

цикла, однако альтернативой бинарной ПГУ являются газопаровые установки (ГПУ) с впрыском пара (контактные газотурбинные установки или ПГУ смешения).

Главной проблемой при работе ГПУ является максимальное использование теплоты продуктов сгорания с большим содержанием водяного пара. Анализ существующих научных работ по этому вопросу говорит о его слабой проработке.

Нами предложены и исследованы схемы использования теплоты и конденсата продуктов сгорания для дополнительной выработки электроэнергии в пароводяном и органическом цикле Ренкина, позволяющие повысить электрический КПД установки до 60% и выше, а применение когенерации и тригенерации позволяет получить коэффициент использования теплоты топлива при расчете по высшей теплоте сгорания 95% за счет использования теплоты конденсации водяного пара из продуктов сгорания.

Работа ГПУ с большим впрыском перегретого пара в камеру сгорания позволяет существенно снизить коэффициент избытка воздуха (до 1.05) и за счет этого значительно сократить затраты мощности на привод компрессора, при этом снижается адиабатическая температура сгорания, что ведет к существенному уменьшению равновесной концентрации  $\text{NO}_x$ .

Авторами разработана оригинальная математическая модель ГПУ с эффективным использованием теплоты продуктов сгорания в котле-утилизаторе для получения дополнительной выработки электроэнергии и отпуска тепла для тепло и хладоснабжения. Численные исследования на модели показали, что за счет впрыска пара в камеру сгорания газовой турбины электрический КПД установки может быть повышен до 50–60%, а выбросы оксидов азота снижены до 10–15 ppm.

## **Energy efficiency and environmental safety of the use of thermal power plant based on the gas-steam unit**

D. Mel'nikov, N. Galashov, S. Tsibulskiy, A. Kiselev, A. Bannova

*National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk,  
Lenin Ave, 50*

dmelnikov911@gmail.com, gal@tpu.ru

The critical situation in the energy sector of Russia, caused by the high level of depreciation of fixed assets, makes it necessary to search for new,

non-traditional technological solutions, which can significantly improve energy efficiency, reliability and environmental safety of power plants.

One of the main directions of effective development and technical re-equipment of the Russian power system is the wide use of highly economical combined-cycle (CCGT) and gas-turbine units (GTU). Currently, CCGT of the binary cycle are widely used, however, gas-steam unit (GSU) with steam injection (contact gas turbine unit or CCGT mixing) are an alternative to the binary CCGT.

The main problem in the operation of the CCGT is the maximum use of the heat of combustion products with a high content of water steam. Analysis of existing scientific papers on this issue suggests its weak study.

We have proposed and investigated the diagrams of using heat and condensate of combustion products for additional power generation in the water-steam and organic Rankine cycle (ORC), allowing to increase the electrical efficiency of the installation to 60% and more. The use of cogeneration and trigeneration allows to obtain the coefficient of use of the heat of fuel (when calculating the highest calorific value) 95% through the use of the heat of condensation of water steam from the products of combustion.

GSU work with a large injection of superheated steam into the combustion chamber significantly reduces the excess air ratio (up to 1.05). Due to this, the power consumption for the compressor drive is significantly reduced, while the adiabatic temperature of combustion decreases, which leads to a significant decrease in the equilibrium  $\text{NO}_x$  concentration.

The authors have developed an original mathematical model of the GSU with the efficient use of the heat of combustion products in the waste-heat boiler to obtain additional electricity generation and heat supply for heat and cold supply. Parametric studies on the model showed that due to steam injection into the combustion chamber of a gas turbine, the electrical efficiency of the installation can be increased to 50–60%, and emissions of nitrogen oxides reduced to 10–15 ppm.