

Паровые турбины Siemens SST

In brief
Siemens SST steam turbines.

Siemens with over a century of experience and continuous development in steam turbine technology is a prime partner for any customer in various branches of industry. Thousands steam turbines delivered worldwide prove the reliability and effectiveness of the equipment. Siemens steam turbines work as generator drives or as mechanical drives for compressors or pumps. They play a significant role in many combined cycle and cogeneration plants and in industrial applications. Steam turbines are also often applied in the renewable energy sector as a part of power generation plants, district heating, biomass, waste-to-energy, seawater desalination or solar heat. The modular design concept of all steam turbines ensures high flexibility, availability and a reduction of time-to-market. High quality and customized solutions are guaranteed for every Siemens steam turbine.

А. В. Кузнецов, А. В. Резниченко, С. В. Холодков – ООО «Сименс»

Компания «Сименс», имеющая более чем 100-летний опыт в области турбостроения, производит широкий спектр компактных паровых турбин, надежных в работе и имеющих различное применение. Они отличаются экономичностью, высокой степенью автоматизации и гибкостью компоновочных решений.

На протяжении долгого времени компания «Сименс» занимает передовые позиции в производстве паровых турбин и вращающегося оборудования. Тысячи турбин «Сименс» эксплуатируются по всему миру в самых разных отраслях промышленности. Их отличает, с одной стороны, современная конструкция, а с другой – проверенные технические решения. Нужно отметить также надежность турбин, вариативные решения по автоматизации и выполнение непосредственно под параметры заказчика.

На рынке промышленных паровых турбин компания «Сименс» представлена двумя линейками мощности: от 5 кВт до 12 МВт (малой мощности) и от 12 до 250 МВт (большой мощности). Паровые турбины большей мощности 200...900 МВт предлагаются для тепловых электростанций.

Преимущества паротурбинной технологии

Обычно целесообразность применения той или иной технологии (паротурбинной, газотурбинной, газопоршневой) для выработки электроэнергии определяется на этапе технико-экономического обоснования проекта. Одним из важных показателей при этом является срок окупаемости, или срок возврата инвестиций. Необходимо также учитывать надежность и

коэффициент готовности оборудования, затраты на его обслуживание.

Один из основных показателей быстрого срока окупаемости – высокий КПД установки в целом. На сокращение срока окупаемости также влияют: низкая удельная стоимость оборудования (р./кВт); высокий коэффициент готовности, снижающий время простоя; низкая стоимость техобслуживания и, безусловно, стоимость топлива, определяющая себестоимость электроэнергии.

При выработке электроэнергии паротурбинная технология в диапазоне малых мощностей имеет определенные преимущества. Это более длительные сроки службы оборудования и межремонтные интервалы, низкая стоимость технического обслуживания, использование практически любого вида топлива в паровых котлах, большие тепловые нагрузки в когенерационном цикле и т.д. К тому же, в некоторых случаях топливные затраты на производство электроэнергии могут быть нулевыми (или минимальными в случае использования бросового пара или отходов производства), что также относится к преимуществам использования паротурбинной технологии.

Паровые турбины малой мощности

В диапазоне малых паровых турбин компания «Сименс» предлагает турбины мощностью

до 12 МВт, унаследованные от одной из крупнейших компаний по производству турбин и компрессоров – Dresser-Rand, имеющей богатую историю и колоссальный опыт производства паровых турбин.

История Dresser-Rand началась в 19 веке, с основания двух фирм – Dresser-Industries и Ingersoll-Rand, давших название компании. На протяжении последних лет предприятие включало в себя все новые заводы. В сентябре 2014 г. Dresser-Rand была приобретена компанией «Сименс» и вошла в состав концерна. За время существования Dresser-Rand было произведено более 100 тыс. турбин, которые применяются для выработки электроэнергии и приводов вращающегося оборудования (насосов, компрессоров и т.д.). Диапазон выпускаемых моделей турбин широк и включает в себя как многоступенчатые, так и одноступенчатые турбины с активным облопачиванием.

Представлены турбины как классической компоновки, с рабочим колесом между подшипниками (B, RS, SST 350/500/700 и др.), так и с консольным расположением рабочего колеса (C, GTW, AVT). Также выпускаются турбины вертикальной компоновки (RLVA) – в них вал расположен вертикально. Основные параметры и применение турбин Siemens D-R приведены в *табл. 1*.

Все турбины данной линейки – активного (импульсного) типа. Пар, поступающий через сопловые решетки, расширяется и передает энергию на лопатки рабочих колес турбины. Содержащаяся в паре тепловая энергия пре-

образуется в механическую энергию и вращает вал турбины. Вал турбины, в свою очередь, соединен через муфту с валом генератора или (в случае с механическим приводом) напрямую с приводимым оборудованием. Ротор турбины может быть выполнен из цельнокованой заготовки и собран путем горячей посадки рабочих колес на вал и дополнительной фиксацией их шпонкой.

Турбины одной серии отличаются друг от друга в основном компонентами индивидуального исполнения: рабочие колеса турбин, зубчатые колеса редукторов разрабатываются и изготавливаются для конкретного проекта, под конкретные параметры. Но при этом они имеют и общие конструктивные характеристики, например, одинаковые наружные диаметры рабочих колес или диаметры шеек валов, что позволяет использовать в турбинах одной серии стандартные элементы – корпуса, подшипники, уплотнения и т.д. Таким образом, турбины имеют высокую степень унификации.

Кроме того, при использовании стандартных, проверенных длительной эксплуатацией компонентов сокращаются объемы инженерных работ, сроки изготовления паротурбинных установок, а также унифицируются запасные части к ним. Этим обусловлена высокая надежность турбоустановок, их невысокая стоимость и низкие затраты на техническое обслуживание.

Турбоустановки имеют модульную компоновку, небольшие габариты и массу. Минимальные требования к производственной

Табл. 1. Основные параметры и области применения турбин Siemens D-R

| | Область применения | Мощность, МВт | Частота вращения, об/мин | Темп. пара на входе, °С | Давление пара на входе, МПа | Противодавление, МПа | Давление в конденсаторе, МПа | Регулир./нерегулируемые отборы |
|---------------------|----------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| D-R RLA | Мех. привод | 0,24 | ≤ 4300...6000 | ≤ 440 | ≤ 4,7 (а) | ≤ 1,2 (а) | | |
| D-R RLVA | Мех. привод | 0,24 | ≤ 4300...6000 | ≤ 440 | ≤ 4,7 (а) | ≤ 1,2 (а) | | |
| D-R RLH-15 | Мех. привод | 1,865 | ≤ 6000 | ≤ 482 | ≤ 6,3 (а) | ≤ 2,1 (а) | | |
| D-R RLH-24 | Мех. привод | 1,865 | ≤ 6000 | ≤ 482 | ≤ 6,3 (а) | ≤ 2,1 (а) | | |
| D-R SST 350/500/700 | Мех. привод | 3,50 | ≤ 12000 | ≤ 482 | ≤ 6,3 (а) | ≤ 20,2 (изб.) | | |
| D-R 2TA | Мех. привод | 3,64 | ≤ 15000 | ≤ 530 | ≤ 10,1 (а) | ≤ 3,3 (а) | | |
| D-R AVTTW | Мех. привод | 4,50 | ≤ 5000 / ≤ 13000 | ≤ 550 | ≤ 12,5 (а) | ≤ 4,0 (а) | | |
| D-R GTW | Мех. привод | 4,50 | ≤ 14500 | ≤ 550 | ≤ 12,5 (а) | ≤ 3,5 (а) | | |
| D-R C | Мех. / энерг. привод | 2,50 | ≤ 8500 | ≤ 520 | ≤ 12,0 (а) | 2,1 (а) | | |
| D-R GAF | Мех. / энерг. привод | 3,50 | ≤ 6000 | ≤ 440 | ≤ 4,9 (а) | ≤ 0,6 (а) | ≤ 0,005 (а) | |
| D-R U | Мех. / энерг. привод | 6,34 | ≤ 10000 | ≤ 455 | ≤ 4,6 (а) | ≤ 1,5 (а) | ≤ 0,005 (а) | |
| D-R R | Мех. / энерг. привод | 25,0 | ≤ 15000 | ≤ 482 | ≤ 6,3 (изб.) | ≤ 2,9 (изб.) | ≤ 0,005 (а) | 1 / несколько |
| D-R RS | Мех. / энерг. привод | 25,0 | ≤ 15000 | ≤ 482 | ≤ 6,3 (изб.) | ≤ 2,9 (изб.) | ≤ 0,005 (а) | 1 / несколько |
| D-R K | Мех. привод | 4,85 | ≤ 10000 | ≤ 398 | ≤ 2,75 (а) | ≤ 0,5 (изб.) | ≤ 0,005 (а) | |
| D-R B | Мех. / энерг. привод | 11,0 | ≤ 9500 | ≤ 500 | ≤ 6,5 (а) | 0,69 (а) | | несколько |
| D-R Tandem | Мех. / энерг. привод | 12,50 | ≤ 8500 | ≤ 530 | ≤ 11,1 (а) | ≤ 1,3 (а) | | 1 / несколько |

площадке при их установке обуславливают низкие затраты на возведение фундамента и оснащение машинного зала.

Соответствие стандартам API 611 и API 612

Важно отметить, что компания выпускает турбины, соответствующие стандарту API 611 и API 612. Это стандарты американского института нефти, являющиеся практически международными и признанными во всем мире, для нефтяной и химической отрасли. На стандартах API стоит остановиться подробнее. Они разработаны группами технических экспертов для разных видов оборудования (компрессоры, насосы, редукторы, смазочные системы и пр.) с учетом опыта эксплуатации заказчиками и генподрядчиками в нефтеперерабатывающей и химической отрасли.

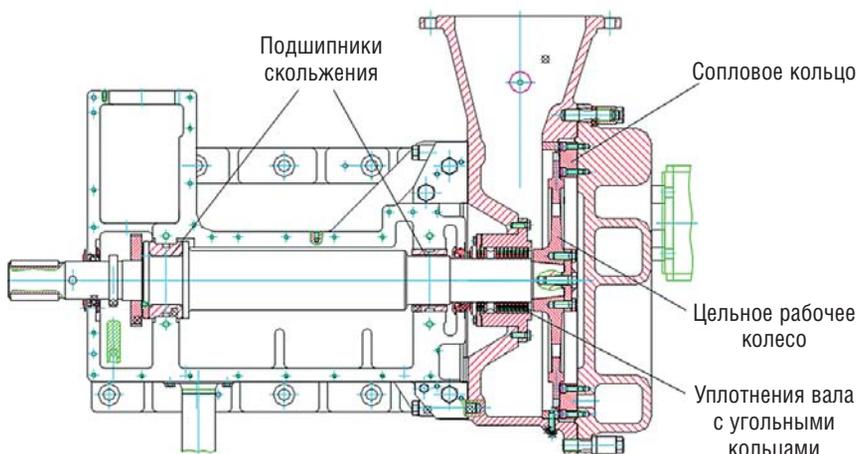
При создании стандартов API учитывались следующие требования:

- исключительная надежность турбин при работе в неблагоприятных условиях;
- минимальный объем технического обслуживания;
- максимально продолжительный срок службы в нефтеперерабатывающей или химической отрасли.

Данные требования обусловлены тем, что нефтяные и нефтехимические предприятия часто располагаются на удаленных площадках, работают в суровых условиях. Для оборудования характерны сложные режимы эксплуатации, увеличенные интервалы между остановами. Потери от неожиданных отказов и остановов оборудования могут быть весьма значительными и достигать миллионов евро.

Таким образом, становится понятно, почему для нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и химической отраслей рекомендуется применять именно те турбины, которые соответствуют стандарту API, несмотря на то что

Рис. 1. Одноступенчатая турбина типа С



другое оборудование может привлекать заказчиков более низкой ценой.

Стандарт API разделяет турбины общего назначения (API 611) и специального (API 612). Турбины общего назначения применяются в производственных процессах, откуда они с легкостью могут быть выведены для техобслуживания. Турбины специального назначения используются в технологических процессах, от которых зависит работа производства, и перебои в работе оборудования могут привести к огромным потерям. (Более подробно рассказать о стандартах API планируется в следующих номерах журнала).

Типы паровых турбин

В данной статье рассмотрены четыре типа турбин малой мощности – C, B, RS и SST.

Тип C (рис. 1). Структура названия включает модель турбины, цифры, обозначающие диаметр рабочего колеса (4 – 460 мм; 5 – 550 мм; 7 – 725 мм; 10/11 – 1016 мм), и несколько индексов. Прямой привод обозначается римской цифрой II, встроенный редуктор – литерой G.

Характерные особенности турбин – консольное расположение рабочего колеса, т.е. оно «вывешено» с одной стороны турбины, вне подшипников вала; быстрый старт. В них применяется одно- или многоклапанный впуск. Выхлоп – осевой или боковой. Турбины данного типа отлично подходят для работы с насыщенным паром. Используются рабочие колеса «Кертис» или «Рато». В табл. 2 приведены основные параметры турбин типа C.

Тип B (рис. 2, фото 1). Многоступенчатые турбины классической компоновки, рабочее колесо располагается между подшипниками вала. В основном они применяются для производства электроэнергии, но могут использоваться в качестве привода вращающегося оборудования – компрессоров, насосов и др.

В турбинах реализовано сопловое парораспределение, может использоваться до трех автоматических и контролируемых, а также

Табл. 2. Характеристики турбин типа C

| Показатель | Значение |
|----------------------------|-------------------------|
| Мощность, кВт | ≤ 2500 |
| Частота вращения, об/мин | ≤ 8500 |
| Давление на входе, МПа (а) | ≤ 12 |
| Температура на входе, °С | ≤ 520 |
| Противодавление, МПа (а) | ≤ 1,7 |
| Подшипники | сегментные / скольжения |
| Тип колес / лопаток | импульсные |



Табл. 3. Характеристики турбин типа B5 / B7 / Tandem

| Показатель | Значение |
|----------------------------|-------------------------|
| Мощность, кВт | ≤ 12500 |
| Частота вращения, об/ мин | ≤ 8500 |
| Давление на входе, МПа (а) | ≤ 12,0 |
| Температура на входе, °С | ≤ 530 |
| Противодавление, МПа (а) | ≤ 1,3 |
| Подшипники | сегментные / скольжения |
| Тип колес / лопаток | импульсные |

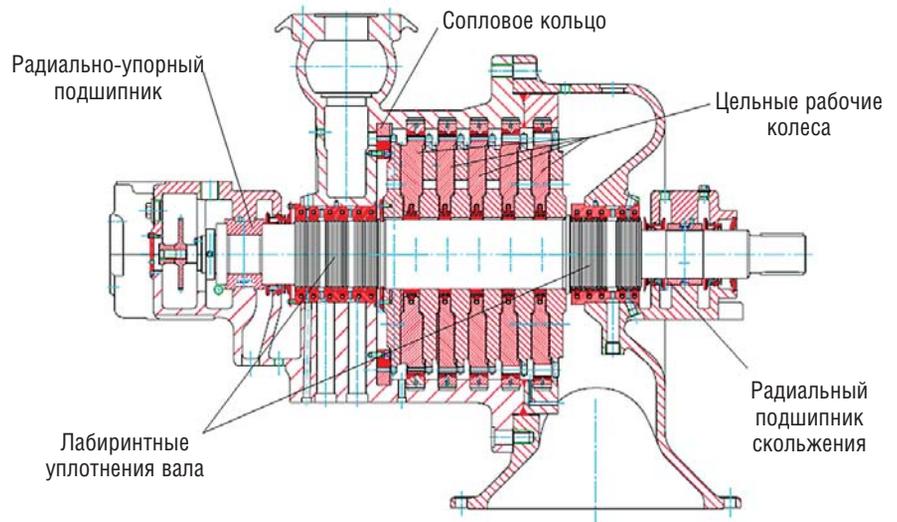
несколько нерегулируемых отборов. Максимальное давление отбора пара – 4 МПа. Возможен межступенчатый выпуск, а также работа на насыщенном паре. Потребитель подключается с любой стороны турбины или с двух сторон. Маслосистема – встроенная.

В названии турбины цифры 5 или 7 после индекса B означают диаметр первого рабочего колеса – 21 или 28...31 дюйм соответственно. В следующих обозначениях – количество ступеней, диаметр выхлопного патрубка, наличие отборов и т.д.



Табл. 4. Характеристики турбин типа R / RS

| Показатель | Значение |
|----------------------------|-------------------------|
| Мощность, кВт | ≤ 25 000 |
| Частота вращения, об/ мин | ≤ 15 000 |
| Давление на входе, МПа (а) | ≤ 6,3 |
| Температура на входе, °С | ≤ 482 |
| Противодавление, МПа (а) | ≤ 2,85 |
| Подшипники | сегментные / скольжения |
| Тип колес / лопаток | импульсные |



Например, обозначению B5S-6-G-AS соответствует 6-ступенчатая турбина с диаметром рабочего колеса 21 дюйм, выхлопной патрубок 25 дюймов и управляемый отбор. Основные параметры турбин типа B даны в табл. 3.

Тип RS. Турбины конденсационные или с противодавлением, по компоновке аналогичны турбинам типа B (рис. 3, фото 2). Турбина с редуктором установлена на общей раме.

Данные турбины соответствуют стандартам API 611 и API 612 и могут применяться на химических и нефтеперерабатывающих производствах. Общая структура обозначения турбин – RS7-MV-3-24D-CE, где RS7 – тип турбины и диаметр входного фланца, MV – сопловое парораспределение, 3 – количество ступеней, 24D – размер выхлопного фланца и его ориентация, CE – управляемый отбор.

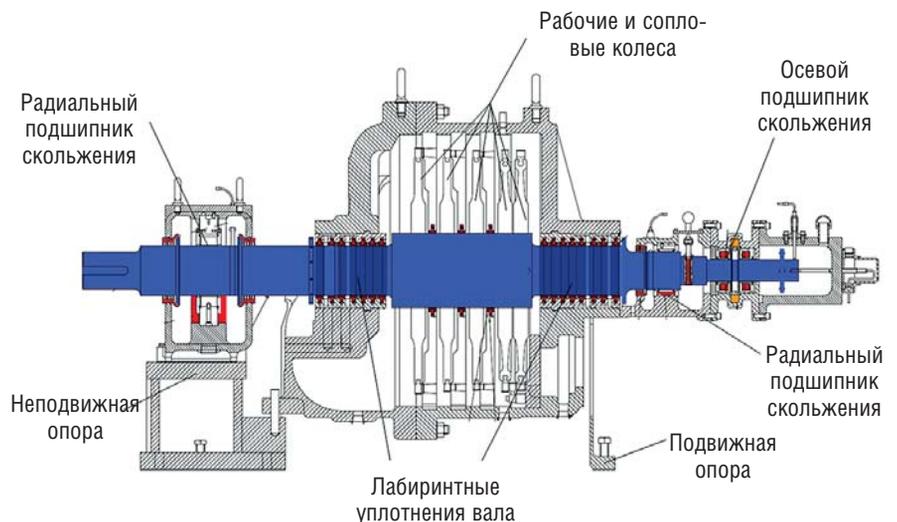
Турбины серии RS (до 15 ступеней) имеют одно- или многоклапанный выпуск, несколько нерегулируемых отборов. При этом реализован один автоматически регулируемый отбор, а также дополнительный выпуск пара. Ротор уста-

Фото 1. Паровая турбина типа B в цехе

Рис. 2. Схема турбины типа B

Фото 2. Паровая турбина типа RS

Рис. 3. Схема турбины типа RS



новлен на гидродинамический подшипник скольжения с самоустанавливающимися сегментами и шарикоподшипник (роликподшипник). Широко применяются стандартные устройства и компоненты. Применяются опции, соответствующие стандарту API, а также не подлежащие сертификации. Характеристики турбины RS в табл. 4.

Тип SST (рис. 4, фото 3). Турбины этой серии производятся на заводе в г. Гавр (Франция). Структура названия: SST – small steam turbine (малая паровая турбина); 350/500/700 – диаметр рабочего колеса турбины. В дальнейших индексах отражены варианты исполнения: например, Н – высокое давление на выхлопе; LP и HS – соответственно, низкое и высокое давление на выхлопе и на входе. Характеристики турбины даны в табл. 5.

Турбины отличаются прочной универсальной конструкцией. Имеют гидравлический масляный регулятор постоянной скорости Woodward серии TG класса А по системе классификации NEMA или электронный регулятор. Корпус выполнен с горизонтальным разъемом и осевой опорой. Механический клапан защиты от превышения частоты вращения работает отдельно от регулирующего клапана. Применя-

ются лабиринтные или сальниковые уплотнения с графитовыми кольцами. Установлен встроенный съемный паровой фильтр.

Используются роликовые или сегментные упорные подшипники. Масляная смазка – кольцевая, также возможны решения с принудительной подачей масла. Применяется широкий набор средств управления и вспомогательных приспособлений, высококачественная система теплоизоляции.

Турбины SST применяются только в качестве механического привода для компрессоров и насосов. Они могут выполняться в соответствии со стандартами API 611 и API 612. Многие турбины этого типа установлены на химических предприятиях и НПЗ как за рубежом, так и в России.

Основные преимущества паровых турбин компании «Сименс»

Самое главное преимущество малых паровых турбин «Сименс» – это широкий модельный ряд, позволяющий подобрать турбину практически под любые требования заказчика.

Оборудование поставляется комплектно, по желанию заказчика – турбина, редуктор, генератор, система управления, общая рама и кон-

Табл. 5. Характеристики турбин типа SST 350 / 500 / 700

| Показатель | Значение |
|----------------------------|------------|
| Мощность, кВт | ≤ 3500 |
| Частота вращения, об/мин | ≤ 12 000 |
| Давление на входе, МПа (а) | ≤ 6,3 |
| Температура на входе, °С | ≤ 482 |
| Противодавление, МПа (а) | ≤ 2,02 |
| Подшипники | скольжения |
| Тип колес / лопаток | импульсные |

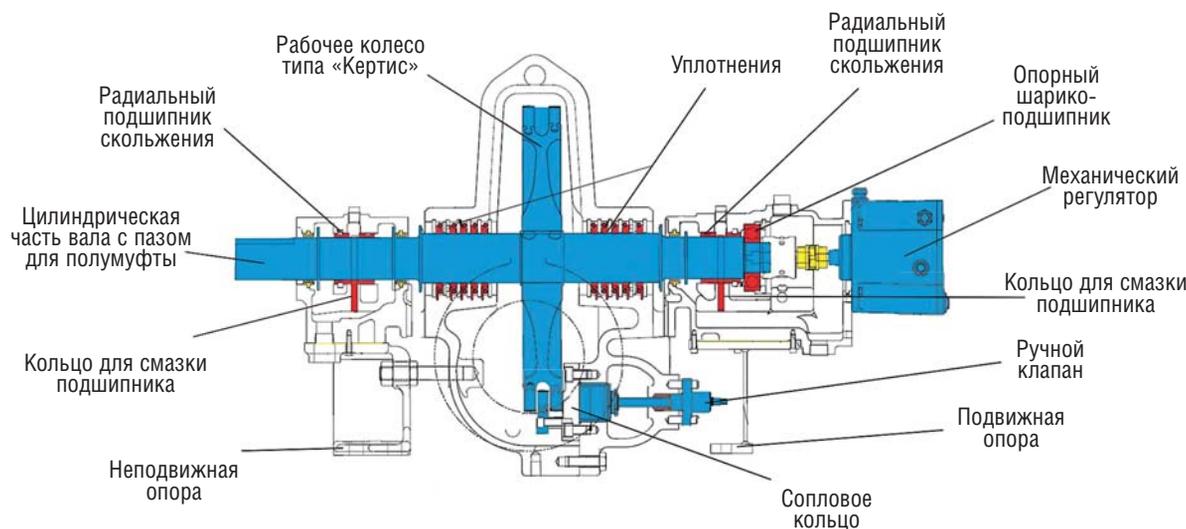


Фото 3. Паровая турбина типа SST

Рис. 4. Схема турбины типа SST 350 / 500 / 700

денсатор, если он необходим. Перед этим обязательно проводятся стендовые испытания на предприятии-изготовителе. Комплектная поставка существенно сокращает сроки пусконаладочных работ на площадке и позволяет устанавливать и запускать установки в максимально короткие сроки. Все поставщики вспомогательного оборудования и автоматики проходят сертификацию в компании «Сименс» и соответствуют строгим стандартам качества, принятым в Германии.

Фирменный сервис

Как и все лучшие мировые производители, компания «Сименс» предоставляет гарантию на заявленные технические характеристики турбоустановок. При должном качестве пара, после предусмотренных регламентом инспекций турбина может продолжать работать в течение нескольких таких временных интервалов, т.е. более 30 лет. Срок службы турбины, а также ее элементов определяется регулярностью и качеством техобслуживания. Программа технического обслуживания паровых турбин представлена на рис. 5.

Ежегодный осмотр турбины проводится, согласно инструкции, без разборки корпуса. Во время следующей инспекции после 25 тыс. часов эксплуатации добавляется бороскопическое обследование лопаток, и только во время следующего, полного обследования оборудования (после 50 тыс. часов) проводится разборка корпуса и полная поверка состояния всех компонентов. Коэффициент использования турбин составляет более 98 % при наличии запасных частей на время эксплуатации.

Во время капитального ремонта турбоустановок при необходимости можно проводить их модернизацию, например, замену рабочих колес. Поскольку рабочие колеса турбин и зубчатые колеса редукторов имеют индивидуальное исполнение, турбоустановки изготавливаются под конкретные параметры пара и необходимые заказчику технические характеристики. Таким образом, при неизменной базовой конструкции турбины для каждого проекта возможно индивидуальное решение.

Области применения паровых турбин

Паровые турбины компании «Сименс» могут использоваться в самых различных отраслях промышленности — химической, нефтеперерабатывающей, пищевой, а также в коммунальном хозяйстве.

Оптимальные сферы применения малых паровых турбин — это станции комбинированного и когенерационного цикла, работающие на возобновляемом топливе (биомасса, опилки,

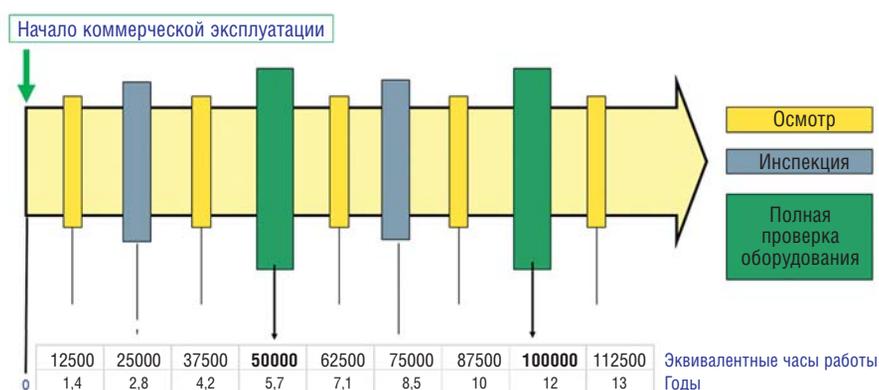


Рис. 5. Программа технического обслуживания паровых турбин «Сименс»

отходы сельского хозяйства и др.), утилизация неиспользуемого технологического тепла, для замены редуционно-охладительных устройств. Для любого проекта важнейшей частью является технико-экономическое обоснование, в котором, в свою очередь, одним из основных факторов является срок окупаемости проекта.

Для паровых турбин «Сименс», а также для проектов с их использованием возможно применение схемы лизинга от компании «Сименс-Финанс». Лизинговая схема позволяет снизить выплаты по налогу на прибыль и тем самым улучшить финансовую картину проекта.

Известно, что для малых мощностей производство электроэнергии при помощи паровых турбин иногда уступает газопоршневым машинам по эффективности и общей стоимости, но свои преимущества у таких проектов тоже есть. Это больший срок службы, меньшая стоимость обслуживания, увеличенные межремонтные интервалы, возможность получения отборов пара на технологию помимо выработки электроэнергии, отсутствие маслохозяйства и большого склада запчастей, необходимых для газопоршневых машин.

При использовании биомассы или отходов сельского хозяйства в качестве топлива для котлов, снабжающих турбины паром, собственник получает значительную экономию. А в некоторых случаях, когда заключается договор на утилизацию органических отходов в котлах, даже приносит прибыль в виде выплат от компаний-поставщиков отходов или дотаций от муниципальной администрации.

Основными требованиями к оборудованию являются высокая эксплуатационная надежность, соответствие технологическим требованиям заказчика, низкие затраты на сервис и простота обслуживания. Паровые турбины «Сименс» способны удовлетворить всем этим требованиям. **Д**