

В.В. КАРАНКЕВИЧ, студент гр. 10604114 (БНТУ)
Научный руководитель С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)
г. Минск

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ МАНЕВРЕННОСТИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Современные условия эксплуатации энергосистем повышают требования к показателям маневренности генерирующего оборудования ТЭС на органическом топливе. В Беларуси это связано с предстоящим вводом двух «базовых» блоков первой Белорусской АЭС, мощность которых составит практически 1/3 от необходимой мощности энергосистемы. В Западной Европе – с ростом доли «зеленой» энергетики (в первую очередь «ветровой») характеризующейся существенной неравномерностью и непредсказуемостью генерации в течение суток, что требует привлечения ТЭС для регулирования графика нагрузки энергосистемы и стабилизации ее частоты.

До самого недавнего времени парогазовые установки (ПГУ), выполненные на базе передовых газотурбинных установок (ГТУ) и обладающие наиболее высокой тепловой экономичностью (до 60% в конденсационном режиме) воспринимались как предназначенные для работы в базовой части графика нагрузок энергосистемы.

В настоящее время разрабатываются решения, позволяющие не только успешно привлекать такие ПГУ с трехконтурными котлами-утилизаторами (КУ) и промежуточным перегревом пара, к регулированию частоты и мощности энергосистемы, но и использовать их как пиковые энергоисточники. Так, для маневренных ПГУ класса мощности 400 МВт концерна Siemens предусматривается работа с практически ежесуточными остановами в течение недели, а также на выходные дни (до 250 пусков/остановов в году) [1].

Рассмотрим основные решения проекта *Siemens*, получившего название *FACY (FAst CYcling)*, и позволяющего увеличивать число пусков ПГУ и сокращать их продолжительность (рисунок 1) [2].

Отметим, что сокращение времени пуска не только обеспечивает высокую готовность ПГУ к «подхвату» мощности в энергосистеме, но и снижает потери экономичности и вредные выбросы при ее работе на низкой нагрузке.

Важная инновация – применение котла-утилизатора *BENSON®* с прямоточным испарителем высокого давления (ВД), в котором толстостенный барабан ВД заменяется на сепаратор с тонкими стенками [3]. Это позволяет сократить время прогрева и пуска КУ без снижения

надежности установки и, соответственно, реализовать возможности быстрого старта ГТУ и ПГУ в целом.

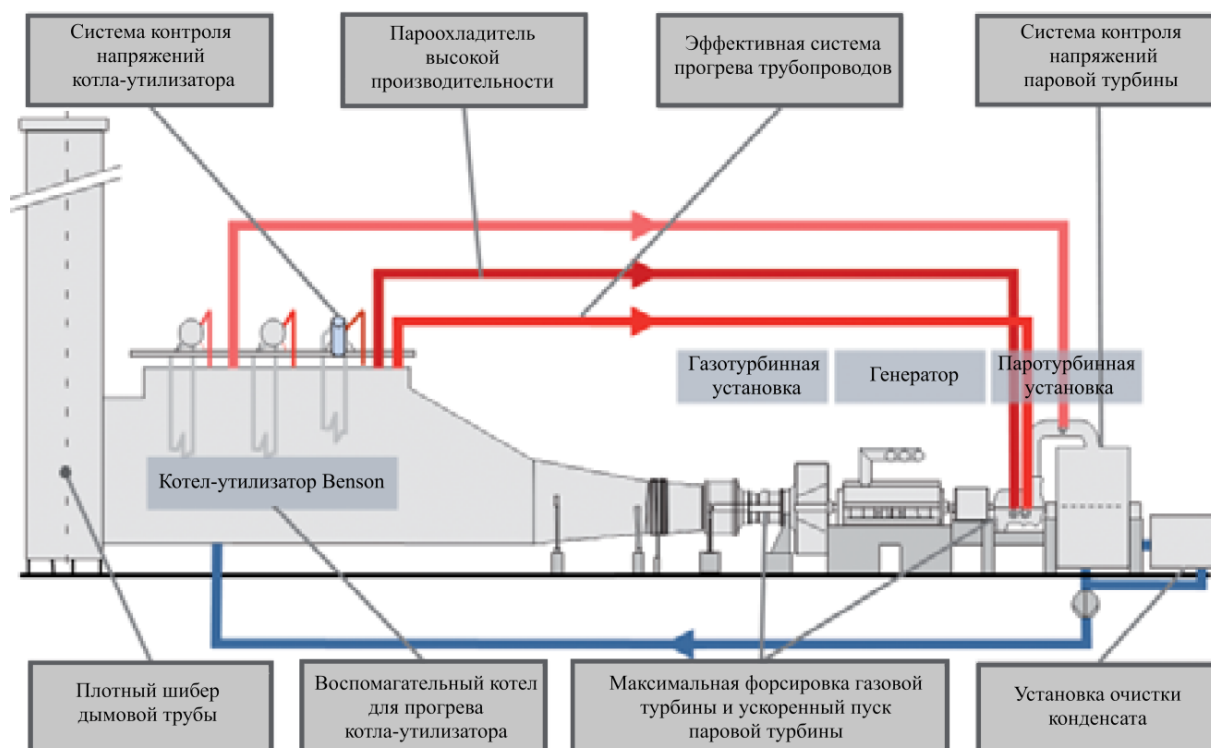


Рисунок 1. Основные решения *FACY* по повышению маневренности ПГУ

Другие решения проекта *FACY*, позволяющие увеличить допустимое количество быстрых пусков:

- поддержание давления и температуры в основных узлах во время остановов, с помощью плотных шиберов на газоходах, вспомогательного пара, который может использоваться для прогрева котла-утилизатора, паровой турбины и т.д.;
- полная автоматизация «горячего» пуска паровой турбины без необходимости ручного управления – «*Ready-for-operation*»;
- оптимизация отдельных узлов (например, использование пароохладителей с высокой производительностью и быстродействием ограничивающих температуру пара во время пуска) и программы эксплуатации ПГУ так, чтобы уменьшить циклическую усталость металла оборудования;
- гибкая концепция эксплуатации, позволяющая оператору прогнозировать износ узлов и выбирать время и темп пуска: режим пуска «экономичный» позволяет увеличить межремонтный период, а режим «быстрый» повышает требования по техническому обслуживанию;
- оптимизация концепции автоматизации и управления.

Для повышения скорости и эффективности процесса пуска ПГУ, особенно из горячего состояния (после ночного останова), в дополнение к решениям первоначальной концепции *FACY*, была разработана технология параллельного пуска газовой и паровой турбин «*Hot Start on the fly*» [4]. Нововведением является ранний пуск паровой турбины и ускоренное ее нагружение без необходимости выдержки газовой турбины (рисунок 2).

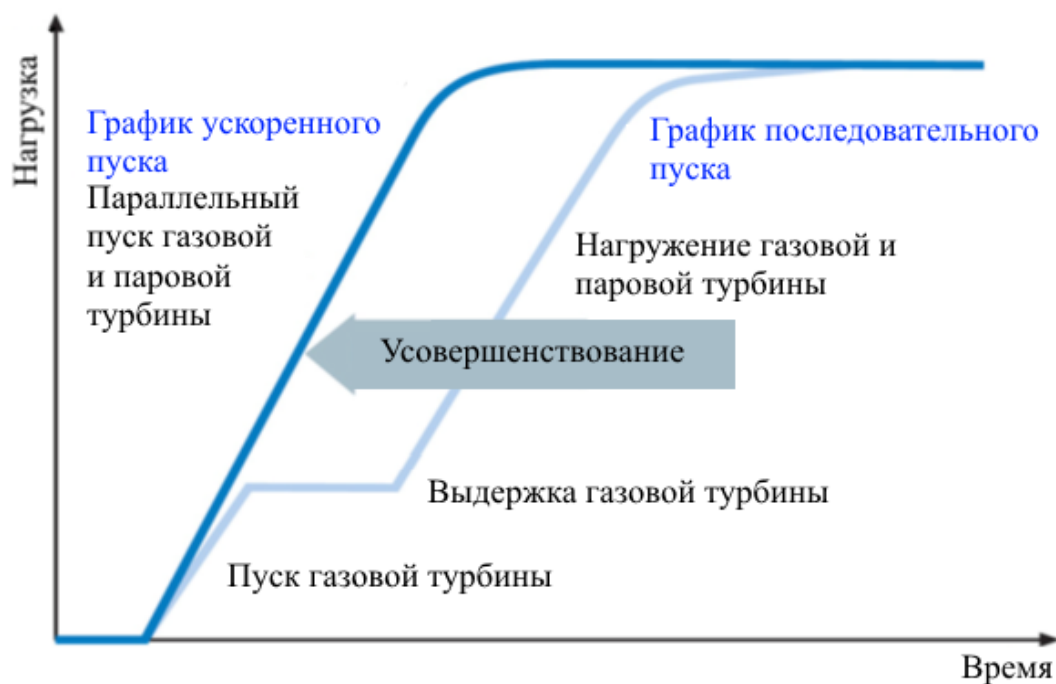


Рисунок 2. График пуска «*Hot Start on the fly*»

Технология основана на контроле изменений температуры и поддержании температурных напряжений в пределах, приемлемых для всех критических узлов, и учитывает опыт длительной эксплуатации турбин на различных режимах.

Для обеспечения высокой эксплуатационной гибкости и надежности используется запатентованная система контроля и управления напряжениями турбины - *Turbine Stress Controller (TSC)* [5].

TSC состоит из системы оценки термических и механических напряжений, основанной на программе пуска паровой турбины, а также интерактивным счетчиком жизненного цикла. Программа вычисляет и контролирует напряжения во всех критических, толстостенных узлах паровой турбины (клапаны, корпус и ротор высокого давления и др.) для трех разных видов пуска: планового, ускоренного и быстрого. Функции *TSC*: сведение к минимуму усталости металла, а также вычисление кумулятивной усталости контролируемых деталей турбины.

TSC определяет соответствующее число эквивалентных пусков для каждого вида пуска (планового, ускоренного и быстрого), на основании чего оператор ПГУ может принимать взвешенные бизнес-решения о целесообразной программе эксплуатации установки.

В заключение отметим, что инновационные решения проекта FACY, описанные выше, были реализованы на многих электростанциях Европы и показали отличные результаты для ПГУ как одновальной, так и мновальной конфигурации [1, 2, 4]. Первое поколение решений FACY сократило время горячего пуска ПГУ со 100 до 55 минут, а второе - до 40 минут и даже ниже. Повышение маневренности не снижает тепловую экономичность установок. При этом ПГУ сохраняют свою работоспособность и высокую эффективность в режиме базовой нагрузки.

Список литературы

1. *Improving Flexibility of the Combined Cycle Power Plant Hamm Uentrop to Cover the Operational Profiles of the Future* / Martin Buschmeier, Thomas Kleinwächter, Andreas Feldmüller, Philipp Köhn // POWER-GEN Europe 2014, Cologne. www.siemens.com/energy
2. *Operational flexibility enhancements of combined cycle power plants* / Norbert Henkel, Siemens Energy, Erich Schmid, Edwin Gobrecht // Reprint from Power-Gen Europe 2007
3. *BENSON® Once-Through technology for Heat Recovery Steam Generators* // Siemens Power Generation, Inc. – 2006. www.siemens.com/powergeneration
4. *Fast cycling and rapid start-up: new generation of plants achieves impressive results* / Lothar Balling, Siemens, Erlangen, Germany // Modern Power Systems – January – 2010.
5. *Combined Cycle Steam Turbine Operation* / Leo Bize, Harry Martin: Siemens Westinghouse Power Corporation, Orlando FL; Norbert Henkel, Edwin Gobrecht: Siemens Power Generation, Muelheim, Germany // Published for 2001 International Joint Power Conference, June 4-7, New Orleans, LO. JPGC2001/PWR-19127