

УДК 621.438

**ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ СТАВЯТ РЕКОРДЫ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ  
COMBINED CYCLE POWER PLANTS SET EFFICIENCY RECORDS**

Н. Д. Рудаков, И. Г. Черенкевич

Научный руководитель – С. А. Качан, к. т. н., доцент  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

N. Rudakov, I. Cherenkevich

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассмотрены предпосылки повышения экономичности и маневренности современных парогазовых установок на базе самых совершенных газотурбинных установок. Перечислены наиболее эффективные парогазовые установки с трехконтурными котлами-утилизаторами, чей КПД производства электроэнергии превысил 60 %. Показаны их некоторые основные характеристики.*

***Abstract:** the prerequisites for increasing the efficiency and maneuverability of modern combined-cycle plants based on the most advanced gas turbines are considered. The most efficient steam and gas plants with three-circuit waste heat boilers, whose efficiency of electricity production exceeded 60 %, are listed. Some of their main characteristics are shown.*

***Ключевые слова:** парогазовые установки, газотурбинные установки, котлы-утилизаторы, экономичность, маневренность.*

***Keywords:** combined-cycle plants, gas turbine units, waste heat boilers, efficiency, flexibility.*

### **Введение**

В современных условиях к парогазовым установкам (ПГУ) предъявляются высокие требования по эффективности и маневренности для того, чтобы снизить выбросы CO<sub>2</sub> на выработку 1 кВт·ч и поддерживать генерацию в энергосистеме с учетом переменного спроса на электроэнергию в течение суток. Для Беларуси эта задача обострилась в связи с вводом мощных «базовых» блоков Белорусской АЭС, а в мире – с ростом доли экологически чистой, но не стабильной во времени «зеленой» генерации – в основном ветровой и солнечной.

### **Основная часть**

Утилизационные парогазовые установки обеспечивают наивысшую тепловую экономичность среди установок, работающих на органическом топливе. В последние десятилетия эта отрасль интенсивно развивается. Вновь вводимые ПГУ на базе наиболее перспективных газотурбинных установок (ГТУ) с трехконтурными котлами-утилизаторами и

промперегревом пара (рис. 1) устанавливают мировые рекорды эффективности.

Значения электрического КПД самых современных ПГУ давно превысили уровень 60 %. Отметим, что это почти в полтора раза выше показателей тепловой экономичности традиционных паротурбинных тепловых электростанций (ТЭС), построенных на основе цикла Ренкина на водяном паре.

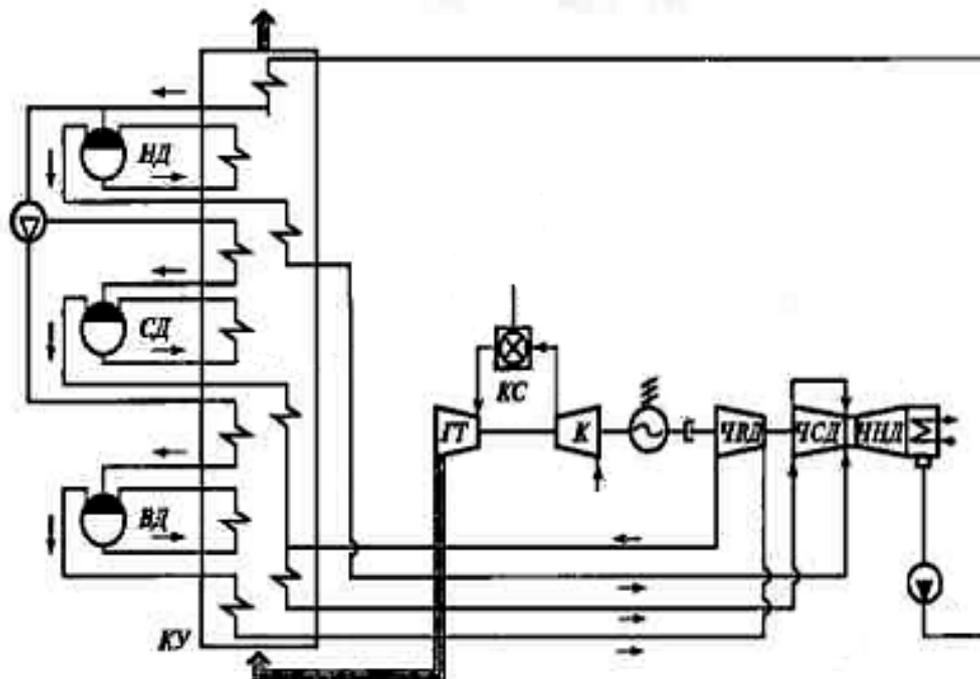


Рисунок 1 – Принципиальная тепловая схема однофазной ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором и промежуточным перегревом пара:

*ГТ* – газовая турбина; *КС* – камера сгорания; *К* – компрессор; *КУ* – котел-утилизатор; *ВД*, *СД*, *НД* – высокое, среднее, низкое давление, *ЧВД*, *ЧСД*, *ЧНД* – части *ВД*, *СД* и *НД* паротурбинной установки

Первым с КПД 60,75 %, был блок ПГУ № 4, введенный в эксплуатацию на электростанции Иршинг (Irsching 4) в Баварии на юге Германии. В 2009 году компания Siemens здесь провела пробный пуск своей газотурбинной установки SGT5-8000H, самой мощной ГТУ в мире на тот момент. Рекордный КПД был зафиксирован в мае 2011 года с выходной мощностью ПГУ более 578 МВт.

Другой энергоблок компании Siemens Fortuna в Дюссельдорфе на электростанции Лаусвард, принадлежащей муниципальному коммунальному предприятию Stadtwerke Düsseldorf, устанавливает новый мировой рекорд электрического КПД в 61,5 % в январе 2016 года [1].

В состав однофазной парогазовой установки производства Siemens входят: газотурбинная установка типа SGT5-8000H; электрогенератор SGen5-3000W; паровая турбина SST5-5000, включающая части высокого, среднего и низкого давлений; горизонтальный трехконтурный котел-утилизатор HRSG 3P-RH с прямоточным исполнением испарителя контура

высокого давления по технологии BENSON и испарителями среднего и низкого давления с естественной циркуляцией.

Замена толстостенного барабана высокого давления на сепаратор с тонкими стенками уменьшает время, требуемое на прогрев котла во время пуска. Это и многие другие примененные в энергоблоке SCC5-8000H 1S инновации повышают маневренность парогазовой установки.

Мощность ГТУ составляет около 2/3 от суммарной мощности ПГУ, которая равна примерно 600 МВт, еще 1/3 – мощность паротурбинной установки. КПД ГТУ по выработке электроэнергии порядка 40 % и добавление паровой турбины на высокие параметры: давление пара в верхнем контуре котла-утилизатора 170 бар при температуре пара высокого давления и пара промежуточного перегрева 600 °С, повышает КПД ПГУ в целом до уровня более 60 %.

В 2016 году, компании GE (General Electric) и EDF (Electricite de France) официально открыли первую в мире ПГУ на базе ГТУ типа HA компании GE, в Бушене, Франция. Испытания показали рекордный КПД преобразования топлива в электроэнергию 62,22 % [2].

Электростанция Бушен представляет собой интегрированную высокоэффективную систему, включающую следующие ключевые компоненты (рис. 2): газовую турбину «Н-класса» 9HA.01, паровую турбину D-650, усовершенствованный генератор W86 и трехконтурный котел-утилизатор [2]. Расцепная муфта SSS позволяет запускать ГТУ без паровой турбины одновальной ПГУ.

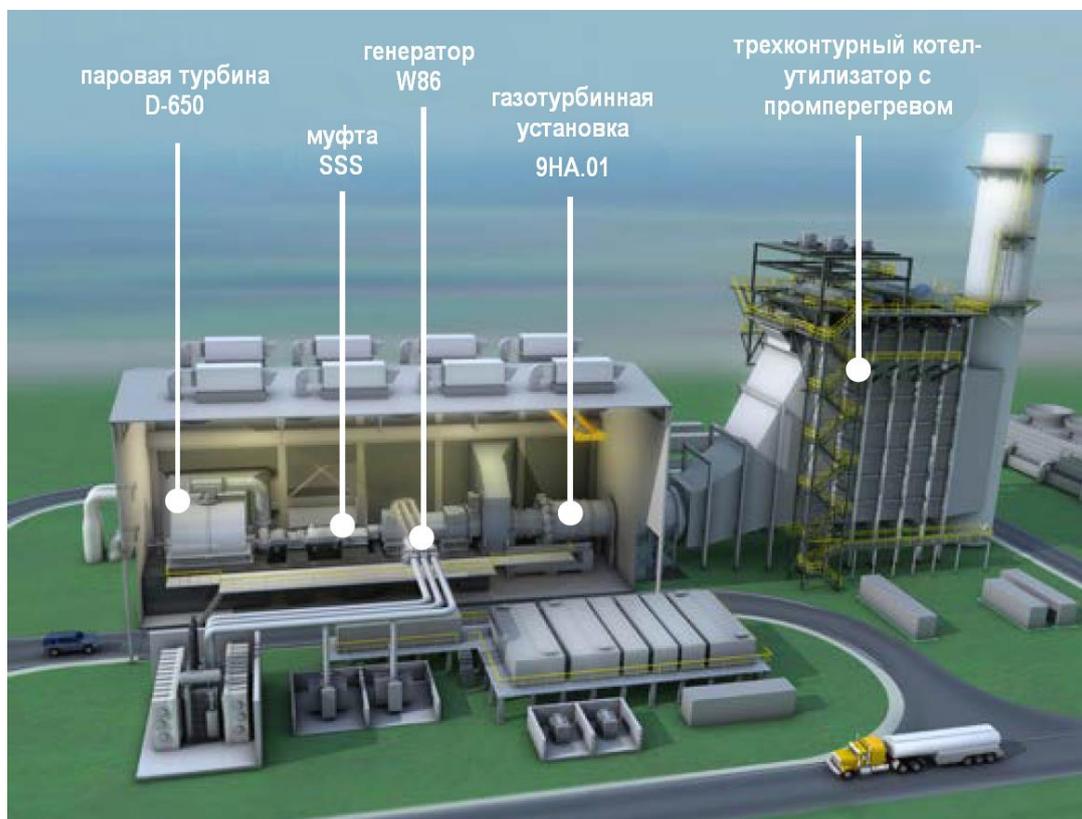


Рисунок 2 – Одновальная ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором [2]

Как и Siemens, General Electric также подчеркивает высокую маневренность своих установок комбинированного цикла на базе НА, которые, как сообщается, способны выйти на полную мощность менее чем за 30 минут, а также допускают глубокую разгрузку с приемлемыми выбросами в атмосферу [2].

В 2018 году Нагойская ТЭЦ в Японии внесена в Книгу рекордов Гиннеса как самая эффективная электростанция комбинированного цикла в сегменте 60 Гц, достигнув КПД 63,08 %.

Установка представляет собой многовальную ПГУ: на электростанции используется одна паровая турбина, поставленная Toshiba Energy Systems and Solutions Corporation, и три газотурбинные установки 7НА.01, поставленные General Electric Company. Три ГТУ GE 7НА.01 обеспечивают мощность более 1188 МВт.

### **Заключение**

В настоящее время ГТУ GE НА приводят в действие самые эффективные электростанции в мире с частотой как 50 Гц, так и 60 Гц. 7НА может использоваться для широкого спектра газового и жидкого топлива, включая сжиженный природный газ (СПГ) и газ с высоким содержанием этана. Высокая маневренность ПГУ на базе этой ГТУ обеспечивает большую стабильность сети при использовании возобновляемых и альтернативных источников энергии.

При этом, отметим, что производители газотурбинных и парогазовых установок намереваются повысить экономичность своих ПГУ до 65 % уже в текущем десятилетии.

### **Литература**

1. Dusseldorf's Lausward Power Plant Fortuna Unit Wins POWER's Highest Award [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.powermag.com/dusseldorfs-lausward-power-plant-fortuna-unit-wins-powers-highest-award/>. – Дата доступа 28.03.2024.
2. Powering a new record at EDF. 9НА.01 sets efficiency world record [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en\\_US/downloads/gas-new-site/products/gas-turbines/gea32885-bouchain-whitepaper-final-aug-2016.pdf/](https://www.gevernova.com/content/dam/gepower-new/global/en_US/downloads/gas-new-site/products/gas-turbines/gea32885-bouchain-whitepaper-final-aug-2016.pdf/). – Дата доступа: 29.03.2024.