



## ВЫБОР МЕТОДИКИ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Д.И. Дехтярева, магистрантка  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

В статье проанализированы существующие методики по расчету статической и динамической устойчивости энергосистемы.

*анализ, устойчивость энергосистемы, режим, нормативное возмущение, коэффициент запаса, максимально допустимый переток*

Обеспечение энергетической безопасности потребителей гарантировано корректным планированием и управлением электроэнергетическими режимами и заключается в своевременном выявлении «узких» мест (слабых связей, перегружаемых элементов, наиболее тяжелых аварийных возмущений и их последствий) и грамотной их ликвидации (усиление сети, строительство генерирующих мощностей и т.д.).

Одним из способов обнаружения «узких» мест является проведение расчета и анализа устойчивости энергосистемы.

В настоящее время основополагающим нормативным документом, используемым при инженерном анализе устойчивости энергосистем в различных организациях электроэнергетики, осуществляющих эксплуатацию, и проектных институтах, являются «Методические указания по устойчивости энергосистем», утвержденные Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 30.06.2003 № 277 [1].

«Методические указания по устойчивости энергосистем» определяют основные требования к устойчивости энергосистем [1]. В них раскрываются термины: «устойчивость энергосистем», «связь», «сечение», «максимально допустимый переток», «нормативное возмущение». Вводится разделение схем на «нормальные» и «ремонтные», а перетоков мощности в сечениях на «нормальные» и «вынужденные» (при эксплуатации).

Согласно методическим указаниям [1], запасы устойчивости энергосистем нормируются.

С учетом нормированных коэффициентов запаса устойчивости приводятся формулы для определения допустимых перетоков мощности в сечениях по четырём «критериям»:

- критерий обеспечения запаса статической (апериодической) устойчивости по активной мощности в сечении;
- критерий обеспечения запаса статической устойчивости по напряжению в узлах нагрузки;
- критерий обеспечения допустимой токовой нагрузки оборудования;
- критерий непревышения предельного по динамической устойчивости перетока в сечении при всех нормативных возмущениях с учетом действия противоаварийной автоматики (далее – ПА).

Причем максимально допустимые перетоки (далее – МДП) в исходном доаварийном режиме по трем первым критериям также представляются в виде функции от перетока в послеаварийном режиме с учетом действия ПА и соответствуют следующему выражению:

$$P_M \leq P^{\delta/av} (P^{n/av}) - \Delta P_{HK} + \Delta P_{ПА}, \quad (1)$$

где  $P_M$  – максимально допустимый переток в рассматриваемом сечении, МВт;

$P^{d/av}$  – переток активной мощности в рассматриваемом сечении в доаварийном режиме, МВт;

$P^{n/av}$  – переток активной мощности в сечении в послеаварийном установившемся режиме, МВт;

$\Delta P_{нк}$  – амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в сечении, МВт;

$\Delta P_{ПА}$  – приращение допустимого перетока мощности в сечении за счет управляющих воздействий ПА долговременного действия на изменение мощности, МВ» [1].

Функция перетока в доаварийном режиме от перетока в послеаварийном режиме  $f = P^{d/av} (P^{n/av})$  вводится для возможности учета влияющих факторов, например, изменения потерь мощности или шунтирующих связей, не включенных в рассматриваемое частичное сечение [1].

Допустимые перетоки мощности устанавливаются расчетами режимов энергосистемы. В указаниях приводятся общие принципы по вычислению предельных, максимально и аварийно допустимых перетоков и рекомендуется использование значений перетоков активной мощности для контроля соблюдения нормативных запасов устойчивости при эксплуатации энергосистем.

Контроль загрузки межсистемных и внутрисистемных транзитных связей (сечений) при эксплуатации энергосистем также осуществляется в соответствии с «Инструкцией по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем», утвержденной Приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 289 [2].

На основании [1] в ОАО «СО ЕЭС» разработан стандарт организации «Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС»» [3].

В стандарте приводятся:

- рекомендации по выбору траекторий утяжеления режима;
- требования к исходным режимам;
- методология расчета максимально и аварийно допустимых перетоков по указанным четырем критериям.

Кроме этого, в стандарте вводится дополнительный пятый – «частотный критерий» определения МДП [3], поскольку «Методические указания по устойчивости» допускают представлять предельный переток в виде функции влияющих режимных параметров:

$$P_{np} = \varphi(P_1, P_2, \dots) \quad (2)$$

На основании Правил определения МДП [3] в ОАО «СО ЕЭС» подготовлен «Регламент разработки, выполнения и контроля технико-экономических обоснований реконструкции системы противоаварийной автоматики...» [4], в котором приводится форма представления результатов расчета МДП (таблица).

Таблица – Форма представления результатов расчета МДП

№ п/п	Схема сети	Наименование контролируемого сечения	Вариант траектории утяжеления	Допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической аperiodической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении (или по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса по напряжению в узлах нагрузки) в нормальной (ремонтной) схеме		
				Предельный переток, $P_{пр}$ , МВт	$P_{пр} \cdot 0,8 - \Delta P_{нк}$ , МВт	$P(U_{доп}) - \Delta P_{нк}$ , МВт
1	2	3	4	5	6	7
...	...	...	...	...	...	...

Продолжение таблицы

Допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса статической апериодической устойчивости по активной мощности в контролируемом сечении (или по критерию обеспечения нормативного коэффициента запаса по напряжению в узлах нагрузки) в послеаварийных режимах после аварийных возмущений					
Нормативное возмущение	Предельный переток, $P_{пр}$ , МВт	$P_{пр}^{п/ав}$ 0,92, МВт	$P_{д/ав} (P_{п/ав})$ , МВт	$P_{д/ав} (P_{п/ав}) - \Delta P_{нк}$ , МВт	$P(U_{ав, доп}) - \Delta P_{нк}$ , МВт
8	9	10	11	12	13
...	...	...	...	...	...

Продолжение таблицы

Допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки электросетевого оборудования в нормальной (ремонтной) схеме				
Температура наружного воздуха, °С	Предельный переток, $P_{пр}$ , МВт	Элемент – ограничитель	Длительно допустимая токовая нагрузка, А	$P_{ток} - \Delta P_{нк}$ , МВт
14	15	16	17	18
...	...	...	...	...

Продолжение таблицы

Допустимый переток активной мощности по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки электросетевого оборудования в послеаварийных режимах после нормативных возмущений					
Нормативное возмущение	Переток в послеаварийной схеме $P_{ток}^{п/ав}$ , МВт	Переток в доаварийной схеме $P_{ток}^{д/ав}$ , МВт	Элемент – ограничитель	Аварийно допустимая токовая нагрузка, А	$P_{ток}^{д/ав} - \Delta P_{нк}$ , МВт
19	20	21	22	23	24
...	...	...	...	...	...

Продолжение таблицы

Результаты расчетов динамической устойчивости (ДУ)				
Нормативное возмущение	Предельный переток по ДУ без учета действия ПА ( $P_{дин пр}$ ), МВт	$(P_{дин пр}) - \Delta P_{нк}$ , МВт	Предельный переток по ДУ с учетом действия ПА ( $P_{дин пр}^{ПА}$ ), МВт	$P_{дин пр}^{ПА} - \Delta P_{нк}$ , МВт
25	26	27	28	29
...	...	...	...	...

Окончание таблицы

Максимально допустимый переток		
Температура наружного воздуха, °С	МДП без ПА, МВт	МДП с ПА, МВт
30	31	32
...	...	...

Причем с учетом ГОСТ Р 55105-2012 «...Противоаварийная автоматика энергосистем...» и его требований к автоматике ограничения перегрузки оборудования [5], а также требований «Типового положения по управлению режимами энергосистемы...», применяемого ОАО «СО ЕЭС» [6], расчет МДП по критерию обеспечения допустимой токовой нагрузки оборудования проводится для температур наружного воздуха от минус 20 °С до плюс 40 °С (с шагом 5 °С).

Результаты расчетов МДП, отраженные в форме (таблица) в виде единственного контролируемого параметра, выраженного в мегаваттах, наглядны и могут напрямую использоваться при решении большого круга инженерных задач:

- текущее управление электроэнергетическим режимом;
- долгосрочное и краткосрочное планирование электроэнергетических режимов;
- разработка суточных графиков нагрузок электростанций;
- расчет и выбор состава включенного генерирующего оборудования;
- выбор настроек и определение объемов управляющих воздействий противоаварийной автоматики;
- определение «узких мест» в целях разработки схем и программ перспективного развития энергосистем и др.

Таким образом, Системный оператор (ОАО «СО ЕЭС») своими нормативными документами развил и конкретизировал общие принципы вычисления МДП для контроля соблюдения нормативных запасов устойчивости по одному режимному параметру, как при проектировании, так и эксплуатации энергосистем, и объединил их в собственную методику.

Данная методика учитывает и то, что для расчета устойчивости используются специальные программы, обеспечивающие циклический, автоматический расчет множества серий последовательно утяжеленных режимов при всех возможных в энергорайоне возмущающих воздействиях и выбор из них предельного по определенному критерию устойчивости.

Однако в силу обобщенности и неопределенностей, заложенных в Методических указаниях по устойчивости энергосистем [1], в настоящее время остаются подходы, при которых определяются не МДП, а предельные перетоки мощности и коэффициенты запаса по активной мощности в сечении ( $k_p$ ) и запаса по напряжению в узлах нагрузки ( $k_U$ ). Для проверки допустимости электроэнергетических режимов на предмет возможного превышения допустимой токовой нагрузки оборудования и оценки необходимых величин управляющих воздействий проводятся отдельные серии расчетов. Результаты расчетов устойчивости представляются в виде разрозненных таблиц различных параметров.

Коэффициенты запаса по активной мощности в сечении ( $k_p$ ) и запаса по напряжению в узлах нагрузки ( $k_U$ ). ) определяются по формулам:

$$k_p = (P_{np} - (P + \Delta P_{нк}))/P_{np}; \quad (3)$$

$$k_U = (U - U_{кр})/U, \quad (4)$$

где  $P_{np}$  – предельный по апериодической статической устойчивости переток активной мощности в рассматриваемом сечении;

$P$  – переток в сечении в рассматриваемом режиме,  $P > 0$ ;

$U$  – напряжение в узле в рассматриваемом режиме;

$U_{кр}$  – критическое напряжение в том же узле, соответствующее границе статической устойчивости электродвигателей.

Провести анализ результатов расчета запасов устойчивости, представленных в виде наборов таблиц различных параметров, оценить величины требуемых объемов управляющих воздействий ПА в данном случае оказывается сложно, так как отсутствует параметр, по которому их можно сопоставить. Если в энергосистеме имеется несколько контролируемых сечений, тогда анализ и использование результатов расчета запасов устойчивости становятся еще более затруднительными.

В связи с этим использование результатов данного подхода в решении задач управления энергосистемой невозможно. Например, имея данные об энергопотреблении территории, нельзя предсказать допустимую нагрузку электрических станций в текущий момент.

Таким образом, единственной адекватной методикой контроля и анализа соблюдения нормативных запасов устойчивости энергосистемы, как при ее проектировании, так и текущей эксплуатации, является методика Системного оператора (ОАО «СО ЕЭС»).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по устойчивости энергосистем. Утверждены приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 277.

2. Инструкция по предотвращению и ликвидации аварий в электрической части энергосистем. Утверждена приказом Минэнерго России от 30.06.03 № 289.

3. Правила определения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС».

4. Регламент разработки, выполнения и контроля решений технико-экономических обоснований реконструкции системы противоаварийной автоматики в операционных зонах филиалов ОАО «СО ЕЭС» РДУ.

5. ГОСТ Р 55105-2012 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования.

6. Типовое положение по управлению режимами работы энергосистем в операционной зоне диспетчерского центра ОАО «СО ЕЭС».

#### CHOICE OF A METHOD OF THE ANALYSIS OF STABILITY OF A POWER SUPPLY SYSTEM

D.I. Dekhtyareva, undergraduate, Kaliningrad State Technical University.  
dekhtyareva.darya@yandex.ru

In the article are analyzed the existing methods of calculation of static and dynamic stability of a power supply system.

*analysis, stability of a power supply system, mode, reference incident, degradation coefficient, maximum allowable transport capacity*