

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЯЖЕСТИ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНО- ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Ф.Ф. Загитов, А.В. Прохоров

Национальный исследовательский Томский политехнический
университет

Введение

Оценка тяжести установившегося режима энергосистемы выполняется для определения необходимости ввода режима в допустимую область, а также выбора места приложения и требуемого объема управляющих воздействий.

При автоматическом противоаварийном управлении, оценка тяжести послеаварийного режима является ключевой процедурой в алгоритмах расчета ПТК ВУ ЦСПА ОЭС Сибири (ЦСПА). Для контроля допустимости режима в ЦСПА используется общесистемный показатель – коэффициент напряженности (K_n) режима. Однако его применение определяет ряд недостатков системы: необходимость многократного итерационного расчета режимов, увеличивающую продолжительность расчетного цикла, и учет только критерия по обеспечению нормативного запаса статической устойчивости в послеаварийном режиме, что приводит к необходимости проведения дополнительных расчетов для проверки токового критерия и, соответственно, также к увеличению длительности цикла.

При оперативно-диспетчерском управлении энергосистемами ЕЭС России оценка допустимости режима осуществляется на основе данных подсистем контроля перетоков и ограничений в сечениях (КПОС), мониторинга токовых нагрузок (МТН) и мониторинга уровней напряжений (МУН) оперативно-информационного комплекса (ОИК). Отклонения параметров режима оцениваются для отдельных ветвей и узлов схемы относительно пределов, заданных с учетом допустимых величин перетоков в контролируемых сечениях, токовой нагрузки и уровней напряжения. Однако управляющие воздействия, применяемые для ввода режима в допустимую область по одному из параметров в заданном сечении, ветви или узле схемы, могут приводить к утяжелению режима по одному или нескольким параметрам в другой части энергосистемы, что осложняет управление режимом только на основании имеющейся информации из ОИК. Кроме того, в настоящее время у диспетчера отсутствуют какие-либо

инструменты, позволяющие оценивать вектор изменения режима энергосистемы.

Описанные проблемы управления режимами электроэнергетических систем могут быть решены за счет использования показателей тяжести установившегося режима, которые бы в явном виде указывали вектор изменения режима, являлись общесистемными, не требовали итерационных расчетов, а также учитывали ограничения по всем параметрам установившегося режима.

Вопросы разработки показателей тяжести установившегося режима рассмотрены в различных публикациях, например, [1]-[2]. Однако в них отсутствуют результаты исследований, позволяющие судить о применимости данных показателей для решения, обозначенных выше проблем. Далее приведем описание известных показателей, наиболее подходящих для исследования.

Показатели тяжести установившегося режима

Показатель Vector voltage performance index [1] учитывает влияние возмущения на напряжения в узлах энергосистемы.

В качестве граничных значений используются нормально допустимые и предельно допустимые значения напряжения. Для n -мерного пространства векторов напряжения формируется гиперпрямоугольник, имеющий 2^n вершин. В качестве ребер используются ограничения по напряжению, таким образом, если вектор напряжения находится внутри гиперпрямоугольника, режим допустим.

Формула для вычисления показателя:

$$PI_{Vector} = \left[\sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{d_{v,i}^u}{g_{v,i}^u} \right)^{2-n} + \sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{d_{v,i}^l}{g_{v,i}^l} \right)^{2-n} \right]^{\frac{1}{2-n}}, \quad (1)$$

Показатель Line Flow Security Index [2] учитывает значения перетоков активной мощности в сечениях. Поскольку для перетока мощности требуется указывать только верхний предел, то для каждой линии указываются два типа верхних пределов: максимально допустимый переток P_F и предельный переток P_P .

$$PI_{mw} = \left[\sum_i^{NL} \left(\frac{d_{P,j}}{g_{P,j}} \right)^{2-n} \right]^{\frac{1}{2-n}}, \quad (2)$$

Из показателя, разработанного в [1], и показателя, рассмотренного выше, может быть скомбинирован Composite Security Index [2]. В нем учитывается влияние возмущения на напряжения в узлах и на перетоки активной мощности по сечениям:

$$PI_{VP} = \left[\sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{d_{v,i}^u}{g_{v,i}^u} \right)^{2-n} + \sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{d_{v,i}^l}{g_{v,i}^l} \right)^{2-n} + \sum_i^{NL} \left(\frac{d_{p,j}}{g_{p,j}} \right)^{2-n} \right]^{\frac{1}{2-n}}, \quad (3)$$

Рассмотренные показатели тяжести не учитывают токовую загрузку электросетевого оборудования. В связи с этим необходимо модифицировать показатель PI_{VP} , дополнив его членом, учитывающий ток в связях.

Комбинированный показатель, указывающий на превышение/снижение напряжений в узлах, превышение перетока активной мощности и токовой нагрузки электросетевого оборудования, будет иметь следующий вид:

$$PI_{ALL} = \left[\sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{d_{v,i}^u}{g_{v,i}^u} \right)^{2-n} + \sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{d_{v,i}^l}{g_{v,i}^l} \right)^{2-n} + \sum_i^{NL} \left(\frac{d_{p,j}}{g_{p,j}} \right)^{2-n} + \sum_i^{NL} \left(\frac{d_{l,j}}{g_{l,j}} \right)^{2-n} \right]^{\frac{1}{2-n}}, \quad (4)$$

Для задач противоаварийного управления также может быть составлен комбинированный показатель, по которому возможно осуществить контроль нескольких параметров режима одновременно. В существующем алгоритме I-ДО проверки допустимости режима по критерию статической аperiodической устойчивости (оценка K_H) и по токовой нагрузке происходят последовательно, следовательно объем УВ пересчитывается несколько раз, что увеличивает длительность расчетного цикла.

При использовании комбинированного показателя тяжести, имеется возможность выбрать такой объем УВ, чтобы ввести режим в допустимую область по всем критериям одновременно.

Предлагаемый комбинированный показатель тяжести:

$$PI_{KH} = \left[\left(\frac{K_{H.ЛЕК.}}{K_{H.ПРЕД.}} \right)^{2-n} + \sum_i^{NL} \left(\frac{d_{l,j}}{g_{l,j}} \right)^{2-n} \right]^{\frac{1}{2-n}}, \quad (5)$$

где K_H отвечает за проверку допустимости режима по статической устойчивости; $d_{l,j}$ обеспечивает проверку допустимости режима по токовым ограничениям; $K_{H.ПРЕД.} = 0,92$, что соответствует 8% запасу по статической устойчивости в послеаварийном режиме.

Выбранный показатель тяжести нормирован, при значении $PI_{KH} < 1$ режим допустим, запас по статической устойчивости больше 8%, токи по связям меньше значений АДТН.

Исследование возможности применения показателей тяжести для оценки характера изменения режима при оперативном управлении

Вычислительный эксперимент по применению показателей тяжести для задач оперативного диспетчерского управления был проведен на модели ОЭС Сибири. В качестве исследуемого района принята энергосистема Омской области.

Оценим значения показателя PI_{ALL} при ликвидации перегрузки сечения «Сальдо Омска» по активной мощности.

Таблица 1 – Значения показателя тяжести при вводе УВ на Омской ТЭЦ-5

Объем УВ	PI_{ALL}	ΔPI_{ALL}	Сечение «Сальдо Омска», МВт (МДП 950 МВт)	Сечение «Омская ТЭЦ-5 – Октябрьская», МВт (МДП 150 МВт)
Д/АВ	0,7244	0	994 (МДП=1100)	135
П/АВ	1,5959	-0,8715	985	140
$P_{ТЭЦ-5}$ -10 МВт	1,4958	0,1001	975	144
$P_{ТЭЦ-5}$ -20 МВт	1,4387	0,0571	965	149
$P_{ТЭЦ-5}$ -30 МВт	1,4908	-0,0521	956	154
$P_{ТЭЦ-5}$ -40 МВт	1,6781	-0,1873	946	158

	– Положительное приращение показателя
	– Отрицательное приращение показателя

В данном случае УВ, введенные для снижения перетока в сечении «Сальдо Омска», привели к увеличению перетока в сечении «ТЭЦ-5 – Октябрьская», что можно увидеть по отрицательным приращениям показателя.

Из результатов расчета можно сделать вывод, что по величине относительного изменения использовавшегося комбинированного показателя тяжести возможно оценить вектор изменения режима и учесть влияние управляющего воздействия на энергосистему в целом. Однако при этом сохраняется возможность оценить изменение каждой составляющей показателя отдельно, а также разложить приращения показателя по всем узлам и ветвям математической модели, что позволяет локализовать наблюдаемые нарушения режима. Таким образом, по приращению показателя можно оценивать изменения ВИР при вводе управления для разгрузки сечений, устранения токовых перегрузок, ввода напряжения в допустимую область.

Определение наиболее эффективного места приложения управляющих воздействий противоаварийной автоматики

Для оценки применимости исследуемых показателей тяжести для задач противоаварийного управления, был проведен эксперимент

на расчетной модели ПТК ЦСПА ОЭС Сибири в ПК RastrWin3. Выполнены расчеты режимов для выбора места и типа УВ ПОр АРОЛ – 503, срабатывающего при отключении ВЛ 500 кВ Камала-1 – Тайшет № 1.

Таблица 2 – Расчет эффективности УВ

№	ОУ	Тип	K_H	PI_{VP}	PI_{VPI}	ΔK_H	ΔPI_{VP}	ΔPI_{VPI}
1	СШГЭС	ОГ	0,962671	0,7253	2,3359	0,000181	-0,0132	-0,0003
2	КрГЭС	ОГ	0,962309	0,7257	2,3351	0,000543	-0,0136	0,0005
3	БрГЭС	ОГ	0,933595	0,6093	1,8725	0,029257	0,1028	0,4631
4	Енисей 220	ОН	0,958162	0,6991	2,3163	0,004690	0,013	0,0193
5	Власиха	ОН	0,962888	0,7043	2,3355	-0,000036	0,0078	0,0001
6	НКАЗ-2	ОН	0,963086	0,7041	2,3355	-0,000234	0,008	0,0001
7	САЗ	ОН	0,963103	0,7084	2,3354	-0,000251	0,0037	0,0002
8	БрГ(сш)	ОН	1,035575	-	-	-0,072723	-	-
9	Иркут.	ОН	1,039115	-	-	-0,076263	-	-
10	БоГЭС	ОГ	0,941655	0,6145	2,0183	0,021197	0,0976	0,3173

	– управление на ОУ эффективно по всем показателям
	– управление на ОУ эффективно по одному показателю
	– управление на ОУ не эффективно

Отрицательные приращения показателей тяжести соответствуют утяжелению режима, после ввода УВ. Отрицательное влияние УВ может наблюдаться, если выбран неверный тип управления. Например, для разгрузки опасного сечения необходимо использовать ОГ в избыточной части энергосистемы. ОГ в дефицитной части энергосистемы вызовет утяжеление режима.

Наиболее эффективными ОУ, согласно показателям, оказались Братская ГЭС, Богучанская ГЭС. Согласно протоколу расчета алгоритмом I-ДО данного ПОр, в качестве наиболее эффективных мест ввода УВ по K_H были выбраны те же электростанции.

Определение необходимого объема УВ на основании оценки комбинированного показателя тяжести

Данный расчетный эксперимент был выполнен для оценки применимости комбинированного показателя тяжести для выбора объема управляющих воздействий. Расчеты также выполнены для ПОр АРОЛ – 503. Значение показателя $PI_{KH}=3,05$ в послеаварийном режиме указывает на его недопустимость. На предыдущем этапе расчетов определено, что наиболее эффективными ОУ являются Братская ГЭС, Богучанская ГЭС. Поэтому для выбора объема УВ

выполнен расчет значений показателя при вводе доступных ступеней на данных ОУ.

Таблица 3 – Значения показателя тяжести при выборе объема УВ

Объем УВ, МВт	ОУ	PI_{KH}	K_H	PI_I
ПАР	-	3,0536	0,9629	85,5946
179,81	БрГЭС	2,4825	0,8936	37,1557
190,48	БрГЭС	1,9454	0,8252	13,8509
308	БоГЭС	1,4913	0,7163	4,7871
309,52	БоГЭС	1,0842	0,6242	1,3355
307,84	БоГЭС	0,7063	0,5754	0,2289

На основании результатов оценки комбинированного показателя можно сделать вывод, что для ввода режима в допустимую область необходимо ввести следующие УВ: 370,29 МВт на Братской ГЭС, 925,36 МВт на Богучанской ГЭС. Выбранный объем УВ соответствует рассчитанному по алгоритму I-ДО ПТК ЦСПА, однако, при этом обе проверки допустимости режима осуществляются одновременно, что позволяет сократить количество совершенных операций и расчетов, по сравнению с существующим алгоритмом I-ДО.

Заключение

В данной работе были продемонстрированы возможности применения показателей тяжести установившегося режима для различных задач оперативно-диспетчерского управления.

Предложенные комбинированные показатели тяжести могут быть использованы для наблюдения вектора изменения режима, оценки влияния управления на всю энергосистему в целом и локализации наблюдаемых нарушений режима.

При противоаварийном управлении использование комбинированного показателя тяжести позволит сократить число операций в алгоритме I-ДО и время выполнения расчетного цикла. При этом результаты расчетов подтверждают совпадение с результатами, полученными ПТК ЦСПА.

Список используемых источников

1. K. Nara, K. Tanaka, H. Kodama, R.R. Shoultz, M.S. Chen, P. Van Olinda, D. Bertagnolli, On-line contingency selection algorithm for voltage security analysis. IEEE Trans. Power Appar. Syst. 104(4), 846–856 (1985)
2. R. Sunitha, K.R. Sreerama, A.T. Mathew, Development of a composite security index for static security evaluation, in IEEE Region Annual International Conference, Proceedings/TENCON, pp. 1–6, 2009

Научный руководитель: А.В. Прохоров, к. т. н., доцент, Отделение электроэнергетики и электротехники НИ ТПУ.