

УДК 621.311

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОТЕРИ  
ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ  
БЛОКА ПГУ-400 МВт НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

**ГУСЕЙНОВ А. М., ОДЖАХВЕРДОВА А. С.**

*АзНИИЭ и ЭП*

Рассматриваются процессы в синхронном генераторе нового блока ПГУ-400 МВт фирмы “MITSUBISHI” при потере им возбуждения и оценивается их влияние на устойчивость энергосистемы.

Потеря возбуждения синхронным генератором (с.г.), как известно, возникает по причине технических нарушений в сложной системе возбуждения. Она сопровождается возникновением небаланса мощности на валу с.г. по причине снижения электромагнитной мощности. Вследствие инерционности лишь через некоторое время вступает в действие автоматический регулятор скорости (АРС), уменьшая впуск пара в турбину. Сразу при потере возбуждения с.г. входит в режим потребления реактивной мощности. Потребляемая из энергосистемы (ЭС) реактивная мощность поддерживает выдачу некоторого сниженного значения активной мощности. Однако, это уже происходит в режиме колебания с некоторым скольжением. Наступает асинхронный режим.

Асинхронный режим с.г., потерявшего возбуждения, может оказать влияние на устойчивость работы как соседних с.г. станции, с.г. близлежащих станций, так и ЭС в целом. Степень этого влияния зависит от значимости с.г. в системе, его мощности, параметров, схемы включения в систему и др., что предопределяет необходимость исследования влияния потери возбуждения на с.г. блока ПГУ-400 МВт фирмы “MITSUBISHI”, включенного в Азербайджанскую ЭС в 2002 г. на “Шимал” ГРЭС.

Параметры с.г. блока ПГУ-400 МВт:

$P = 403 \text{ МВт}$	$x'_d = 0,32 \text{ о.е.}$	$T'_{do} = 6,5 \text{ с}$
$\cos \varphi = 0,85$	$x_d = 2,02 \text{ о.е.}$	$T''_{do} = 0,023 \text{ с}$
$U = 21 \text{ кВ}$	$x''_d = 0,25 \text{ о.е.}$	$T'_d = 1,07 \text{ с}$
$M_J = 8070 \text{ кгМ}^2$		$T''_d = 0,018 \text{ с}$
		$T''_{qo} = 0,036 \text{ с}$
		$T_J = 0,84 \text{ с}$

Мощность с.г. составляет примерно 10% от располагаемой мощности ЭС.

Расчетный эксперимент проведен с помощью программного комплекса “Мустанг-95” и включал следующие варианты:

— режимы нагрузки блока 400,300 и 200 МВт при нагрузке ЭС 3700 МВт,

- режим номинальной мощности (400 МВт) блока при нагрузках ЭС 4300 и 3100 МВт (режим максимальной и средней нагрузки) и нормальной перспективной схеме электрической сети 220-330-500 кВ,
- режим номинальной нагрузки (400 МВт) блока при нагрузках ЭС 2800 и 1600 МВт и переводе двух блоков Али-Байрамлинской ГРЭС на работу по ВЛ-230 кВ Имишли-Парсабад (Иран), т.е. режим минимальной нагрузки и измененной схемы ЭС.

Последняя схема характеризуется некоторым ухудшением условий устойчивости в связи с размыканием внутрисистемного кольца линии 220-330-500 кВ.

Для характеристики процессов, происходящих при потере возбуждения, фиксировались:

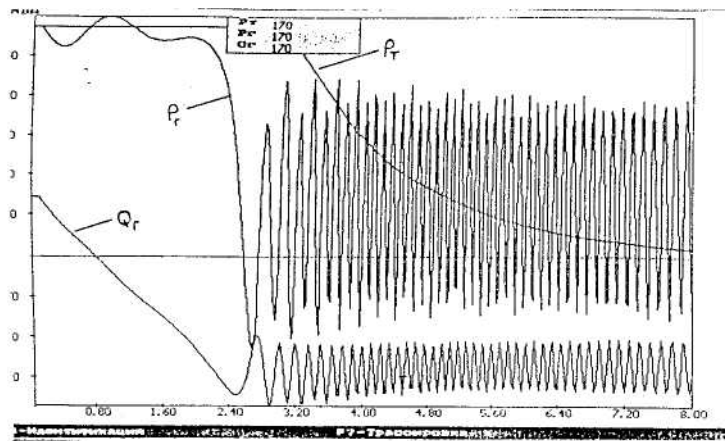
- время выхода из синхронизма;
- диапазон изменения активной и реактивной мощности, тока статора и напряжения;
- скольжение.

На близлежащей станции, какой является Бакинская ТЭЦ-1, на которой установлены 2 блока ГТУ по 55 МВт, фиксировались ток статора генератора и напряжения на выходных шинах 110 кВ станции.

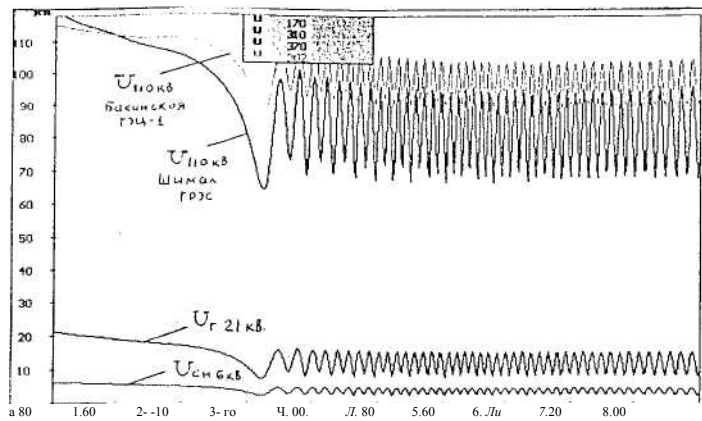
На рис. 1 иллюстрируется характер изменения вышеотмеченных основных показателей при потере возбуждения в условиях номинальной нагрузки с.г. (400 МВт) и нагрузки ЭС-3700 МВт. После незначительных колебаний, примерно на 2-ой с. происходит сброс электромагнитной мощности, а еще через 1 с. вступает в действие АРС, который уменьшает впуск пара в турбину. Выход с.г. из синхронизма и асинхронный ход наступает через 2,9 с после потери возбуждения. Наиболее интенсивно с момента потери возбуждения изменяется реактивная мощность с.г. Потребляемая реактивная мощность создает ток намагничивания, который составляет большую часть тока статора. Максимальная величина потребляемой реактивной мощности составляет 257 МВар. С момента потери возбуждения ток статора начинает увеличиваться и составляет  $1,7I_{ном}$ . Понижение напряжения до 7,4 кВ ( $0,35 U_H$ ) на выводах с.г. 400 МВт, работающего в блоке генератор-трансформатор с отпайкой на собственные нужды (СН), при потере возбуждения приводит к снижению напряжения на шинах СН до 2,2 кВ. Это может привести к остановке блока из-за уменьшения производительности механизмов СН. Перевод питания шин СН с рабочего трансформатора на резервный не приведет к положительному результату, т.к. при этом на СШ 110 кВ “Шимал” ГРЭС напряжение снижается до 64,4 кВ, т.е.  $0,54 U_H$ .

На СШ 110 кВ соседней Бакинской ТЭЦ-1 напряжение снижается до 89,4 кВ, т.е.  $0,78 U_H$ , а ток статора изменяется незначительно. Вышеизложенное является результатом анализа кривых процесса выхода на асинхронный режим, представленных на рис. 1.

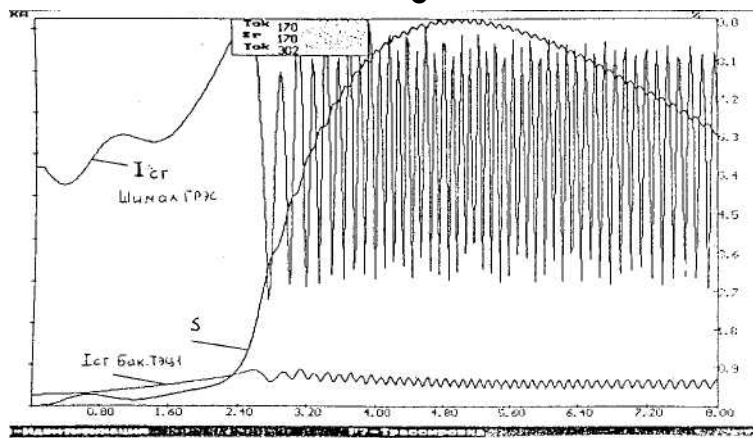
Результаты анализа вариантов расчетного эксперимента представлены в табл. 1



а



б



в

Рис. 1. Процессы в синхронном генераторе блока ПГУ-400 МВт при потере возбуждения

- а.  $P_g, Q_g$  - активная и реактивная мощности с.г.,  
 $P_T$  - мощность турбины.
- б.  $U_{сн 6 кВ}$  - напряжение на шинах собственных нужд блока ПГУ-400 МВт,  
 $U_g 21 кВ$  - напряжение на выводах с.г. блока ПГУ-400 МВт,  
 $U_{110 кВ}$  - напряжение на шинах 110 кВ “Шимал” ГРЭС и Бакинской ТЭЦ-1.
- в.  $I_{ст}$  - ток статора генератора “Шимал” ГРЭС и Бакинской ТЭЦ-1,  
 $S$  - скольжение ротора с.г. блока ПГУ-400 МВт.

Таблица 1

	P = 400	P = 300	P = 200
Время выхода из синхронизма генератора, потерявшего возбуждение при относительном угле $360^0$ между генератором 400 МВт и ГРЭС “Северная” и эквивалентным генератором (№1-5) АзГРЭС, работающего на СШ 330 кВт	3,0 сек	4,54 сек	7,6 сек
Диапазон изменения мощности в установившемся асинхронном режиме	400	300	200
<u>Активной:</u> исходная МВт			
Минимум пиков	-159÷-76	-150÷-101	-189÷-93
Максимум пиков	325÷321	317÷248	379÷197
<u>Реактивной:</u> исходная МВар	99	100	108
Минимум пиков	-257÷-243	-259÷-251	-262÷-240
Максимум пиков	-138÷-161	-144÷-160	-131÷-149
Модуль тока статора, в кА Генератор 400 МВт ГРЭС “Северная” в исходном режиме	11,3	8,7	6,25
Минимум пиков	5,1÷7,1	5,4÷6,7	5,1÷5,7
Максимум пиков	18,8÷15,9	18,3÷16,3	20÷14,8
Скольжение, в %	8,8	7,0	5,4
Напряжение, в кВ ГРЭС “Северная” СШ 110 кВ исходное	118,2	117,9	117
Минимум пиков	64,5÷73,1	68÷73	63,1÷76,6
Максимум пиков	101,8÷98,5	102,4÷99,0	106,4÷98,6
Вывод генератора исходное	21	21	21
Минимум пиков	7,4÷9,3	8÷9,4	6,9÷10,2
Максимум пиков	16,5÷15,8	16,6÷16,0	17,4÷15,9
СШ собственных нужд исходное	6,2	6,2	6,2
Минимум пиков	2,2÷2,8	2,4÷2,8	2,0÷3,0
Максимум пиков	4,9÷4,7	4,9÷4,7	5,2÷4,7
СШ 110 кВ БакТЭЦ-1 исходное	114,8	114,8	114,8
Минимум пиков	89,4÷94,9	92,8÷95,1	90,3÷97,5
Максимум пиков	110,8÷108	113÷109,8	113,6÷107,9

При потере возбуждения при нагрузках на с.г. блока ПГУ-400 МВт от 200 до 400 МВт время выхода из синхронизма находится в пределах  $7,6 \div 3,0$  сек., с установившимся скольжением – в пределах  $5,4 \div 8,8$  %. Это говорит о том, что с.г. может быть отключен основной защитой прежде, чем начнется асинхронный режим.

В табл.2 иллюстрируются результаты оценки влияния режима ЭС и ее схемы на те же показатели при потере возбуждения в условии номинальной нагрузки блока.

Таблица 2

	Режим 4300	Режим 3100	Режим 2800	Режим 1600
Время выхода из синхронизма генератора, потерявшего возбуждение при относительном угле $360^{\circ}$ между генератором 400 МВт “Шимал” ГРЭС и генератором Чиркей ГЭС	2,95	4,3	2,93	4,23
Диапазон изменения мощности в установившемся асинхронном режиме	400	300	400	300
<u>Активной:</u> исходная МВт				
Минимум пиков	-134,3÷-60,5	-139÷-97	-171,4÷-88	-137÷-91
Максимум пиков	287÷158	287÷244	321÷242,4	288÷243
<u>Реактивной:</u> исходная МВар	132	95	65	49
Минимум пиков	-212÷-196	-234,4÷-227	-255÷-241,4	-221,3÷-210,3
Максимум пиков	-96÷-140	-139,6÷-152,6	-152÷-170	-147,6÷-160,4
Модуль тока статора, в кА	11,6	8,7	11,1	8,4
В исходном режиме				
Минимум пиков	4,4÷6,1	5,2÷6,2	5,4÷6,8	5,5÷6,3
Максимум пиков	17,5÷13,1	17,3÷15,8	18,3÷16,1	16,8÷15,1
Скольжение, в %	9,2	7	8,7	6,9
Напряжение, в кВ	114	155	116,3	117
“Шимал” ГРЭС				
СШ 110 кВ исходное				
Минимум пиков	58,7÷67	64,6÷68,5	67,8÷72,1	61,8÷66,1
Максимум пиков	92÷84	97,9÷95,8	102,5÷99	100,2÷97,3
Вывод генератора исходное	21	21	21	21
Минимум пиков	6,8÷8,8	7,8÷8,6	8,2÷9,3	7,5÷8,6
Максимум пиков	15÷14,4	16,2÷15,75	17÷16,3	16,6÷16
СШ 110 кВ БакТЭЦ-1	111	114	115	115
исходное				
Минимум пиков	83,8÷89	89,7÷91,6	92,6÷94,8	84÷87,3
Максимум пиков	103÷97	108÷106,7	112÷109	108÷106
Выход из синхронизма генераторов близлежащей станции	нет	нет	нет	нет

Как видно, время выхода с.г. “Шимал” ГРЭС из синхронизма зависит как от режима ЭС, так и ее внутренней схемы, и находится в пределах  $2,9 \div 4,3$  с.

Режим потребления мощности находится в пределах  $96 \div 255$  МВар, активная мощность изменяется от 172 МВт в режиме потребления до 320 МВт в режиме выдачи, ток статора увеличивается не более чем в 2 раза, напряжение на выводах с.г. снижается до 6,9 кВ, а на СШ 110 кВ до 50 кВ.

Напряжение на СШ 110 кВ соседней Бакинской ТЭЦ-1 снижается до 84 кВ.

Во всех приведенных расчетных экспериментах с.г. ЭС не выходят из синхронизма и система остается устойчивой.

В таблице 3 приведены для сравнения значения времени выхода из синхронизма и скольжения как с.г. блока ПГУ-400 МВт, так и других с.г. крупных блоков ЭС: Аз.ГРЭС-300 МВт, ГРЭС Али-Байрамлы-150 МВт.

Таблица 3

Электростанции	“Шимал” ГРЭС	Азербайджанская ГРЭС	Али-Байрамлинская ГРЭС
Мощность генераторов, МВт	400	300	150
Время выхода из синхронизма, с.	2,93 ÷ 4 с.	7,6 ÷ 12,8 с.	8,52 ÷ 14,82 с.
Скольжение	6,9 ÷ 9,2 с.	1,7 ÷ 2,53 с.	1,3 ÷ 1,9 с.

Как видно с.г. блока ПГУ-400 МВт почти в 3 раза быстрее выходит из синхронизма и почти во столько же раз имеет более высокие скольжения.

#### **Заключение**

Несмотря на то, что параметры с.г. блока ПГУ-400 МВт на “Шимал” ГРЭС Азербайджанской ЭС имеет ухудшенные параметры с точки зрения устойчивости по сравнению с параметрами других с.г. крупных блоков (150,300 МВт), при потере возбуждения асинхронный ход наступает за пределами времени действия основной защиты и влияние на устойчивость как с.г. близлежащих станций, так и всей системы, не проявляется. С.г. ПГУ-400 МВт должен быть отключен от системы основной защитой.

### **BBQ-400 MVt BLOKUNDAKI SİNXRON GENERATORLARIN TƏSİRLƏNMƏ ZAMANI İTKİLƏRİNİN ENERJİ SİSTEMİN DAYANIQLIĞINA TƏSİRİNİN TƏDQIQI**

**HÜSEYNOV A. M., OCAQVERDOVA A. S.**

“MITSUBISHI” firmasının BBQ-400 MVt yeni blokundakı sinxron generatorun təsirlənmə və itkilər olan halındakı proseslərə baxılır və enerjisistemin dayanıqlığı qiymətləndirilir.

### **RESEARCHES OF INFLUENCE OF EXCITATION LOSS BY THE SYNCHRONOUS GENERATOR OF THE BLOCK CCP-400 MWT ON STABILITY OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM**

**GUSEYNOV A.M., ODJAKHVERDOVA A.C.**

Processes in the synchronous generator of new block CCP-400 MWT of the “MITSUBISHI” firm are examined at loss or excitation and estimated on stability of the electric power system.