

# ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННАЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА С ПЕНТАНОВЫМ ЦИКЛОМ

**А. Ю. Странковский**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель А. В. Овсянник

В последние годы все больший интерес проявляется к бинарным парогазовым установкам, где в качестве рабочего тела паросилового цикла используются низкокипящие рабочие тела (НРТ). Технологии, лежащие в их основе, позволяют утилизировать «бросовое» низкопотенциальное тепло теплоэнергетики, металлургии, химических и нефтеперерабатывающих производств. Это приведет нас к эффективному использованию энергоресурсов – энергосбережению. Именно это направление развития энергетики определено как приоритетное в «Стратегии развития энергетики до 2020 г.».

В настоящее время все большее распространение получают электрические станции, использующие тепло с температурой 90...300 °С как источник энергии. Рабочими телами таких станций являются НРТ, которые имеют низкие температуры кипения при атмосферном давлении. Их особенности влияют на теплоэнергетические и массогабаритные характеристики оборудования станций.

В качестве НРТ применяют фреоны, водный раствор аммиака, пентан, изопентан, бутан, изобутан и др.

При выборе НРТ необходимо учитывать ряд предъявляемых к ним требований:

- дешевизна;
- хорошие теплофизические свойства;
- нетоксичность;

– отсутствие экологического воздействия на окружающую среду (озоновый слой, парниковый эффект);

– замерзание при достаточно низких отрицательных температурах, что важно для климатических условий северных регионов.

Первый в мире опытный образец энергоблока на НРТ был введен в эксплуатацию в составе Паратунской ГеоТЭС в 1967 г. В качестве рабочего тела был использован фреон-12. Установленная электрическая мощность энергоблока составляла 750 кВт.

Если в цикле в качестве рабочего тела используется не пар, как в традиционной паротурбинной технологии, а НРТ – низкокипящие рабочие тела, представляющие собой органические или синтетические вещества с низкой температурой кипения, то такая установка будет работать по органическому циклу Ренкина (Organic Rankine Cycle). ORC (или ОЦР)-технология – это применение подобных систем для получения электроэнергии из различных источников тепла.

Одним из распространенных НРТ является органическая жидкость пентан  $C_5H_{12}$  (отсюда и название – «пентановая технология», хотя оно условно). До температуры  $+36\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при атмосферном давлении) пентан находится в жидком состоянии, а после  $+36\text{ }^{\circ}\text{C}$  переходит в газообразное состояние. Примерами других низкокипящих рабочих тел могут быть углеводороды (бутан, пропан), хладоны ( $R_{11}$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{114}$ ,  $R_{123}$ ,  $R_{245+a}$ ), аммиак, толуол, дифенил, силиконовое масло, а также  $CO_2$  при высоком давлении, или новое синтетическое вещество «Noves 649», разработка компании «ЗМ», известной по брэнду «Скоч» и др. Последнее, в отличие от пентана, является негорючим, инертным, неэлектропроводным и экологичным.

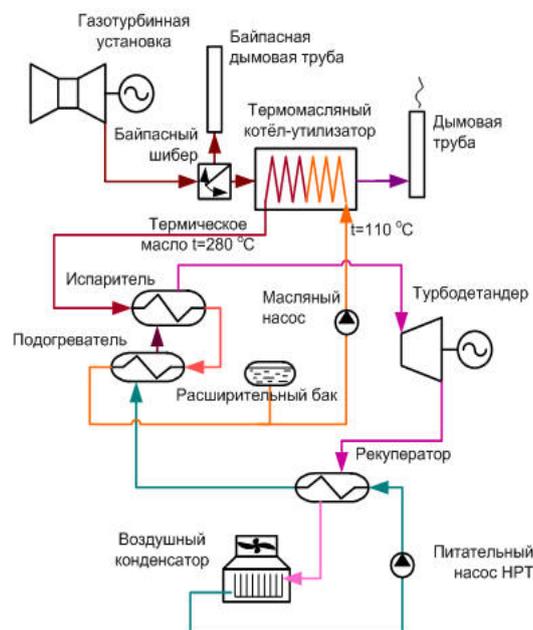


Рис. 1. Типовая схема утилизационной энергетической установки с пентановым контуром

Типовая схема электростанции (системы утилизации тепла) на основе энергетической установки с пентановым контуром представлена на рис. 1. Основные ее части – это термомасляный утилизационный котел, турбодетандер с электрогенератором и различные теплообменные блоки (испаритель, подогреватель, рекуператор и воздушный конденсатор).

Выхлопные газы от ГТУ через переключающий шибер (дивертор) поступают в термомасляный котел. Переключающий шибер позволяет не останавливать работу газовой турбины в случае необходимости прекращения работы системы утилизации. В первичном контуре системы применяется термическое масло. Это вызвано тем, что большинство НРТ – горючие вещества, а температура выхлопных газов у современных ГТУ достигает 500 °С. Термомасло более устойчиво к высоким температурам. Температура термического масла на входе в утилизационный котел – в пределах 90÷130 °С, на выходе – 280÷310 °С.

Нагретое масло передает тепло НРТ в подогревателе и испарителе. Здесь происходит процесс парообразования – из жидкого состояния органическая жидкость переходит в газообразное, и по трубопроводу направляется в турбодетандер.

Расширяющийся газ в турбодетандере вращает генератор со скоростью 1500 об/мин, который вырабатывает электроэнергию. Отработавшее после турбины НРТ поступает в рекуператор и далее – в воздушный конденсатор. После конденсатора оно насосами направляется в пароперегреватель, где подогревается до 220÷250 °С и затем снова направляется в турбину.

Макет энергетического комплекса с использованием турбогенераторной установки с пентановым циклом представлен на рис. 2.



Рис. 2. Макет энергетического комплекса с использованием турбогенераторной установки с пентановым циклом

*Сравнение электростанций, работающих на паровом и органическом цикле Ренкина.* Кроме основного оборудования, парового котла и паровой турбины в составе системы утилизации тепла на базе паротурбинной технологии много вспомогательного оборудования: охлаждающие устройства (градирни) для паровой турбины, деаэраторы, система водоподготовки, питательные, конденсатные и циркуляционные насосы. Все это связано многочисленными трубопроводами: питательными, паропроводами, циркуляционными, конденсационными, химически очищенной, сырой воды, технической воды. На всех этих трубопроводах установлено огромное количество регулирующей и запорной арматуры, как ручной, так и с электроприводом.

Чтобы подготовить к пуску основное оборудование, прогреть паропроводы, требуется большое количество специалистов, так как все ручные задвижки, вентили, воздушники необходимо открыть, а после прогрева – закрыть. Подготовка к пуску

занимает несколько часов. Все это усложняет систему управления и обслуживание паротурбинной электростанции.

Большую опасность для работы представляет погода с отрицательной температурой, особенно для градирен. Кроме того, для охлаждения конденсатора требуется большое количество технической воды.

Преимущества пентановой электростанции перед паротурбинной в следующем:

- не требуется вода для технологии, вместо нее применяются незамерзающие жидкости: пентан, термическое масло;
- отсутствует сложное паротурбинное оборудование (паровые котлы, турбины, ХВО, деаэраторы и т. д.);
- отсутствует главный корпус, так как все оборудование устанавливается на открытом воздухе;
- не требуется оперативный персонал, так как электростанция работает в автоматическом режиме;
- все системы работают надежно до температуры наружного воздуха  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .