

УДК 621.039

**ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА АЭС
APPLICATION OF GAS TURBINE PLANT AT NPP**

К.А. Мельник

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
nvpanteley@tut.by

K. Melnik

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассмотрены принципы применения газотурбинных установок на атомных электрических станциях.*

***Abstract:** the article considers the principles of using gas turbine plants at nuclear power plants.*

***Ключевые слова:** газотурбинные установки, маневренность, энергоблоки, рабочее тело, атомные электрические станции.*

***Keywords:** gas turbine plants, maneuverability, power units, working fluid, nuclear power plants.*

Введение

В настоящее время широко обсуждается возможность использования газотурбинных установок (ГТУ) в работе, не только совместно с паротурбинными установками (ПТУ), а так же использование ГТУ в атомной энергетике. В существующей энергосистеме ГТУ применяют в качестве пиковых агрегатов, из-за значительного превосходства ГТУ в маневренности, нежели ПТУ.

Основная часть

ГТУ принципиально делятся на работающие по открытому и замкнутому циклу.

Достоинствами ГТУ открытого типа являются: простота, высокая маневренность, приемистость и умеренные капиталовложения. С другой стороны, основным недостатком является – невысокая экономичность. В свою же очередь, ГТУ с замкнутым циклом (ЗГТУ) имеют меньшие размеры турбоагрегата, но не обладают маневренностью и простотой схемы.

Предлагают несколько принципиально разных вариантов использования ГТУ на АЭС, такие как: использование ГТУ как резервный источник электроснабжения для собственных нужд, в случае аварийного обесточивания энергоблока АЭС, а также строительство отдельных энергоблоков, с реакторами малой мощности с установкой ЗГТУ, вместо классических ПТУ [2].

Для атомной ГТУ в качестве рабочего тела могут использоваться различные газы такие, как: азот, углекислый газ, водород, гелий, а также различные смеси газов. Наиболее перспективными считаются одноконтурные установки с гелиевыми турбинами, устанавливаемые в энергоблоках с газоохлаждаемыми реакторами или с реакторами на быстрых нейтронах.

Главным достоинством применения гелия, как рабочего тела, является его инертность, то есть при прохождении гелия через ректор, он не вступает в реакцию. Так же одним из аспектов выбора гелия, является его высокий коэффициент теплопроводности, который в пять раз больше, чем у воздуха, в связи с этим упрощается теплопередача [1].

Рассмотрим процесс работы газа в ЗГТУ. Гелий с параметрами $p_0 = 6\text{--}15$ МПа и $t_0 = 800\text{--}1200^\circ\text{C}$ по трубопроводам от реактора (4) поступает в турбину (5), где происходит превращения потенциальной энергии газа, в механическую энергию вращения ротора ЗГТУ. Далее газ направляется в регенеративный теплообменник (3), где его температура понижается до $t_2 = 90^\circ\text{C}$, а также дополнительно охлаждается до температур $t_3 = 15^\circ\text{C}$ в холодильнике (10) циркуляционной водой. После чего происходит сжатие газа в компрессорах низкого (6) и высокого (8) давления, между которыми установлен промежуточный охладитель (7). Газ, на выходе из компрессора высокого давления имеет температуру $t_4 = 60^\circ\text{C}$, после чего направляется в регенеративный теплообменник (3), где нагревается до $t_5 = 460^\circ\text{C}$. Далее газ поступает в реактор, где нагревается до температуры t_0 , тем самым, замыкая цикл. Электрический КПД данной установки, без учета собственных нужд, примерно равен 40–48% [3].

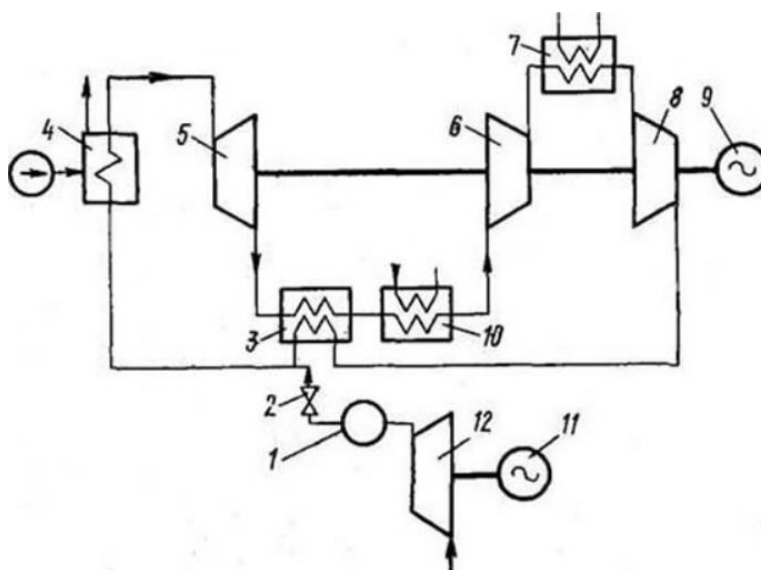


Рисунок 1 – Схема замкнутой ГТУ [3]:

1 – аккумулятор; 2 – регулятор; 3 – регенеративный теплообменник; 4 – атомный реактор; 5 – турбина; 6, 8 – компрессоры низкого и высокого давления; 7 – промежуточный охладитель; 9, 11 – генераторы; 10 – охладитель; 12 – подкачивающий компрессор

Термический коэффициент полезного действия ЗГТУ зависит от отношения температур на входе в газовую турбину и на входе в компрессор. Температура гелия на входе в компрессор существенно зависит от температуры циркуляционной воды в охладителе (10). Соответственно, при снижении температуры циркуляционной воды, можно добиться повышения η_t цикла ЗГТУ. Повышение температуры гелия на входе в турбину, ограничено термическими свойствами сталей как в реакторе, так и в других

теплообменниках. Также значительное влияние на тепловую экономичность ЗГТУ, является потери давления в цикле ЗГТУ.

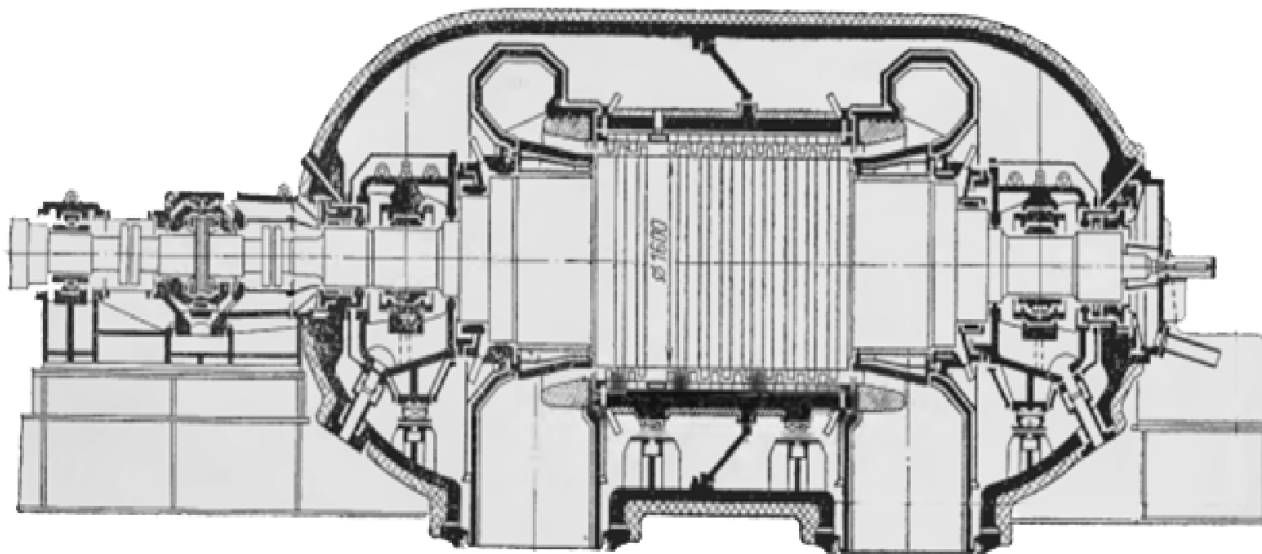


Рисунок 2 – Гелиевая газотурбинная установка [2]

Однако есть очень существенный недостаток использования гелия, как теплоносителя, такой как высокая текучесть. Для решения этой проблемы использования гелия, предлагают использовать интегрированную компоновку АЭС. При использовании данной компоновки реактор и весь гелиевый контур расположены в одном блоке, в свою очередь электрический генератор и системы охлаждения находятся в другом блоке, отделенном от реакторного цеха бетонной стеной из напряженного железобетона, что обеспечивает допустимую безопасность, при работе с гелием. Интегрированная компоновка не лишена недостатков, таких как: проблемы в регулировании, сложность контроля смазки подшипников и др., которые предлагают решить, путем размещения гелиевого контура, внутри горизонтального цилиндрического блока.

Еще одним немаловажным плюсом использования такого рабочего тела, как газ, является отсутствие коррозии ротора турбины, что повышает надежность работы агрегата.

Интересным решением продления срока эксплуатации реакторов АЭС, является модернизация энергоблоков, путем установки в цикле АЭС газотурбинных установок.

При устройстве данной компоновки энергоблока повышается срок службы ядерного реактора, путем замены части тепловыделяющих сборок, на цельнометаллические имитаторы. В данном случае уменьшается мощность реактора, из-за уменьшения интенсивности протекания ядерной реакции, что способствует уменьшению нейтронному охрупчиванию металла. В свою очередь компенсация потерянной мощности осуществляется за счет электрической мощности вырабатываемой ГТУ.

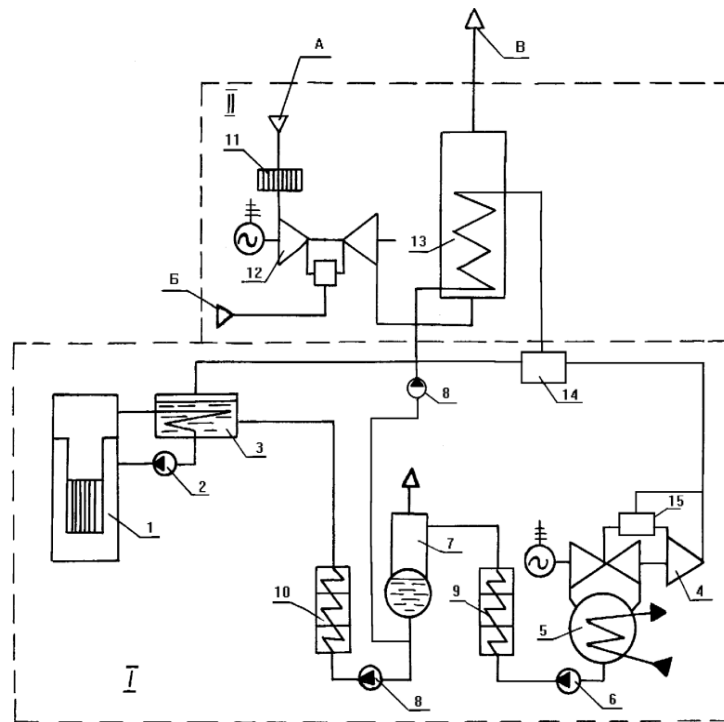


Рисунок 3 – Схема цикла АЭС с использованием ГТУ [3]:

1 – реактор; 2 – главный циркуляционный насос; 3 – парогенератор; 4 – конденсационная паровая турбина; 5 – конденсатор; 6 – конденсатный насос; 7 – деаэратор; 8 – питательный насос; 9 – регенеративные подогреватели низкого давления; 10 – регенеративные подогреватели высокого давления; 11 – фильтр; 12 – газотурбинная установка; 13 – парогазовый теплообменник; 14 – смешивающее устройство; 15 – сепаратор пароперегреватель; А – всас воздуха из атмосферы; Б – подвод топлива в ГТУ; В – выхлоп ДГ через дымовую трубу

Заключение

Использование газотурбинных установок на атомных электрических станциях имеют место, при необходимости увеличения маневренности станции. С другой стороны, при использовании гелиевых турбин, сталкиваются с проблемами безопасной эксплуатации и ремонта данных агрегатов, что делает их применение менее популярным, чем использование для регулирования пиковых нагрузок отдельных парогазовых установок.

Литература

1. Турбины для атомных электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. / Б.М. Трояновский. – М.: Энергия, 1978. – 232 с.
2. Турбины тепловых и атомных электрических станций: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, [и др.]; Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
3. Газотурбинные установки парогазовых установок и атомных электростанций [Электронный ресурс] / Газотурбинные установки парогазовых установок и атомных электростанций. – Режим доступа: http://www.gigavat.com/gtu_pgu_aes.php /. – Дата доступа: 31.03.2023.