

УДК 621.311

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ НЕОДНОРОДНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

ГУСЕЙНОВ А.М., АХУНДОВ Б.С.

*Азербайджанский Научно-Исследовательский Институт
Энергетики и Энергетического Проектирования*

Рекомендуется простейшая методика выявления слабых элементов в энергосистеме на уровне принятия предпроектных технических решений в условиях развития.

Электроэнергетическая система (ЭС) представляет собой, как известно, сложный комплекс взаимосвязанных и взаимозависимых элементов, объединенных единым процессом производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Это разнородные по своей физической сущности элементы (электрические, электромеханические, тепло- и гидротехнические), размещение и объединение которых исторически диктовалось условиями дислокации топливных ресурсов, концентрацией объектов потребления в конкретных регионах. Эти же, а также экономические условия, привели к созданию еще более сложных комплексов – объединенных ЭС. В результате сложившаяся структура оказывается весьма неоднородной. Это проявляется в наличии в ЭС избыточных и дефицитных районов, узлов нагрузки с относительно низким уровнем напряжения, низким уровнем надежности, устойчивости и живучести.

Структура Азербайджанской ЭС в этом смысле не является исключением. В ней присутствует дефицитный (Апшеронский) узел потребления, избыточный (Мингечаурский) узел генерирующей мощности, низкий уровень напряжения в Северных районах, большой переток (более 1000МВт) из избыточного района в дефицитный (380км) по связке ВЛ-220-330-500 кВ. Перечисленное, а также различие параметров блоков (в ЭС АР действуют 1х400, 7х150, 8х300 МВт-ые генераторы) порождают неоднородность структуры. В этой структуре реакция элементов на возмущения неоднозначна. Особое внимание требуется к так называемым слабым, чувствительным элементам.

Естественно, что для обеспечения надежности электроснабжения, устойчивости и живучести ЭС в последней действуют сложные системы регулирования, средства режимной и противоаварийной автоматики. Для обеспечения их эффективности и вообще оценки состояния ЭС необходимо проведение, как на стадии проектирования, так и эксплуатации многочисленных трудоемких и сложных расчетов: расчет потокораспределения в нормальных, ремонтных, послеаварийных схемах, уровней напряжения, уставок автоматики предупреждения нарушения устойчивости (АПНУ), автоматики ликвидации асинхронного режима (АЛАР) и запасов статической и динамической устойчивости.

В условиях непрерывного развития ЭС, обусловленного ростом потребности экономики в электроэнергии, возникают предложения о строительстве новых электростанций (их мощности и размещения), линий электропередач и подстанций. Еще до передачи этих предложений в виде технических заданий на проектирование целесообразно выполнить упрощенную оценку влияния будущей их реализации на надежность режима и структуры ЭС, минуя вышеприведенный сложный объем расчетов. Для этого необходимо выявить некоторые показатели, которые адекватно характеризовали бы структуру ЭС и отличались относительной простотой их оценок.

Актуальность проблемы подтверждается появлением ряда работ, в которых для характеристики действующей структуры, ее способности противостоять возмущениям, вводятся понятия «слабых» или «чувствительных» (сенсорных) элементов ЭС /1,2/.

«Слабыми» элементами в действующей структуре ЭС могут быть:

- линии электропередачи, имеющие ограничения по току;
- линии электропередачи или сечения, передача мощности по которым ограничивается условиями статической устойчивости;
- синхронные генераторы, положение которых в структуре передачи мощностей и параметры предопределяют различие в колебаниях и росте углов ЭДС при возмущениях;
- узлы нагрузки, для которых характерен относительно низкий уровень напряжения и др.

В условиях режимных и структурных изменений количественные характеристики слабых элементов, их дислокация в структуре может претерпевать изменения.

Поэтому в условиях предпроектных решений необходимо иметь мнение о степени влияния на структуру ЭС то или иное техническое решение.

Для этого в свою очередь необходимо иметь количественные характеристики и сравнительно простые способы определения слабых мест в ЭС.

Настоящая публикация посвящена одному наиболее простому способу определения слабых элементов ЭС в условиях оперативно-диспетчерского управления.

В установившихся режимах работы, если возмущающими воздействиями считать токи (ΔI), то реакция проявляется в виде изменения напряжения (ΔU) в узлах и эта зависимость четко представляется (в матричной записи) как

$$\Delta U = Y^{-1} \Delta = Z \Delta I$$

где Y и Z – соответственно, квадратные матрицы проводимостей и сопротивлений ЭС.

Эти матрицы устанавливают зависимость между током и напряжением в узлах ЭС и не зависят от режима, а только от структуры (схемы) ЭС. Если в качестве возмущений рассматривать изменения активных и реактивных мощностей, то реакция ЭС определяется из системы нелинейных уравнений баланса активных и реактивных мощностей в узлах с учетом зависимостей от напряжений и фаз напряжений узлов и ЭДС генераторов. В линеаризованном виде эта зависимость отражается в виде известной матрицы Якоби /1/:

$$\frac{\partial W}{\partial X} \Delta X = \Delta W \quad (1)$$

где: W – активная и реактивная мощности;

X – модуль и фаза напряжения или ЭДС.

Для установившихся режимов матрица Y^{-1} (или Z) и $\partial W / \partial X$ отражают обобщенные связи между узлами ЭС, т.е. дают представления о количественных характеристиках этих связей. По элементам этих матриц можно определить наличие в ЭС слабых элементов, место и размещения и в целом уровень неоднородности структуры.

Используя (1) перейдем к линеаризованному виду связи между изменениями активной и реактивной мощности и фазами и модулями напряжения:

$$\begin{vmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{vmatrix} = j^{-1} \begin{vmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{vmatrix}$$

где j^{-1} - обратная матрица Якоби, имеющая следующую структуру.

$$\begin{vmatrix} \frac{\partial \delta}{\partial P} & \frac{\partial U}{\partial P} \\ \frac{\partial \delta}{\partial Q} & \frac{\partial U}{\partial Q} \end{vmatrix} = j^{-1}$$

Каждый из элементов этой блочной структуры имеет физический смысл, т.к. отражает реакцию обобщенных координат на малые приращения (или небалансы) активных и реактивных мощностей. При этом каждый элемент матрицы зависит не только от структуры, но и от режима. Для оценки состояния устойчивости энергосистемы наибольший интерес будут представлять элементы левого верхнего и правого нижнего блока.

В условиях малости возмущения частные производные могут быть заменены отношением приращения соответствующих параметров, т.е.

$$\begin{array}{|c|c|} \hline \Delta\delta / \Delta P & \Delta U / \Delta P \\ \hline \Delta\delta / \Delta Q & \Delta U / \Delta Q \\ \hline \end{array} = j^{-1} \quad (2)$$

Рассмотрим возможность использования левого верхнего блока на выявление «слабых» синхронных генераторов энергосистемы.

Если на валу i -того с.г. возникает малое возмущение в виде небаланса активной мощности, то претерпевает изменение фаза ЭДС этого генератора. По величине этого изменения можно судить о степени чувствительности i -того генератора. Чем больше отношение, тем чувствительнее (слабее) генератор. Одновременно с этим возникает изменение углов ЭДС других генераторов ЭС по мере их удаленности (связности) от i -того с.г. и при постоянстве их мощностей.

Таким образом, по наибольшим значениям диагональных элементов можно выявить слабые генераторы, а по недиагональным – степень связности между генераторами. Нетрудно предположить, что эти показатели зависят от ЭДС генераторов и взаимных связей (проводимостей). Однако расчет этих величин не требуется. В службах режимах Диспетчерского Управления на ПК задействованы схемы и программы расчета установившегося режима, с помощью которых можно оперативно реализовать методику подачи малого возмущения на станции и измерения приращений углов.

Вышеизложенное положение апробировано на примере структуры и режима ЭС АР.

В структуре сети 110-220-330-500кВ действуют 7 электростанций, 110 узлов нагрузок. В виду неоднозначности схем выхода генераторов многоблочных электростанций на шины высшего напряжения и их параметров, в схеме замещения представлены 16 генераторов. В схеме присутствует межсистемная связь с мощной ЭС России, в качестве балансирующего узла выбран узел подключения Чиркей ГЭС (Россия, Северный Кавказ) на конце межсистемной связи ВЛ 330кВ Яшма-Дербент.

Рассматривалась оценка степени неоднородности при следующих изменениях режима и схемы ЭС.

1. Исходная схема: режим 3700МВт
2. Схема режима 3700МВт с включением ВЛ 330кВ 6-ой Мингечаурской
3. Та же схема (п.2): режим 4100МВт, включение первого Блока ПГУ-400МВт на Шимал ГРЭС
4. Та же схем (п.2) и режим (п.3) с включением второго блока ПГУ-400МВт на Шимал ГРЭС
5. Та же схема (п.4) режим 4800МВт.

Расчет выполнялся по действующей в Диспетчерской службе ОАО «Азербэрги» программе «Мустанг». Для каждого варианта задавалось на i -генераторе небаланс мощности 5% и производились замеры углов ЭДС этого и других генераторов при постоянстве электромагнитных мощностей на последних. Результаты расчета диагональных элементов левой верхней матрицы Якоби приведен в таблице 1.

Представляет интерес анализ этой таблицы.

Особенно чувствительными являются генераторы блоков АзГРЭС, работающие на шины 500 и 330 кВ, а также генераторы Шамкир ГЭС и Бакинской ТЭЦ-1.

Первый вариант схемы и режима характеризуется высокой чувствительностью. В этом варианте выявляется различие в чувствительности к малым возмущениям отдельных генераторов Али-Байрамлинской ГРЭС и Мингечаурской ГЭС.

Объясняется эта ситуация отсутствием в схеме замыкающего кольца системообразующей сети 220-330-500 кВ.

Второй вариант отличается от первого включением замыкающей ВЛ-330 кВ 6-ой Мингечаурской. Это схемное решение в сильной степени снижает чувствительность всех генераторов к возмущениям. Можно судить об улучшении устойчивости всей системы в целом (вариант реализован на практике).

В то же время чувствительность генераторов Азербайджанской ГРЭС и Шимал ГРЭС выше остальных.

Как и следовало ожидать, другие изменения (режима и включение генераторов на Шимал ГРЭС) не вносят принципиальных изменений. Структура неоднородности остается прежней: чувствительными (слабыми) являются генераторы АзГРЭС и Шимал ГРЭС.

Предлагаемый простой инженерный подход может быть использован для выявления групп генераторов (электростанций) одинаковой чувствительности. Состав и число таких групп изменяется в зависимости от места возникновения возмущения. В соответствии с (2)-это внедиагональные элементы левой верхней обратной матрицы Якобы, сгруппированные по показателям чувствительности.

В таблице 2 приведены эти группы для 4 вариантов характерных мест приложения возмущений, причем старшей по номеру группе соответствует большая чувствительность (т.е. более слабые генераторы). Первые номера генераторов электростанций, где возник небаланс мощности, соответствуют большей чувствительности (т.е. более слабые).

Анализ таблицы 2 дает представления о географической структуре размещения электростанций, т.е. о степени их связности. Следует предположить, что Али-Байрамлинская ГРЭС находится в "электрическом" центре, т.к. при возмущении на ней все остальные генераторы получают одинаковые приращения углов ЭДС (вариант 3) - одна группа.

Таблица 2.

	Место приложения возмущений	I группа генераторов электростанций	II группа генераторов электростанций	III группа генераторов электростанций
1.	Азербайджанская ГЭС (330 кВ)	Али-Байрамлы ГРЭС Шимал ГРЭС Бакинская ТЭЦ-1	Мингечаурская ГЭС Шамкир ГЭС Еникенд ГЭС Азербайджанская ГРЭС (500 кВ)	—
2.	Шимал ГРЭС	Мингечаурская ГЭС Шамкир ГЭС Еникенд ГЭС Али-Байрамлы ГРЭС Азербайджанская ГРЭС (330 и 500 кВ)	Бакинская ТЭЦ-1	—
3.	Али-Байрамлы ГРЭС	Генераторы всех электростанций	—	—
4.	Мингечаурская ГЭС	Али-Байрамлы ГРЭС Шимал ГРЭС Бакинская ТЭЦ-1	Шамкир ГЭС Еникенд ГЭС Азербайджанская ГРЭС (330 и 500 кВ)	—

При возмущении на Шимал ГРЭС во вторую группу выделяются генераторы Бакинской ТЭЦ-1, т.к. они близко расположены к Шимал ГРЭС (вариант 2) и имеют более высокую чувствительность. В 1 и 4 вариантах возмущений просматривается разделение генераторов электростанции: Восток-Запад. Причем в последней более чувствительной группе группируются в основном ГЭС ЭС.

Таким образом, получено представление о чувствительных генераторах ЭС и группах генераторов одинаковой чувствительности в зависимости от места возмущения.

Предположительно, что в переходных режимах возможно когерентное движение (синфазное) генераторов внутри каждой группы при равенстве полученных начальных ускорений.

Полученные результаты свидетельствуют о степени неоднородности системы.

Выводы.

Предложена инженерная экспресс-методика выявления слабых элементов (генераторов) сложной электрической системы и групп генераторов одинаковой чувствительности, характеризующих степень неоднородности структуры энергосистемы. Методика рекомендуется к использованию при принятии предпроектных решений в связи с развитием структуры и режимов энергосистемы.

-
1. *Войтов О.Н., Воронай Н.И., Гамм А.З. и др.* Анализ неоднородностей электроэнергетических систем. "Наука" Новосибирск 1999.
 2. *Юсифбейли Н.А.* Теоретико-методические основы функционирования диспетчерского управления в новых условиях. Автореферат, докт.дисс. Баку- 2004г.

ENERJİSİSTEMİN QEYRİ-MÜNTƏZƏMLİK DƏRƏCƏSİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN EKSPRESS-ÜSULU

HÜSEYNOV A.M., AXUNDOV B.S.

İnkişaf şəraitində layihəqabağı texniki qərarların qəbul edilməsi səviyyəsində enerjisistemin zəif elementlərinin təyin olunmasının sadə nəzəriyyəsi tövsiyə olunur.

PROXIMATE METHOD OF POWER SYSTEM'S NONUNIFORMITY DEGREE ESTIMATION

GOUSEYNOV A.M., ACHUNDOV B.S.

Simple methods of power system's poor elements determination for making a before design decisions in development conditions is recommended

Таблица 1.

	Схема, режим	Мин ГЭС	А/Б ГРЭС	А/Б ГРЭС	А/Б ГРЭС	Шимал ГРЭС	Шамкир ГЭС	Шамкир ГЭС	Азерб. ГРЭС 500 кВ	Азерб. ГРЭС 330 кВ	Мин ГЭС	А/Б ГРЭС	А/Б ГРЭС	А/Б ГРЭС	Бак. ТЭЦ-1	Еникенд ГЭС
1	Исходная схема 3700 МВт	2,97	0,98	0,81	1,3	1,69	4,19	4,06	4,54	5,4	3,44	1,34	1,15	5,61	3,52	4,08
2	Режим 3700 МВт включена 6-ая Мингечаурская ВЛ 330 кВ	0,517	0,646	0,694	0,84	1,448	0,802	0,68	1,999	2,113	0,605	0,707	0,8	0,73	0,751	0,711
3	4100 МВт норм.схема ПГУ-400 на Шимал ГРЭС	0,585	0,711	0,755	0,932	1,836	0,816	0,745	2,363	2,765	0,656	0,765	0,89	0,81	0,731	0,792
4	4100 МВт норм.схема 2-х ПГУ-400 на Шимал ГРЭС	0,561	0,673	0,728	0,901	1,35	0,772	0,704	2,261	1,64	0,632	0,738	0,83	0,77	0,806	0,782
5	4800 МВт норм.схема 2-х ПГУ-400 на ШималГРЭС структурные изменения	0,751	0,694	0,872	0,988	1,431	0,85	0,809	2,342	2,666	0,758	0,748	0,84	0,77	0,85	0,795