

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИМПУЛЬСНОЙ РАЗГРУЗКИ ТУРБИН ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Асп. ФИЛИПЧИК Ю. Д.

Белорусский национальный технический университет

Одним из эффективных мероприятий по повышению динамической устойчивости генераторов электростанций является использование импульсной разгрузки (ИР) турбин энергоблоков. Она применяется с целью компенсации избыточной кинетической энергии, приобретенной за время короткого замыкания (КЗ), и заключается в быстром снижении механической мощности турбины с последующим ее плавным восстановлением до заданного значения. ИР инициируется ПА, размещенной на объектах энергосистемы по каналам телемеханики, или устройствами релейной защиты и автоматики (РЗА) электрической станции.

Для отработки требуемых законов изменения мощности турбины должны быть сформированы управляющие импульсы тока через электрогидравлический преобразователь (ЭГП) соответствующей амплитуды $A_{и}$ и длительности $T_{и}$. Исследования показали, что при чисто прямоугольном импульсе скорость восстановления нагрузки у современных турбин такова, что могут возникнуть глубокие качания, вызывающие нарушения динамической устойчивости [1]. Избежать этого можно замедлением восстановления мощности турбины путем применения импульса особой формы с медленно (экспоненциально) спадающим задним фронтом. Изменяя амплитуду $A_{и}$ и длительность $T_{и}$ прямоугольной части импульса, можно менять глубину и скорость разгрузки турбины.

В настоящее время в странах, особенно тех, где атомные электростанции (АЭС) составляют значительную часть генерирующих мощностей, ведутся активные исследования по внедрению режима импульсной разгрузки на энергоблоках АЭС. Эти энергоблоки обладают практически теми же возможностями для противоаварийного управления, что и конденсационные [2]. Также нужно отметить, что разгрузка АЭС, выполняемая путем отключения одного из двух генераторов или закрытием стопорных клапанов одной из двух турбин атомного энергоблока (сброс 50 % мощности реактора), нередко вызывала нарушение технологического процесса и приводила к полной потере энергоблока [3].

Специалистами «Центратомтехэнерго» выполнены работы по внедрению режима ИР на энергоблоках № 1, 2 и 3 Калининской АЭС и энергоблоках № 1 и 2 Ростовской АЭС. Полномасштабные динамические испытания на энергоблоке № 3 Калининской АЭС состояли из [2]:

- подэтапа освоения 75 % номинальной мощности реакторной установки от номинальной (ИР 30 %);
- подэтапа освоения номинальной мощности реакторной установки (ИР 67 %).

На основании полученных результатов выполнения ИР параметры, характеризующие режим, были аппроксимированы в зависимости от исходного уровня электрической мощности в момент формирования инициирующего сигнала в диапазоне мощностей от 30 до 100 % номинальной. Аналогичные испытания, проведенные на турбинах № 1 и 2 Ростовской АЭС, также подтвердили работоспособность алгоритмов, реализованных в электрогидравлической системе регулирования [2].

На рис. 1 приведены экспериментальные импульсные характеристики некоторых турбин [1–4]. Их анализ показывает, что скорость сброса нагрузки турбин АЭС значительно ниже, чем паровых ТЭС (характеристика 1). Вместе с тем именно скорость и глубина сброса нагрузки при ИР определяют ее эффективность для повышения динамической устойчивости энергоблока.

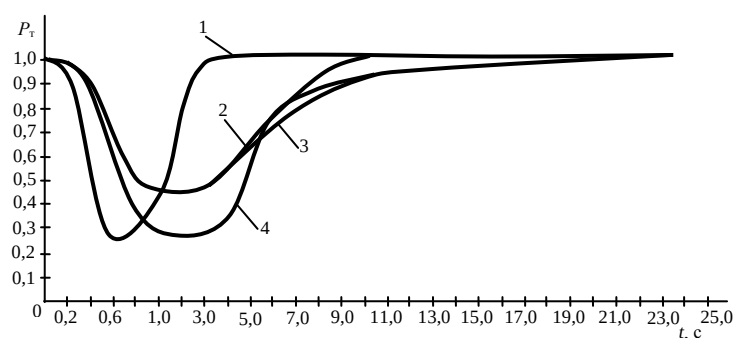


Рис. 1. Импульсные характеристики турбин: 1 – К-300-240 ЛМЗ; 2 – Чернобыльской АЭС; 3 – К-1000-60/1500-2 Калининской АЭС при ИР 50 %; 4 – то же при ИР 67 %

Для одного блока АЭС номинальной мощностью 1200 МВт выполнена оценка влияния аварийной разгрузки турбин на повышение динамической устойчивости. В расчетах электромеханических переходных процессов были использованы характеристики, показанные на рис. 1. В качестве расчетного возмущения принято двухфазное короткое замыкание (КЗ) на землю вблизи шин электростанции с последующим его устранением устройством резервного отключения выключателя (УРОВ). Исследования выполнялись для двух характерных режимов – зимнего и летнего максимумов. В этих режимах предельное время отключения КЗ $t_{откл}^{пр}$ при отсутствии аварийного управления мощностью турбины соответственно равно 0,284 и 0,273 с. Оценка эффективности ИР как средства для повышения динамической устойчивости энергоблока АЭС показана в табл. 1. Для режима зимнего максимума нагрузки на рис. 2 приведены расчетные зависимости изменения основных параметров энергоблока в переходном процессе.

Из графических зависимостей, представленных на рис. 2, отчетливо видно, что существующее запаздывание в работе ЭГП не позволяет влиять на площадку ускорения, а положительный эффект от ИР достигается только за счет увеличения площадки торможения. На основании этого очевидно влияние момента подачи импульса на ЭГП. В большинстве случаев ИР начинает работать только при наиболее тяжелых возмущениях, которые способны привести к нарушению динамической устойчивости генератора АЭС. К таким возму-

щениям прежде всего относятся КЗ, отключаемые при действии УРОВ, выдержка времени которого составляет 0,20–0,25 с. Поскольку УРОВ работает крайне редко, принципиально возможно уменьшение данной выдержки времени до 0,10 с исходя из того, что длительность КЗ без отказа выключателя не превышает 0,07 с. При этом запас на подачу сигнала на ЭГП от УРОВ составляет 0,03 с, т. е. 30 %.

Таблица 1

Результаты расчета эффективности аварийной разгрузки турбины энергоблока АЭС

Время импульса на ЭГП, с	Название режима	Импульсная характеристика турбины	Сброс нагрузки, %	$t_{\text{откл}}^{\text{пр}}, \text{с}$	$\Delta t_{\text{откл}}, \text{с}$	$\Delta t_{\text{откл}}, \%$
0,2	Зимний максимум	К-300/240	70	0,347	0,063	18,2
		Чернобыльской АЭС	50	0,301	0,017	5,6
		Калининской АЭС	50	0,301	0,017	5,6
		Калининской АЭС	67	0,305	0,021	6,9
	Летний максимум	К-300/240	70	0,330	0,057	17,3
		Чернобыльской АЭС	50	0,290	0,017	5,9
		Калининской АЭС	50	0,290	0,017	5,9
		Калининской АЭС	67	0,295	0,022	7,5

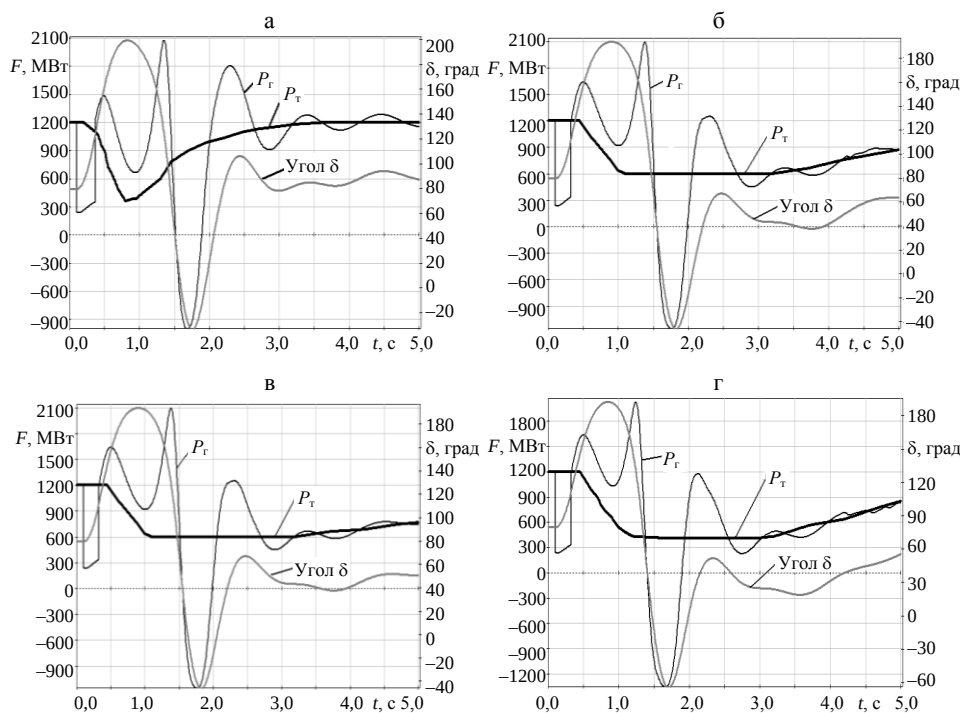


Рис. 2. Зависимости режимных параметров энергоблока АЭС при использовании различных импульсных характеристик турбины: а – К-300/240 (ИР 70 %); б – Чернобыльской АЭС (ИР 50 %); в – Калининской АЭС (ИР 50 %); г – Калининской АЭС (ИР 67 %)

В табл. 2 представлены результаты расчета эффективности аварийной разгрузки турбины энергоблока АЭС при подаче сигнала на разгрузку спустя 0,10 с после начала возмущения.

Таблица 2

Результаты расчета эффективности аварийной разгрузки турбины энергоблока АЭС при уменьшении выдержки времени на подачу импульса в ЭГП

Время импульса на ЭГП, с	Название режима	Импульсная характеристика турбины	Сброс нагрузки, %	$t_{откл}^{пр}$, с	$\Delta t_{откл}$, с	$\Delta t_{откл}$, %
0,1	Зимний максимум	К-300/240	70	0,405	0,121	42,6
		Чернобыльской АЭС	50	0,313	0,029	10,2
		Калининской АЭС	50	0,313	0,029	10,2
		Калининской АЭС	67	0,318	0,034	12,0
	Летний максимум	К-300/240	70	0,382	0,164	39,9
		Чернобыльской АЭС	50	0,301	0,028	10,3
		Калининской АЭС	50	0,301	0,028	10,3
		Калининской АЭС	67	0,305	0,032	11,7

Как видно из приведенных результатов расчета, уменьшение выдержки времени на подачу импульса в ЭГП дополнительно увеличивает динамическую устойчивость синхронных генераторов.

ВЫВОДЫ

1. Применение импульсной разгрузки турбин АЭС улучшает динамическую устойчивость энергоблоков АЭС. При использовании экспериментальных импульсных характеристик турбин Чернобыльской и Калининской АЭС динамическая устойчивость увеличивается более чем на 5 %.

2. Наибольший эффект от применения импульсной разгрузки достигается при использовании импульсной характеристики паровой турбины типа К-300/240, при которой динамическая устойчивость энергоблоков АЭС увеличивается на 17,3–18,2 %.

3. Уменьшением времени подачи управляющего сигнала на ЭГП с 0,2 до 0,1 с возможно добиться повышения устойчивости до 10 % для импульсных характеристик энергоблоков АЭС и 39,9–42,6 % – для характеристики турбины К-300/240.

ЛИТЕРАТУРА

1. К и р а к о с о в, В. Г. Опыт внедрения устройств аварийного управления мощностью паровых турбин / В. Г. Киракосов, Я. Н. Лугинский. – М.: Информэнерго, 1985. – 32 с.
2. Л ю л ь ч а к, В. Внедрение режима импульсной разгрузки турбогенераторов на атомных энергоблоках России / В. Люльчак, Я. Солдатов // Росэнергоатом. – 2010. – № 10. – С. 12–15.
3. О п ы т работы энергоблоков АЭС с реакторами РБМК-1000 в режимах импульсной разгрузки / Э. А. Ляпин [и др.] // Электрические станции. – 1982. – № 10. – С. 7–10.
4. П о р т н о й, М. Г. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости / М. Г. Портной, Р. С. Рабинович. – М.: Энергия, 1978. – 352 с.

Представлена кафедрой
электрических систем

Поступила 16.12.2011