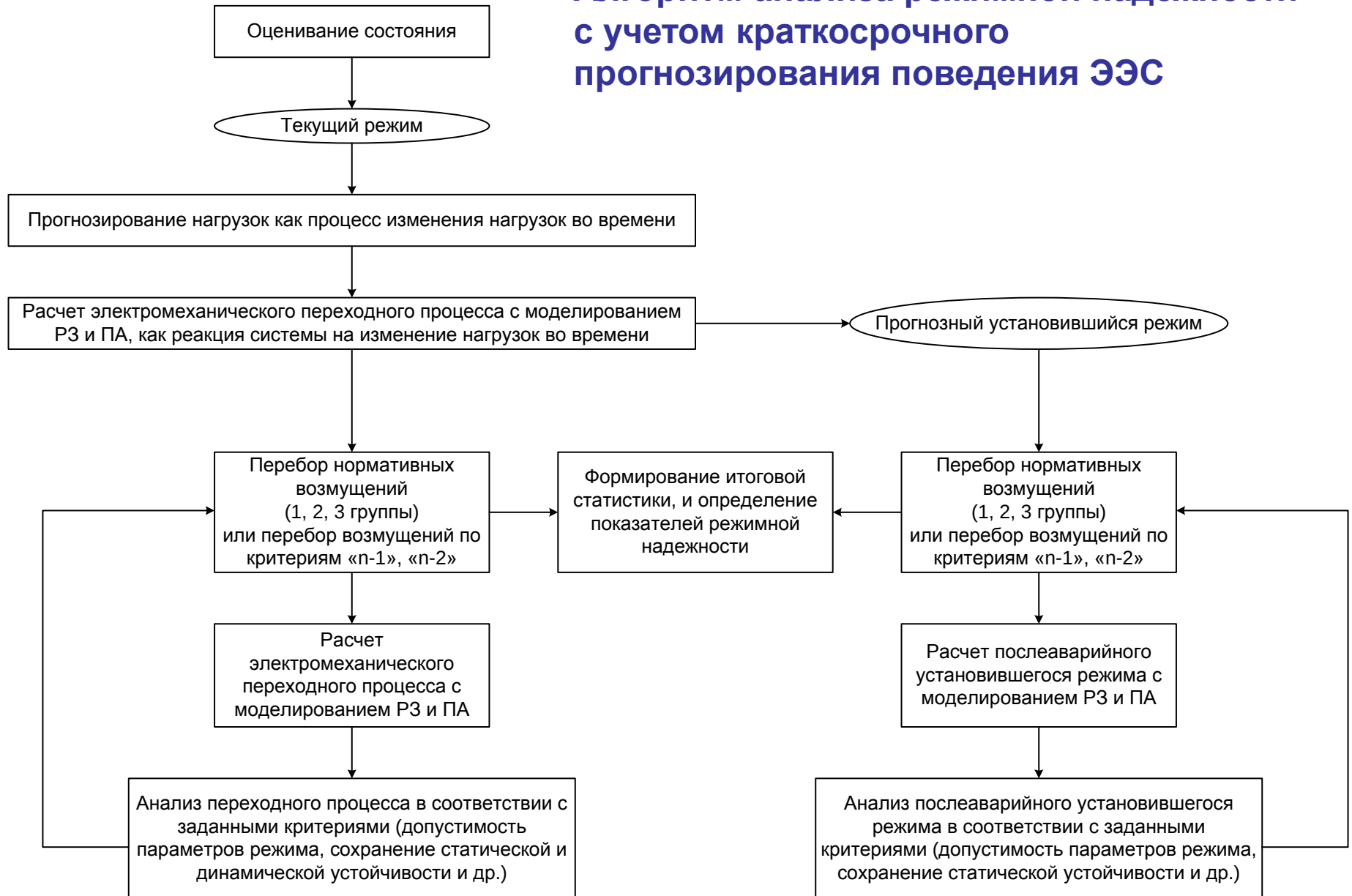


Прогнозирование нагрузок как процесс изменения нагрузок во времени



Расчет электромеханического переходного процесса с моделированием РЗ и ПА, как реакция системы на изменение нагрузок во времени

Алгоритм анализа режимной надежности с учетом краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС



Применение методов экспресс-анализа

Практическая сложность применения предложенных выше подходов заключается в том, что при решении данной задачи путем полного перебора (с учетом необходимости расчета электромеханических переходных процессов с моделями всех активных элементов ЭЭС) потребуются большие вычислительные ресурсы.

Предлагается при осуществлении полного перебора нормативных и сверхнормативных возмущений, выполнять первоначальную оценку с использованием экспресс-методов, тем самым, исключая из детального (точного) рассмотрения возмущения, не представляющие опасности.

Применение методов экспресс-анализа

Если один или несколько применяемых экспресс-методов показывают наличие возможной опасности при возникновении того или иного возмущения, то только в этом случае производится дальнейшее имитационное моделирование на подробной модели ЭЭС с учетом реальных алгоритмов непрерывных и дискретных систем управления энергосистемы.

Предлагается при анализе РН с учетом краткосрочного прогнозирования поведения системы осуществлять оценку резервов регулирования в управляемых параметрах. Для решения данной задачи применяются оптимизационные методы расчета сбалансированных режимов с учетом дискретных и интервальных характеристик параметров режима.

Применение методов экспресс-анализа

Прикладная суть предлагаемого подхода заключается в оценке принципиальной возможности перехода энергосистемы из доаварийного в послеаварийный режим с учетом работы систем регулирования, а также систем противоаварийного управления (ПАУ), но без задания самих алгоритмов регулирования и управления.

При этом системы регулирования и ПАУ задаются в виде диапазонов возможного изменения параметров режима и схемы замещения (задаются максимально возможные объемы управляющих воздействий).

Применение методов экспресс-анализа

Если решение найдено, то оно позволяет определить оптимальные объемы управляющих воздействий, необходимые для перехода из доаварийного режима в послеаварийный.

Далее по упрощенному алгоритму можно оценить соответствуют ли рассчитанные управляющие воздействия фактической логике устройств регулирования и ПАУ.

В отдельных случаях можно выполнить расчеты установившихся режимов и электромеханических переходных процессов с учетом фактических алгоритмов регуляторов, устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Применение методов экспресс-анализа

Экспресс-анализ режимной надежности для различных расчетных схем выполнялся с использованием разработанного в ИСЭМ СО РАН и ИрГТУ **программного комплекса**.

Реализовано несколько математических методов расчета УР и оптимизации, в том числе:

- Метод Ньютона;
- Линейный метод минимизации;
- Метод квадратичного спуска;
- **Двухпараметрический метод минимизации.**

Реализованы регуляризованные методы:

- Метод диагональной релаксации;
- **Модифицированный метод диагональной релаксации;**
- Линейный метод минимизации в токовой форме.

Применение методов экспресс-анализа

Оптимизационные методы экспресс-анализа в общем виде используют функцию линейной оценки параметров режима, которая выполняется для матрицы

$$\frac{\partial P}{\partial Y}, \text{ где}$$

$p_i \in P$ – контролируемый параметр режима;

$$Y = \{U, Kmp, Pz, Sh\}$$

Применение методов экспресс-анализа

y_i применяется в диапазоне $l_i = [l_{\min}, l_{\max}]$.

Диапазон l_i определяется не только ограничениями на параметры $y_{\min}, y_{\max}$, но и рассчитанными параметрами, т.е. ограничениями параметров p_i :

$$p_{i \min} \leq p_i + \frac{\partial p_i}{\partial y_j} * \Delta y_j \leq p_{i \max}$$

Применение методов экспресс-анализа

Одним из критериев режимной надежности в данной постановке является наличие резервов регулирования в управляемых параметрах Y .

При моделировании аварийных возмущений данная модель позволяет оценивать соответствии настроек реальных устройств режимной и противоаварийной автоматики исследуемому режиму.

Управляющие воздействия автоматики моделируются изменением отдельных параметров Y .

При этом требуемый объем управляющих воздействий автоматики должен находиться в пределах Y_{imin}, Y_{imax} .

Расчет сбалансированных режимов с учетом дискретных и интервальных характеристик параметров режима

Параметры сбалансированного режима, как и функции от них, должны находиться как можно ближе к некоторым значениям $v \rightarrow \hat{v}$. Последние мы называем дискретными характеристиками параметров режима. В качестве них могут выступать телеизмерения, планируемые значения параметров режима, прогнозные значения и т.п. Элементы $v_i \in V$ характеризуются двумя параметрами $\{\hat{v}_i, \hat{\sigma}_i\}$. В случае телеизмерения под $\hat{\sigma}_i$ подразумевается дисперсия $\hat{v}_i$, в других случаях, это могут быть допустимые отклонения v_i от $\hat{v}_i$, заданные в процентах.

Расчет сбалансированных режимов с учетом дискретных и интервальных характеристик параметров режима

Параметры режима G должны по возможности находиться в некоторых интервалах своих значений $G \rightarrow [\underline{G}, \bar{G}]$. Каждая интервальная переменная g_i характеризуется четверкой параметров $\{\underline{g}_j, \underline{\sigma}_j, \bar{g}_j, \bar{\sigma}_j\}$, где $\underline{g}_j$, $\bar{g}_j$ — верхняя и нижняя границы интервала; $\underline{\sigma}_j$, $\bar{\sigma}_j$ — граничные «дисперсии». Из $\underline{\sigma}_j, \bar{\sigma}_j = 0$ следует, что $\underline{g}_j \leq g_j \leq \bar{g}_j$.

Необходимость ранжировать роль переменных y_i при функционировании системы предполагает учитывать их многократно в G с различными граничными характеристиками и процентными ставками $(\underline{\sigma}_{ij}, \bar{\sigma}_{ij})$.

Расчет сбалансированных режимов с учетом дискретных и интервальных характеристик параметров режима

В данном подходе и само возмущение и реакция элементов ЭЭС на возмущение могут быть одновременно заданны в векторе G .

Для характеристики меры близости $V \rightarrow \hat{V}$, $G \rightarrow [\underline{G}, \bar{G}]$ обычно используется функция взвешенных наименьших квадратов:

$$f = \sum_i^n a_i^2 + \sum_i^m b_i^2 \quad (1)$$

$$\text{где } a_i = \frac{v_i - \hat{v}_i}{\hat{\sigma}_i} \cdot k_{vi};$$

$$b_i = \frac{g_i - g_i^*}{\sigma_i^*} \cdot k_{gi} \cdot k_i;$$

Выводы

Предложены некоторые варианты реализации задачи автоматического краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС для целей оперативного анализа режимной надежности, и далее для оперативного и противоаварийного управления ЭЭС с использованием как уже известных методов и моделей, так и экспресс-методов. Предложены варианты применения моделей и методов расчета ЭМПП для задачи краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС. Предложено во время краткосрочного прогнозирования моделировать работу дискретных систем автоматического управления, таких как РЗ и ПА.

Выводы

Предложено для снижения вычислительной нагрузки использовать экспресс-методы оценки управляемости ЭЭС.

Данный подход позволяет оценить принципиальную возможность перехода энергосистемы из доаварийного в послеаварийный режим с учетом потенциальной работы систем регулирования и систем противоаварийного управления без задания самих алгоритмов регулирования и управления.

Если найдена принципиальная возможность такого перехода, то решение предложенной математической задачи позволяет определить оптимальные объемы управляющих воздействий, необходимые для перехода из доаварийного режима в послеаварийный.

Выводы

Далее по упрощенному алгоритму можно оценить соответствуют ли рассчитанные управляющие воздействия фактической логике устройств регулирования и противоаварийного управления.

В отдельных случаях можно выполнить расчеты установившихся режимов и электромеханических переходных процессов с учетом фактических алгоритмов регуляторов, устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Выводы

В перспективе анализ режимной надежности с учетом прогнозирования поведения ЭЭС позволит осуществить координацию оперативного и противоаварийного управления – оперативно-диспетчерский персонал сможет заранее увидеть возможную работу систем автоматического управления, оценить адекватность возможного управления, и предпринять соответствующие меры.

Например, если подсистема прогнозирования выявила тренд роста нагрузки, с одновременным приближением контролируемых ПА параметров режима к уставкам срабатывания, то она может предложить диспетчеру изменить потокораспределение для снятия потенциальной перегрузки, не дожидаясь работы ПА.