

УДК 621.438 + 621.311.22.002.5

С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент (БНТУ)  
В.В. КАРАНКЕВИЧ, А.С. ТАРАНЧУК, студенты (БНТУ)  
г. Минск

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ КОМПАНИИ MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES

Компания Mitsubishi Heavy Industries (МНІ) сегодня уверенно удерживает позиции ведущего мирового производителя современных газотурбинных установок (ГТУ). Компания последовательно работала над повышением энергоэффективности ГТУ, совершенствуя их конструкцию (рисунок 1) [1, 2].

Компания успешно внедряла всё более устойчивые к высоким температурам сплавы и применила термобарьерные покрытия на подвижных и неподвижных деталях турбины, добившись в установках серии F температур в диапазоне 1350–1400°C и КПД до 38% (рисунки 1,2).

В последних разработках МНІ серии G и J температура в камере сгорания достигает 1500-1600°C, что даёт возможность получить в парогазовом цикле КПД на уровне около 60% (рисунки 1, 2).

Так, ГТУ M701G2 с начальной температурой газов 1500°C имеют КПД 39,8% в простом цикле, а в парогазовых установках (ПГУ) на их основе КПД до 58,7%. КПД ГТУ M701J с начальной температурой газов 1600°C достигает 41,5%, а моноблок ПГУ на базе этой ГТУ имеет мощность нетто 680 МВт и достигает КПД нетто 61,7 % [1, 2].

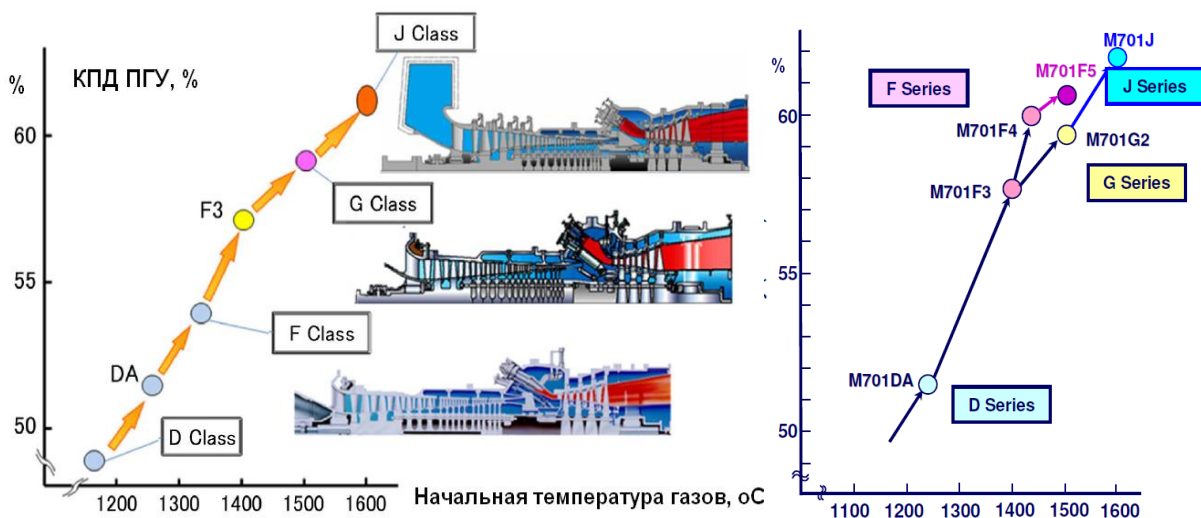


Рисунок 1. Эволюция высокотемпературных ГТУ Mitsubishi Heavy Industries, Ltd

При разработке ГТУ нового поколения серии J были усовершенствованы технология термобарьерных покрытий (ТБС) турбинных лопаток и система охлаждения горячей части двигателя (рисунок 2) [1]. В результате температура металла газовой турбины серии J поддерживается на уровне турбины серии G.

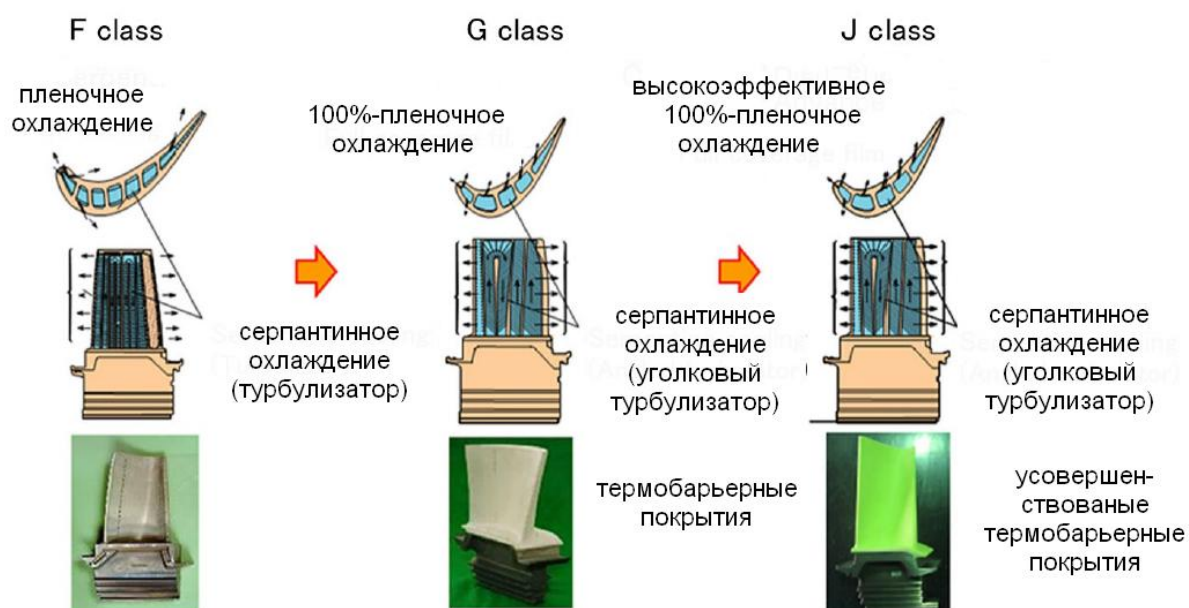


Рисунок 2. Совершенствование систем охлаждения газовых турбин Mitsubishi

Двигатель имеет улучшенную аэродинамику и степень повышения давления компрессора – 23:1 (для сравнения, у M701F4 – 18:1). Предусмотрена многоуровневая защита лопаток компрессора.

Каждая камера сгорания имеет пусковые горелки диффузионного сгорания для удержания пламени и основные горелки предварительного смешения (DLE), обеспечивающие экологически чистый выхлоп (содержания окислов азота – 15 ppm). Камера сгорания имеет датчики контроля горения, что позволяет добиться высокой стабильности процесса.

Повышение температуры горения в ГТУ серии J на 100°C от 1500°C до 1600°C потребовало технических решений по дополнительному снижению выбросов NO<sub>x</sub>. На рисунке 3 показано изменение конструкции сопел горелок для получения более гомогенной смеси топлива и воздуха, снижения за счет этого максимальной температуры пламени в зоне горения и ограничения концентрации выбросов NO<sub>x</sub> до уровня, эквивалентного ГТУ серии G [3].

Технология закрытого парового охлаждения камеры сгорания ГТУ серии J, основанная на отработанной системе охлаждения ГТУ серии G,

позволяет улучшить эффективность горения топлива и дополнительно снизить содержание  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_2$  в выхлопных газах.

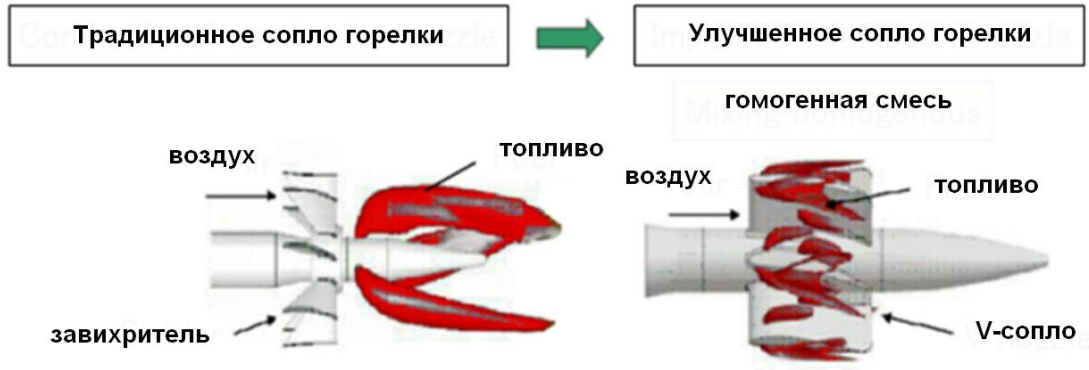


Рисунок 3. Улучшение горелок камеры сгорания

На рисунках 4 и 5 показаны схемы подачи пара в камеру сгорания ГТУ [3]. Как видно из рисунка 5, на охлаждение подается пар среднего давления (СД) из котла-утилизатора. Охлаждая камеру сгорания пар перегревается параллельно пару в промежуточном пароперегревателе котла-утилизатора.

Для улучшения маневренных характеристик ГТУ и возможности ее работы без привязки к паровой части ПГУ разрабатывается новая модификация М701J / JAC с воздушным охлаждением камеры сгорания.

В таблице 1 представлены проектные показатели М701J и М701J / JAC и моноблока ПГУ на их основе (в условиях ISO) по данным [4].

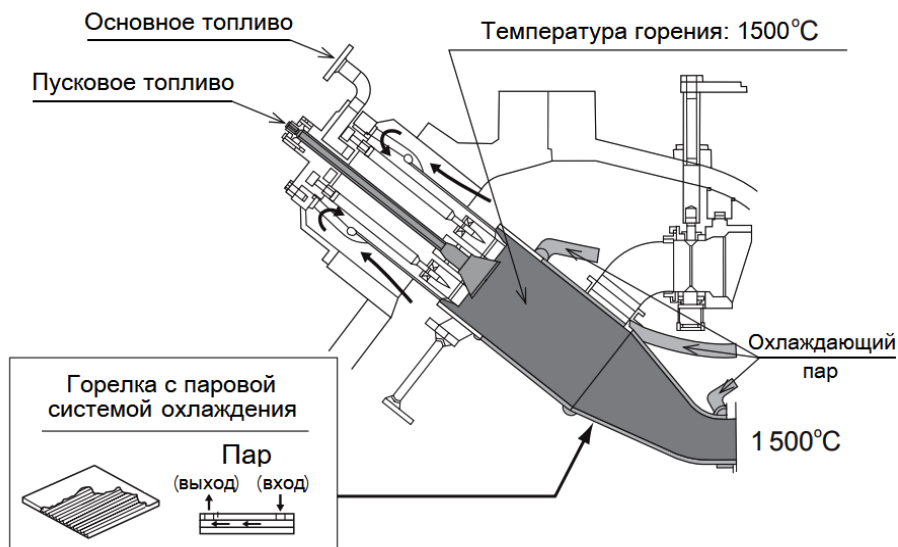


Рисунок 4. Схема камеры сгорания с паровым охлаждением

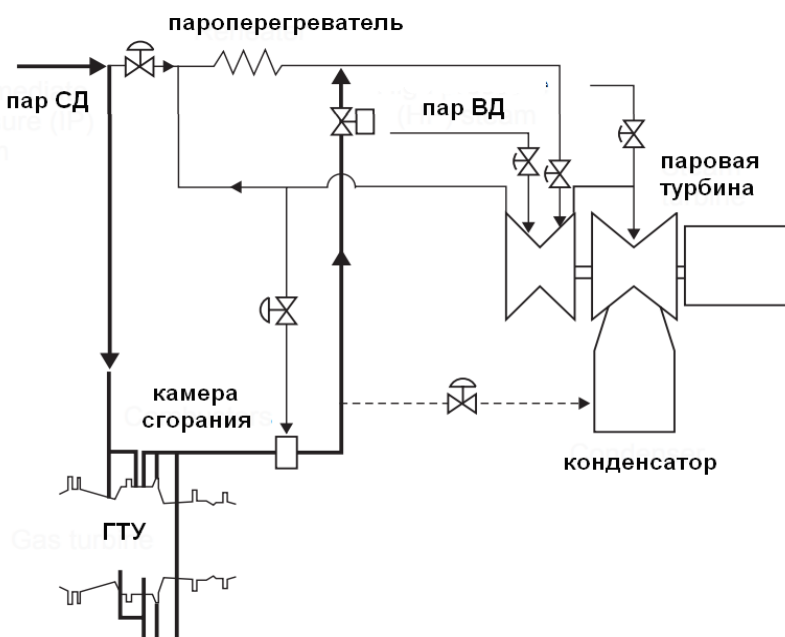


Рисунок 5. Схема подачи пара в камеру сгорания

Таблица 1. Показатели М701J и М701J / JAC и ПГУ на их основе

Показатель, размерность (в условиях ISO)	Тип ГТУ	
	М701J	М701J / JAC
Базовая выходная мощность, МВт	478	493
КПД брутто, %	42,3	42,8
Температура выхлопных газов, °С	638	641
Расход выхлопных газов, кг/с	896	896
Мощность моноблока ПГУ, МВт	701	717
КПД брутто моноблока ПГУ, %	62,3	63,1

В заключение отметим, что ГТУ М701J – национальный проект Японии. Общий объем финансирования 150 млрд JPY (более 1,0 млрд. \$), общий срок создания более 10 лет. Объем государственной поддержки научных исследований составил 350 млн. \$.

#### Список литературы:

1. Development of the High Efficiency and Flexible Gas Turbine M701F5 by Applying J-Class Gas Turbine Technologies / Toshishige Ai, Junichiro Masada, Eisaku Ito // Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. – Technical Review Vol. 51 No 1 (March 2014).

---

2. Development of 1600°C- Class High-efficiency Gas Turbine for Power Generation Applying J-Type Technology / Masanori Yuri, Junichiro Masada, Keizo Tsukagoshi, Eisaku Ito, Satoshi Hada // Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. – Technical Review Vol. 50 No 3 (September 2013).

3. Description of the Latest Combined Cycle Power Plant with G type Gas Turbine Technology in the Philippines / Atsushi Tsutsumi, Masayuki Murakami, Atsushi Yamanomoto, Yukimasa Nakamoto, Masanori Yuri // Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. – Technical Review Vol. 40 No 4 (Aug. 2003).

4. MHPS Gas Turbine M501J/M701J // Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.–2017([www.mhps.com/catalogue/pdf/mhps\\_gas\\_turbine\\_m501j\\_m701j.pdf](http://www.mhps.com/catalogue/pdf/mhps_gas_turbine_m501j_m701j.pdf))