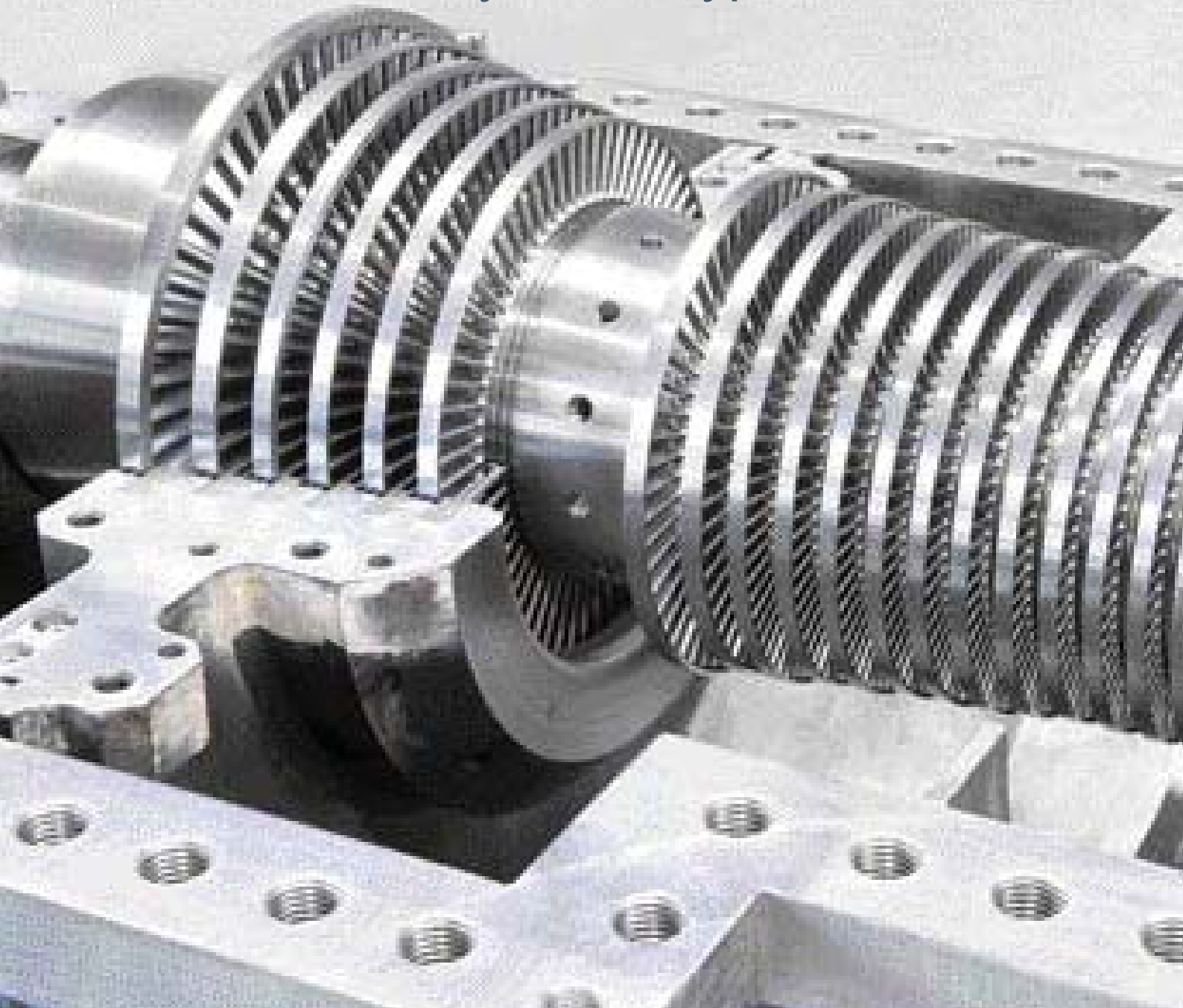


# Паровые турбины MARC®

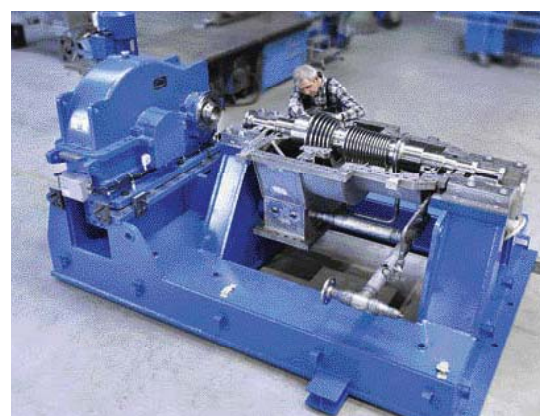
Концепция модульной турбины



Engineering the Future – since 1758.

**MAN Diesel & Turbo**





Ведя свою историю от судостроительной верфи "Блом и Фосс" [Blohm+Voss], компания MAN Diesel & Turbo успешно объединяет свой опыт и традиции с современными технологиями на собственном заводе в Гамбурге.



Наши первые паровые турбины были изготовлены в 1907 году под маркой "Блом и Фосс" – сначала для судов, строящихся на верфи, а затем – для электростанций. С 1952 года компания занимается в основном разработкой и производством промышленных паровых турбин. Мы поставили более 2000 турбин для электростанций в различных странах мира. Различные крупные компании и муниципальные образования используют наши турбины в следующих областях:

- промышленные электростанции
- ТЭЦ
- заводы по измельчению отходов
- электростанции, работающие на биогазе
- установки комбинированного типа

Наше современное производство площадью 27 тыс. кв. м в Гамбурге использует мощные станки. Система управления качеством сертифицирована по DIN EN ISO 9001. Размещение в центре свободного порта Гамбурга, компания MAN Diesel & Turbo открывает прекрасные возможности для перевозки даже больших агрегатов.

# Концепция



Главная цель в разработке паровых турбин MAN Diesel & Turbo – обеспечить безопасность эксплуатации, эффективность и готовность к работе в соответствии с потребностями заказчиков. За 15 лет с момента внедрения семейство паровых турбин модульной конструкции MARC® показало такие качества на многочисленных предприятиях. При этом его развитие не прекращается. Концепция модульной турбины позволяет использовать различные сочетания основных узлов, подобрав готовую установку под требования определенного заказчика.

**Турбины MARC®**  
Концепция модульной  
компоновки

**MARC® 1**

диапазон мощности  
от 1,5 до 3 МВт экв.

макс. диаметр фланца  
Острый пар  
на входе: до 125  
Выход: до 700

условия для макс.  
острого пара на входе  
65 бар (абс.) / 450 °C

12,000-14,000 мин<sup>-1</sup>

**MARC® 2**

диапазон мощности  
от 4 до 10 МВт экв.

макс. диаметр фланца  
Острый пар  
на входе: до 200  
Выход: до 1 200

условия для макс.  
острого пара на входе  
90 бар (абс.) / 520 °C

10,000-12,000 мин<sup>-1</sup>

**MARC® 4**

диапазон мощности  
от 9 до 20 МВт экв.

макс. диаметр фланца  
Острый пар  
на входе: до 250  
Выход: до 1 500

условия для макс.  
острого пара на входе  
120 бар (абс.) / 520 °C

7,000-10,000 мин<sup>-1</sup>

**MARC® 6**

диапазон мощности  
от 16 до 40 МВт экв.

макс. диаметр фланца  
Острый пар  
на входе: до 300  
Выход: до 2 400

условия для макс.  
острого пара на входе  
120 бар (абс.) / 530 °C

5,000-7,000 мин<sup>-1</sup>

Энергетическая установка состоит из следующих модулей:

- Паровая турбина
- Редуктор
- Генератор
- Система смазки низкого давления
- Гидравлическая система управления высокого давления
- Система контроля и управления

Конструкция установки позволяет свободно группировать модули системы смазки, масляной системы управления (иногда совместно) и системы контроля и управления.

Преимущества модульной концепции

- Проверенная конструкция турбины с использованием надежных технологий обеспечивает высокую готовность к эксплуатации
- Очень высокий КПД за счет оптимизации конструкции турбины
- Использование модулей системы смазки и масляной системы управления проверенной конструкции

- Компактный модуль системы измерения и управления ("черный ящик") подключен шиной к центральной системе управления
- Низкие капитальные затраты
- Гибкая и компактная схема

Диапазон мощности у турбин 4 типоразмеров составляет от 1,5 до 40 МВт. В семейство турбин MARC® входят турбины с противодавлением и конденсационные турбины, которые могут быть дополнительно снабжены каналами перепуска и отбора пара.

Условные обозначения: MARC® x - A B C

x – код размера турбины

A – код типа турбины

C: конденсационная турбина

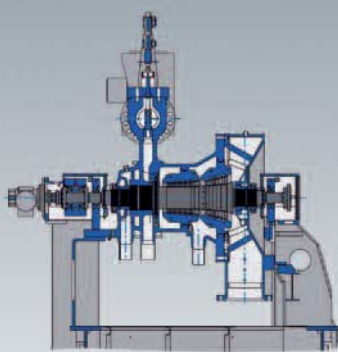
B: турбина с противодавлением

H: турбина для ТЭЦ

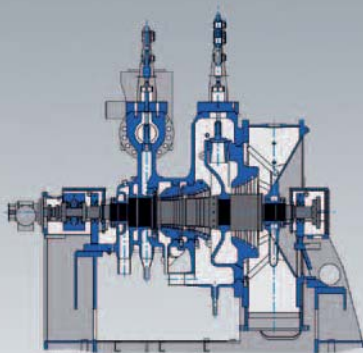
B – число управляемых каналов перепуска пара

C – число каналов отбора пара

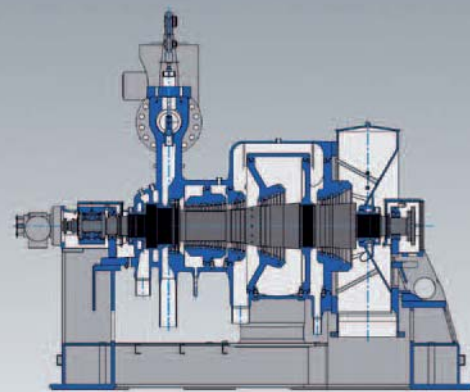
**Турбина типа В**



**Турбина типа С**



**Турбина типа Н**



### **Турбина типа В**

#### **Турбина с противодавлением**

Эти турбины используются для привода генераторов в ТЭЦ, на промышленных предприятиях и при одновременной выработке тепла и электроэнергии.

### **Турбина типа С**

#### **Конденсационная турбина**

Эти турбины используются в различных областях – от электростанций для промышленных предприятий и заводов по измельчению отходов до химических и нефтехимических производственных предприятий. Пар на выходе из турбины обычно используется для отопления, в производстве и для подогрева воды, подаваемой в котел. Для нормальной работы при неполной нагрузке в каскаде высокого давления используется регулируемый сопловой аппарат. В зависимости от условий работы в каскаде низкого давления устанавливается дросселирующее устройство.

### **Турбина типа Н**

#### **Турбина для ТЭЦ**

Эти турбины обычно применяются для выработки электроэнергии и тепла. Они отличаются наличием двойного выходного парового контура. Раздельная подача пара обеспечивает оптимальное давление для выработки горячей воды.

# Модуль турбины



В промышленных паровых турбинах часть пара нередко отбирается для производственных целей, подогрева пара или воды, подаваемой в котел. Кроме нескольких каналов отбора пара, могут использоваться и управляемые каналы перепуска пара. Модульная конструкция турбин серии MARC® обеспечивает возможность разработки узлов оптимальной конструкции под требования определенного заказчика в зависимости от уровня давления и объема перепуска пара.

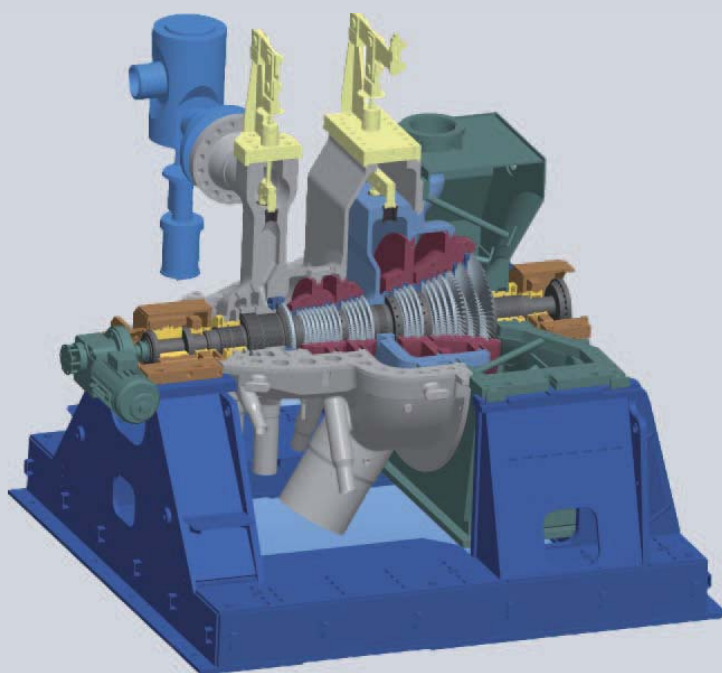
В зависимости от фактических параметров пара и режима работы подбирается конструкция рабочих лопаток. Сопловой аппарат представляет собой сварную конструкцию, расположенную сверху или внизу.

Паровые турбины MAN Diesel & Turbo разрабатываются и изготавливаются для обеспечения максимальной безопасности и надежности в эксплуатации.

Поскольку детали парового тракта подвергаются сильному нагреву при изменении нагрузки, корпуса, опоры сопловых лопаток и внутренние корпусные конструкции разрабатываются с учетом обеспечения максимальной эластичности при тепловом расширении и сжатии.

## **Все типы турбин отличаются следующими конструктивными особенностями:**

- Многоступенчатая реактивная турбина
- Регулируемый сопловой аппарат
- Практически симметричное распределение температуры в окружном направлении для всех поперечных сечений и при всех нагрузках
- Кованый цельный ротор
- Лабиринтные уплотнения вала в зазорах между ротором и корпусом



### **Ротор турбины**

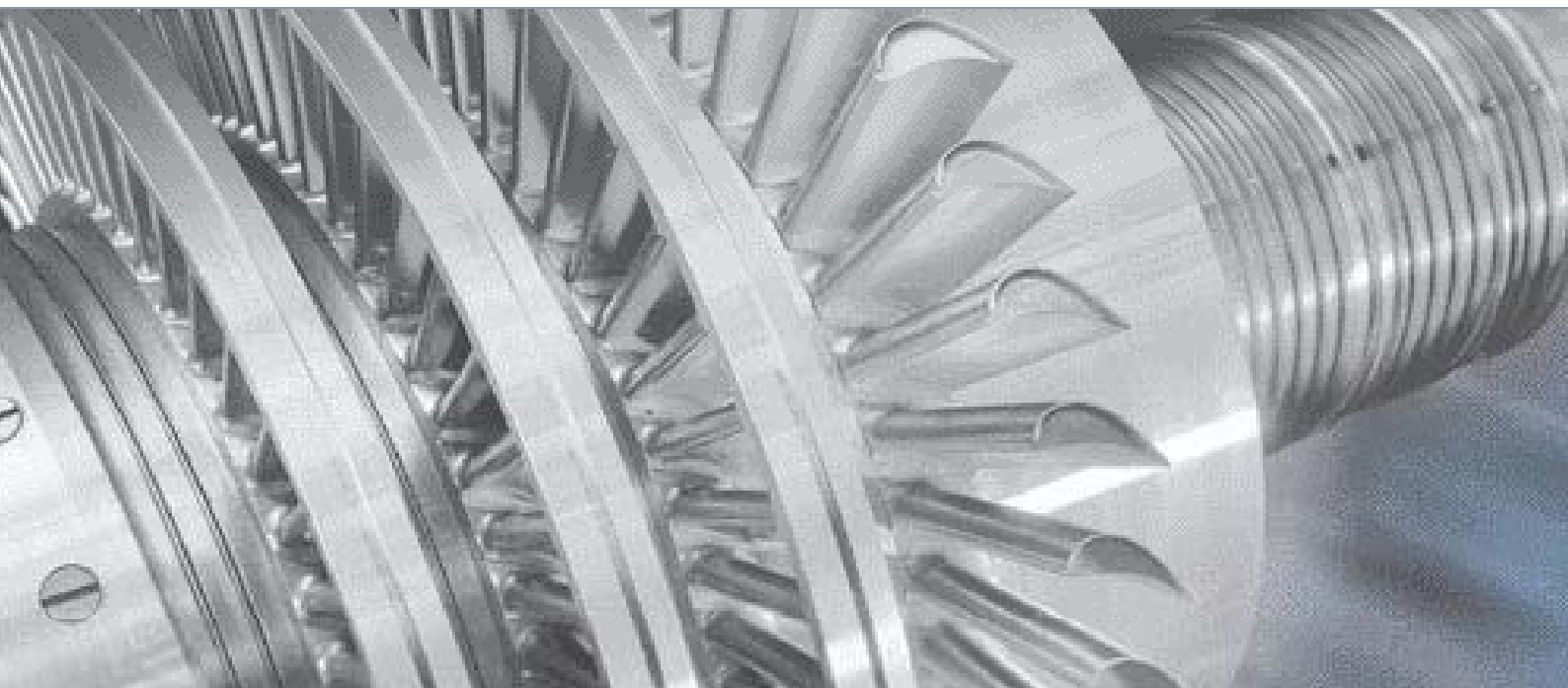
Конструкция реактивных турбин – барабанная. Роторы, балансирующий поршень, рабочие колеса и детали барабанов изготавливаются из жаропрочных материалов ковкой из цельных заготовок. При проектировании ротора используются современные методы расчета, обеспечивающие соблюдение самых жестких требований к плавности работы без выхода на резонансные частоты вращения. Роторы в сборе с лопатками проходят статическую и динамическую балансировку на современном вакуумном балансирующем стенде. В результате уровень вибрации вала во всем диапазоне частот вращения существенно ниже установленных норм, например, стандарта ISO 10816.

### **Подшипники**

Опорные подшипники скольжения состоят из вкладышей ступенчатого или сферического профиля. Ротор поддерживается в устойчивом положении давлением масла, равномерно распределенного по окружности.

Осевое усилие от перепада давления на рабочих лопатках в основном компенсируется балансирующим поршнем. Двусторонние разрезные упорные подшипники принимают остаточную осевую нагрузку и нагрузку от силы трения муфты.





## Лопатки

Лопатки (регулируемые и реактивные) преобразуют потенциальную энергию пара высокого давления в механическую энергию.

Несколько реактивных ступеней турбины обеспечивают высокую безопасность и экономичность в работе. Это определяется следующими факторами:

- высокая устойчивость сопловых и рабочих лопаток к механическим и тепловым нагрузкам во время работы
- высокий момент сопротивления сечения, исключающий вибрацию
- низкие утечки через лопатки в широком рабочем диапазоне

Сопловые и рабочие лопатки имеют одинаковый профиль, при разработке которого проводились подробные теоретические и экспериментальные исследования. Важным фактором при работе с неполной нагрузкой является угол атаки на входе, который отличается от

угла атаки на входе при нормальных условиях работы.

В результате необходимо наличие широкого диапазона плавного изменения угла атаки, который обеспечивает высокий КПД при неполной нагрузке в условиях работы, отличающихся от номинальных. Этим требованиям полностью соответствует профиль для повышенного давления, используемый в наших турбинах.

Потери в зазорах и вторичные потери в турбинах с противодавлением, а также в ступенях высокого давления конденсационных турбин минимизируются за счет использования бандажей. Рабочая лопатка вместе с замком и бандажной полкой изготавливается фрезерованием из одной заготовки. После установки лопаток на ротор бандаж проходит механическую обработку для придания ему окончательной формы. В ступенях с малыми потерями в зазорах используются не бандажные полки а острая кромка с одной стороны.



### Система управления

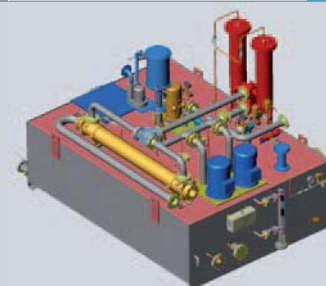
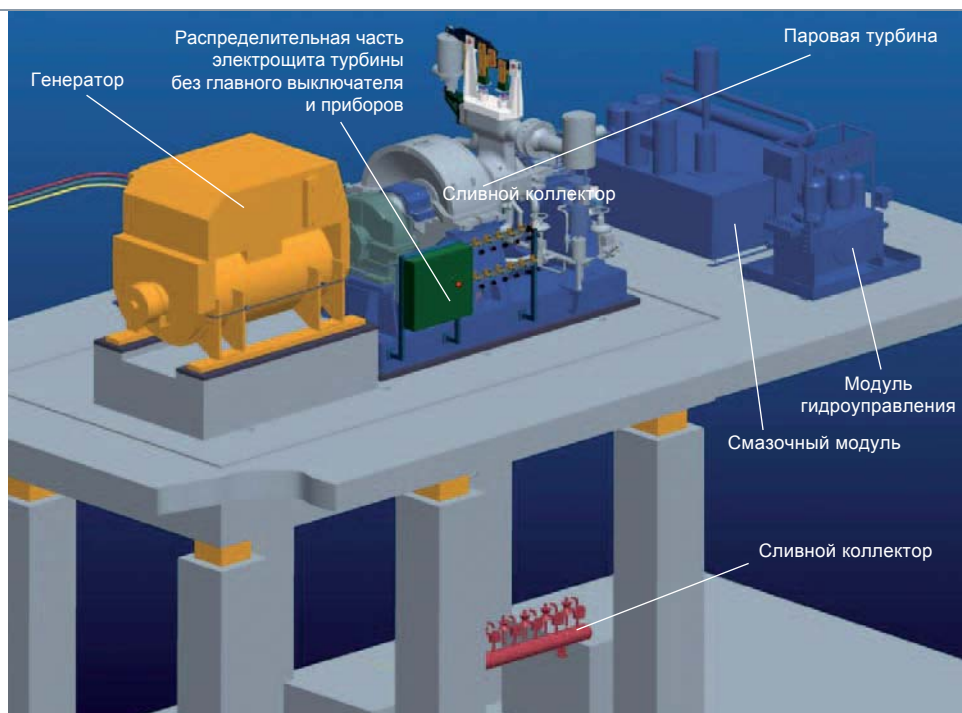
В зависимости от фактических характеристик пара и заданного режима работы оператор может управлять сопловым аппаратом одновременно с управлением перепуском и дросселированием или без этой функции. В регулируемом сопловом аппарате турбин MAN Diesel & Turbo используются клапаны управления расходом пара с диффузорами. Малые размеры клапанов позволяют использовать большое число групп клапанов и сопловых лопаток, поддерживая на очень низком уровне потери на дросселирование даже при неполной нагрузке. Коническая форма клапана рассчитана на оптимальный расход. Стержни, конусы и рейки клапанов сделаны из жаропрочной стали. Они проходят специальную поверхностную обработку для увеличения ресурса.

Малые размеры клапанов позволяют управлять ими напрямую. Компактным и надежным решением является групповое управление клапанами. В этом случае для привода используется гидроцилиндр одностороннего действия, преодолевающий усилие пружины под давлением масла 160 бар, подаваемого

гидравлической системой управления. При аварийном или обычном останове при полной нагрузке клапаны закрываются предварительно натянутой пружиной. Это защищает турбину при возникновении отказов. Если давление в гидравлической системе управления падает, и управляющие клапаны, и клапаны аварийного останова закрываются автоматически, поскольку они имеют одинаковый принцип работы (привод от гидроцилиндра одностороннего действия, преодолевающего усилие предварительно натянутой пружины). Это обеспечивает двойную защиту турбины и парового контура.

Система рычагов обеспечивает параллельное движение обеих стержней клапанов, точно передавая команды контроллера к рейке и к одному или нескольким конусам клапанов в зависимости от их положения. Сочленения, выполненные из самосмазывающихся материалов, не подвержены коррозии и не требуют обслуживания. Для уплотнения стержней клапанов используются втулки из прессованного графита, не требующие обслуживания, спиральные прокладки и армированные графитовые направляющие кольца.

# Модули редуктора, генератора, системы смазки и гидравлической системы управления



Смазочный модуль



Гидравлический агрегат

## Редуктор

Редукторы промышленных паровых турбин обеспечивают преобразование частоты вращения турбины до уровня, необходимого для определенных условий работы. И без того низкие механические потери в редукторе компенсируются максимально возможным КПД турбины. В семействе турбин MARC® используются редукторы с прямыми зубчатыми цилиндрическими шестернями.

## Генератор

Генераторы от известных европейских производителей завершают комплектацию установки.

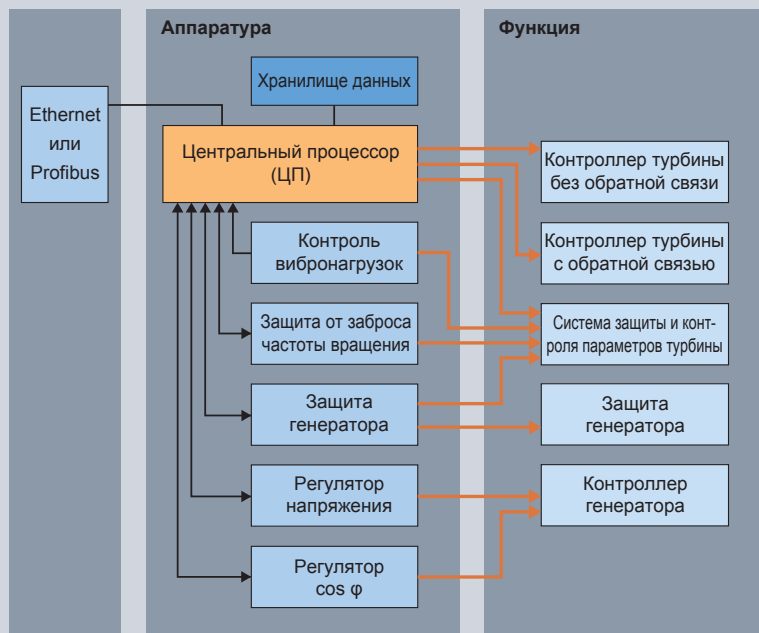
## Система смазки

Эта система выполнена в форме компактного модуля, обеспечивающего подачу масла низкого давления к турбине, редуктору и генератору.

## Гидравлическая система управления

Как и система смазки, эта система выполнена в форме компактного модуля. Она обеспечивает подачу масла давлением 160 бар не только к клапанам системы управления, но и к клапану аварийного прекращения подачи пара, тарельчатым клапанам аварийного перепуска и, если это предусмотрено, к клапанам управления отбором пара.

# Модуль системы контроля и управления



## Шкаф системы управления

Шкаф системы управления турбины небольшого размера можно установить в разных местах. Все функции управления и защиты для турбины и генератора объединены в одном шкафу, на передней части которого расположена панель управления. Это экономит место и сокращает время установки и ввода в эксплуатацию, поскольку обмен сигналами между датчиками, исполнительными устройствами и системой управления можно организовать по сети (например, Ethernet or PROFIBUS)

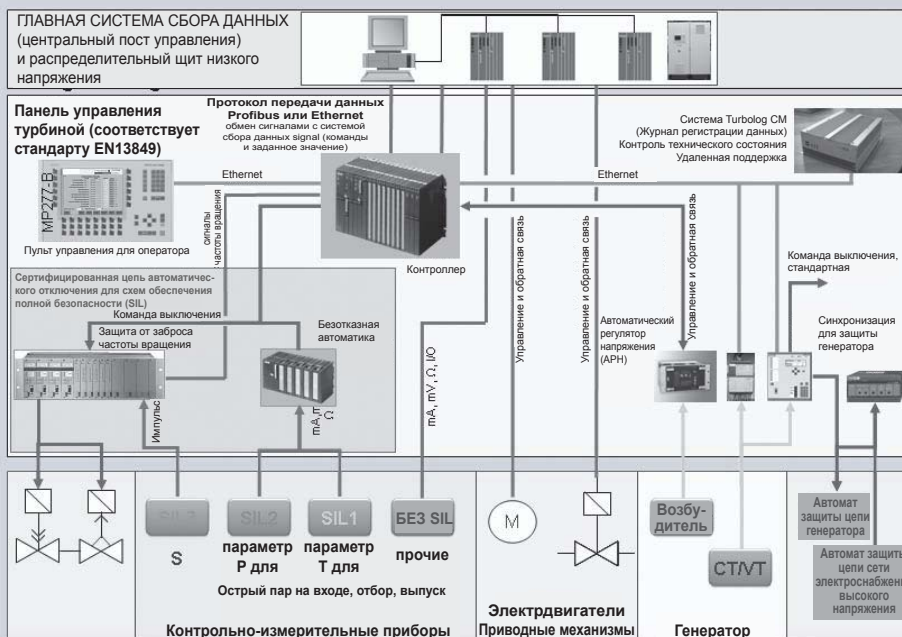
## Система управления

Для гибкого обеспечения соответствия требованиям различных технологических процессов эта система построена на основе программируемых логических контроллеров (ПЛК). Комплексный набор модулей обеспечивает

гибкость и удобство в работе, наличие большого числа интерфейсов с другими системами и упрощает расширение возможностей системы при появлении дополнительных требований. Система управления предусматривает полную автоматизацию запуска, останова и эксплуатации всей турбинной установки при исключительной простоте управления.

## Управление

На основе многолетнего опыта управления паровыми турбинными установками мы разработали цифровой контроллер для паровой турбины. Его включение в существующую систему управления обеспечивает сохранение имеющейся концепции управления с оптимальной интеграцией контроллера без дополнительных интерфейсов. Этот контроллер отличается широким набором функций и гибкостью.



## Эксплуатация

Для управления паровой турбиной в ходе эксплуатации можно использовать центральную систему контроля и управления или панель оператора на шкафу системы управления. В автоматическом режиме используются только команды запуска/останова турбины и настройки. Все сообщения о состоянии и отказах отображаются на местной панели управления и передаются центральной системе управления по сети.

## Безопасность

Все агрегаты турбины оснащены разнообразным защитным оборудованием, обеспечивающим безопасный останов паровой турбины и генератора в критической ситуации. Классификация критериев обеспечения безопасности

соответствует стандарту IEC 61508. Сигналы контроля, предупреждения и аварийного останова настроены так, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между безопасностью и готовностью машины к работе.

## Удаленный доступ

Регистратор с интерфейсом ISDN обеспечивает возможность удаленной поддержки для персонала, эксплуатирующего турбину. Он сохраняет важные рабочие данные, которые могут быть изучены нашей службой технической поддержки, а наши специалисты по обслуживанию имеют прямой доступ к системе управления и панели управления. Это позволяет нам предоставить заказчику быструю и оптимальную по цене поддержку.

# Обеспечение качества



Главный приоритет в производстве турбин – обеспечить соответствие всех узлов и деталей требованиям стандартов высокого качества.

Постоянный контроль качества гарантирован внедрением системы управления качеством ИСО 9001.

Работы по монтажу турбины и рамы основания, а также прокладке внутренних трубопроводов проводятся на объекте.

Модули редуктора, генератора и масляных систем проходят испытания на соответствие жестким стандартам качества на заводе-изготовителе. Затем они устанавливаются и подсоединяются к остальным модулям на объекте заказчика.

Для обеспечения плавной и безопасной работы, а также высокой готовности турбины к эксплуатации все роторы турбины перед установкой проходят высокоскоростную динамическую балансировку и проверку на заброс частоты вращения на вакуумном стенде.

# Монтаж и обслуживание



Наш опытный отдел обслуживания турбин обеспечивает правильность выполнения монтажа поставленных турбин с проведением работ по вводу в эксплуатацию и эксплуатационных испытаний. Одновременно персонал, занимающийся эксплуатацией, проходит необходимую подготовку.

Готовность к эксплуатации и срок службы оборудования в первую очередь определяется его техническим обслуживанием. Мы предлагаем полный пакет услуг для помощи заказчику в решении стоящих перед ним задач и для обеспечения максимальной готовности установки к эксплуатации. При выполнении любых работ – установки нового оборудования, его ремонта или модернизации, – наши специалисты нацелены на своевременное предоставление профессиональных услуг. Отдел обслуживания доступен круглосуточно для скорейшего возврата оборудования заказчиков в рабочее состояние.

MAN Diesel & Turbo  
Hermann-Blohm-Straße 5  
20457 Hamburg, Germany  
Тел.: +49 40 370 82-0  
Факс: +49 40 370 82-1990

[www.mandieselturbo.com](http://www.mandieselturbo.com)