

Технология энергосбережения на базе паровой винтовой машины

С. Р. Березин, д.т.н.; А. И. Богачева – ЗАО «Эко-Энергетика», С.-Петербург

IN BRIEF

Power-saving technology on the base of steam-propeller turbine.

At present new advanced power-saving technologies become more and more popular. One of them is utilization of the power of steam for electric power generation in boiler-houses and conversion them to mini power plants. Predicted range of this technology application is rather impressive. At present there are more than 80000 steam boiler-houses with steam output of 10-100 tones per hour are in operation in Russia. Traditionally they belong to small enterprises in wood-sawing, foodstuff, textile and other industries. It is necessary to mention that electric power generation in own station is useful but secondary process.

The main task is the steadiness of technological process in which technological steam is used.

However, using of steam turbine under this technology is not effective because there are some disadvantages in the small power ranges.

The most appreciated in this power range is the technology of steam-propeller turbine. This technology was developed in Russia. There are no analogies abroad.

В настоящее время получают все большее распространение новые технологии энергосбережения. К ним, в частности, относится использование энергии пара для выработки электроэнергии в котельных и перевод их в мини-ТЭЦ. Масштабы применения этой технологии энергосбережения достаточно велики. Так, в России эксплуатируется около 80 000 паровых котельных паропроизводительностью 10...100 т/ч. Обычно они принадлежат небольшим предприятиям лесопильной, пищевой, текстильной и др. отраслей.

Параметры производимого пара в разных котельных сильно различаются в зависимости от использования пара на данном предприятии. Потребление пара зависит от времени года (летний и зимний режимы) и от времени суток. Например, котлы широкого промышленного назначения чаще всего проектируются на давление пара 1,27 МПа (изб.), а для изношенных котлов, которых в настоящее время достаточно много, по предписанию Ростехнадзора давление ограничивается 0,69...0,78 МПа (изб.). В свою очередь, для технологических нужд обычно требуется давление 0,39...0,59 МПа, а для отопления – 0,15...0,2 МПа (изб.) с расходом пара 3...6 т/ч. Таким образом, складывается ситуация, когда часто в котельных имеется неиспользуемый перепад давления пара 0,29...0,59 МПа с расходом 6...50 т/ч. Применение этого потенциала позволяет получить дополнительно 200...1500 кВт электрической мощности. Для этого пар после котла направляют в расширительную машину, например, паровую турбину, связанную с электрогенератором, – в результате можно получить дешевую электроэнергию (дополнительный расход топлива и эксплуатационные расходы незначительны).

Важно отметить, что производство собственной электроэнергии в котельной является полезным, но побочным процессом. Главное – не нарушить режим работы основного производства, использующего пар для своих технологических нужд. Однако использование паровой турбины в данной технологии малопродуктивно, поскольку в области небольших мощностей она имеет ряд известных недостатков.

Наиболее привлекательной по совокупности свойств в данном диапазоне мощности является паровая винтовая машина (ПВМ), которая по сути является новым типом парового двигателя. ПВМ разработана в России, аналогов ее за рубежом нет. На конструкцию машины, ее узлов и систем получено свыше 20 патентов в России и за рубежом. В диапазоне мощности 200...1500 кВт она значительно превосходит практически по всем показателям обычную лопаточную паровую турбину.

ПВМ является наиболее перспективной основой для создания мини-ТЭЦ, особенно в районах Крайнего Севера. Здесь ориентация на электростанции на дизельном топливе должна быть исключена в связи с многократным повышением его цены. В мини-ТЭЦ должны использоваться местные топливные ресурсы: уголь, торф, отходы лесопереработки.

Устройство и принцип действия ПВМ

ПВМ является машиной объемного типа действия. Она содержит ведущий и ведомый роторы (фото 1) в виде шнеков специального профиля. Выходной вал ведущего ротора подсоединен к электрогенератору. Роторы находятся в зацеплении и имеют шестерни связи, исключая взаимное касание роторов во время работы.

Принцип действия ПВМ показан на рис. Пар высокого давления из котла поступает в ПВМ через впускное окно в корпусе с одного торца роторов. После заполнения паром канавки между зубьями происходит отсечка пара, и при



Фото 1. Конструкция роторов ПВМ

дальнейшем вращении роторов в канавке (парной полости) порция пара объемно расширяется. В конце расширения канавка сообщается с выпускными окнами в корпусе на другом торце роторов. Выпускаемый пар поступает в тепловую сеть для технологических нужд (например, для выпарки сахара из свеклы) или для отопления.

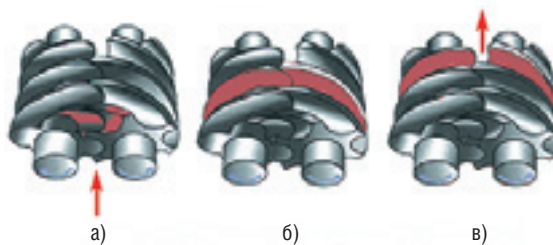
По сравнению с лопаточной паровой турбиной, ПВМ имеет следующие преимущества:

- высокий КПД расширения (0,7...0,75) в широком диапазоне режимов (конденсат, образующийся при расширении пара, затекает в зазоры между рабочими органами, уменьшая утечки пара и повышая КПД);
- простота конструкции, высокая ремонтопригодность, относительно небольшие затраты на производство двигателя;
- высокий межремонтный ресурс (15 000 ч), обусловленный отсутствием взаимного касания роторов и, соответственно, отсутствием механического износа;
- ПВМ может работать на паре любой влажности. При малой скорости потока между винтами отсутствует эрозионный износ поверхностей рабочих органов;
- «неприхотливость» к качеству пара, наличие в нем частиц окалины, грязи (например, при испытаниях шпилька длиной 110 мм и диаметром 16 мм, забытая во впускном трубопроводе, прошла через проточную часть ПВМ, не повредив и не заклинив роторы);
- габариты ПВМ в 1,5-2 раза меньше, чем у турбины – это важно при размещении ПВМ в действующем здании котельной;
- высокая маневренность при изменении режима работы, быстрый пуск и останов;
- высокая эксплуатационная надежность и безопасность при возникновении аварийной ситуации.

Потребительские качества ПВМ

Основное отличие энергоустановки с ПВМ от имеющихся на рынке паротурбинных установок заключается в том, что они спроектированы практически на одно единственное сочетание расхода и давлений пара на входе и выходе машины. Такое сочетание условий по пару определяет мощность машины. В то же время условия по пару у разных заказчиков сильно различаются, и маловероятно, чтобы они совпали с расчетными условиями машины.

Конструкция ПВМ позволяет в широком диапазоне приспосабливаться к конкретным требованиям заказчика и, как следствие, может покрывать весь наиболее часто встречающийся диапазон мощности – от 200 до 1500 кВт. Этот фактор значительно расширяет область применения ПВМ.



С Рис.

Принцип действия ПВМ:

- а – начальное заполнение паровой полости;
- б – расширение пара;
- в – выпуск отработанного пара

Можно сформулировать ряд требований к облику энергоустановки с ПВМ, чтобы она наиболее полно учитывала потребности сложившегося рынка и могла успешно конкурировать на нем. Прежде всего, необходимо оценить наиболее вероятный потенциал мощности пара в котельных и исходя из этого задать диапазон мощности машины. В табл. приведены наиболее часто встречающиеся у различных заказчиков параметры пара (давление на впуске и выпуске, расход пара и мощность, которую можно реально получить с помощью ПВМ).

Каждое такое сочетание режимных параметров пара определяет мощность ПВМ. Оптимальная настройка конструкции машины на определенное сочетание параметров пара осуществляется за счет подбора соответствующих конструктивных параметров. При 2-3 базовых конструкциях машины, которые определяются диаметром винтов и литейными моделями корпуса, можно получить мощность в диапазоне 200...1500 кВт, если пар имеет указанные в табл. параметры. Это обстоятельство гарантирует широкий рынок сбыта ПВМ.

Энергоустановка с ПВМ может быть трех типов: для автономного режима; параллельной работы с сетью (режим энергосбережения); использоваться для непосредственного привода агрегатов собственных нужд в котельной, например водяных насосов. При работе в режиме энергосбережения установка работает на сеть предприятия, покрывая часть собственных нужд и уменьшая тем самым потребление электроэнергии из сети. Обороты энергоустановки определяются частотой переменного тока в сети, мощность – перепадом давления и расходом пара через машину и регулируется дроссельным клапаном на входе в ПВМ.

Система автоматического управления и защиты ПВМ, основанная на микропроцессорной технике, должна учитывать различный техни-

Таблица. Рабочие характеристики ПВМ в зависимости от параметров пара котельной

Давление впуска, МПа (абс.)	Давление выпуска, МПа (абс.)	Расход пара, т/ч	Мощность, кВт
1,18	0,2	5...24	320...1500
1,18	0,78	20...40	350...700
0,98	0,59	15...30	310...620
0,78	0,59	16...32	170...340
0,59	0,2	5...24	200...910

ческий уровень приборного оснащения котельных, допуская возможность совместной работы с современными АСУ ТП на базе персональных компьютеров, а также автономно в котельной с морально устаревшими КИП.

При разработке конструкции ПВМ большое значение придается ее ремонтпригодности. Ремонт производится обычно через 1,5-2 года и заключается в перезаливке баббитом подшипников скольжения, а также в полировке или замене уплотнительных колец торцевых уплотнений. Обычно на переборку ПВМ достаточно 4-5 рабочих дней двух слесарей.

Особенности эксплуатации

ПВМ рассчитана на достаточно низкий уровень технического обслуживания, поскольку ее эксплуатация осуществляется персоналом котельной. Это слесарь по обслуживанию ПВМ, масляной и водяной систем; приборист КИП; мастер по электронной аппаратуре для ухода за компьютером и электронным шкафом управления и слесарь-электрик для обслуживания электросиловой части установки.

Персонал работает в дневную смену. Круглосуточный контроль работы энергоустановки осуществляется с монитора компьютера, который находится на пульте управления котельной. Постоянного контроля за работой установки со стороны дежурных операторов не требуется. Вся информация об изменении параметров сохраняется в компьютере. При возникновении какой-либо аварийной ситуации (например, пропало напряжение в сети) система аварийной защиты автоматически останавливает установку и мгновенно переключает поток пара через ПВМ на байпасную линию. Это делается для того, чтобы не допустить перебоя в пароснабжении основного технологического цикла предприятия.

При параллельной работе с сетью 0,4; 6; 10 кВ целесообразно использовать асинхронный генератор (АГ), который фактически является обычным серийным асинхронным двигателем с короткозамкнутой обмоткой ротора.

АГ имеет следующие преимущества перед синхронным генератором (СГ).

- более прост в обслуживании и надежен в эксплуатации;
- стоимость АГ вдвое ниже, чем СГ;
- не требуется система синхронизации с сетью и регулятор возбуждения генератора.

Недостатком АГ является потребление реактивной мощности из сети, но ее можно компенсировать включением батареи конденсаторов на низковольтной стороне. Стоит отметить, что в процессе эксплуатации энергоустановки с АГ у электроэнергетиков предприятия никогда

не возникало нареканий на работу электросиловой части.

При согласовании технических условий на подключение генератора к сети часто возникают трудности. Электроснабжающие организации не заинтересованы в выдаче электрической мощности в сеть за пределы предприятия. Поэтому собственное производство электроэнергии в котельной должно обеспечивать только нужды предприятия.

Создание и техническое совершенствование ПВМ

История создания ПВМ началась в 1991 г., когда в условиях «дикого» рынка появилась потребность в дешевой электроэнергии для собственных нужд котельной. Группа специалистов в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ) под руководством автора провела первые эксперименты на модельной установке. Был получен первый патент на ПВМ.

Опытные образцы машины мощностью 200 кВт были созданы в 1993 г. и установлены на мусоросжигательном заводе №3 в Москве для привода сетевых насосов. Модернизированные образцы ПВМ-200-АГ прошли испытания на стенде завода «Бекерон» в Москве. Изучался рабочий процесс, совершенствовалась конструкция машины и смежных систем.

В 2004 г. на Раевском сахарном заводе (Республика Башкортостан) была создана энергоустановка ПВМ-2000-АГ мощностью 800 кВт с асинхронным электрогенератором.

Специфика завода не позволяла подавать в ПВМ пар со стабильными параметрами: его давление на входе колебалось от 0,59 до 1,03 МПа (абс.) при температуре до 230 °С, противодавление на выпуске составляло 0,2...0,29 МПа (абс.) с температурой до 157 °С. Отходящий пар подавался на выпарку сахара. При работе по тепловому графику выдача мощности в сеть колебалась от 320 до 808 кВт при средней мощности 612 кВт. Стоимость электроэнергии составила 0,24 р./кВт·ч, что в 4,5 раза ниже существующего тарифа.

В связи с тем что мощность ПВМ не удовлетворяла потребности завода, энергоустановка была продана в г. Златоуст, а на предприятии установили две турбины Калужского турбинного завода мощностью по 2500 кВт. В настоящее время модернизированная установка ПВМ-2000-АГ успешно работает в котельной №3 Златоустовского теплотреста.

В 2007 г. в котельной завода «Пигмент» (С.-Петербург) ЗАО «Эко-Энергетика» запустило энергоустановку с ПВМ мощностью 1000 кВт (фото 2). Установка вышла на проектную мощность, доказав свою работоспособ-



С Фото 2. ПВМ АВР-1000 с генератором электрической мощностью 1000 кВт в производственной котельной

С Фото 3. ПВМ-2000-АГ с генератором электрической мощностью 1400 кВт в здании ТЭЦ

ность и эффективность. При работе по тепловому графику выдача активной электрической мощности в сеть предприятия колебалась от 120 до 720 кВт, среднечасовая мощность составила 563,3 кВт, стоимость выработанной электроэнергии – 0,21 р./кВт·ч.

В 2008 г. под руководством д.т.н. С.Р. Березина компанией «ВМ-Энергия» была создана и запущена в эксплуатацию на ТЭЦ-4 (г. Уфа) энергоустановка ПВМ-2000-АГ мощностью 1400 кВт (фото 3). Установка работает в жестких условиях на перегретом паре с высокими параметрами ($P_{вх} = 1,57$ МПа (абс.), $t_{вх} = 305$ °С, $P_{вых} = 0,64$ МПа (абс.)). Ее наработка в настоящее время составляет более 6000 ч, выработано 4 млн кВт·ч электроэнергии. В результате удельный расход топлива на отпуск электроэнергии для ТЭЦ снизился на 2 г у.т./кВт·ч, расход электроэнергии на собственные нужды – с 8,5 до 7,9 %.

В настоящее время в Улан-Удэ, в котельной авиазавода вводится в эксплуатацию установка ПВМ-1000-АГ мощностью 500 кВт. Особенность ее работы заключается в том, что она находится в сильно запыленном помещении угольной котельной. Здесь потребовались мероприятия по защите электроники от угольной пыли.

Произведено и поставлено оборудование ПВМ-1000-АГ на животноводческий комплекс в пос. Чистогорский Кемеровской обл. Проект осуществляется в рамках областной программы энергосбережения и находится в стадии согласования в органах Ростехнадзора.

В процессе работы над вышеперечисленными ПВМ, которые перекрывают весь диапазон мощности 200...1500 кВт, была детально отработана конструкция машины и смежных систем, получено свыше 20 патентов.

Экономическая эффективность

Предприятия, имеющие собственные котельные, обычно очень заинтересованы в приобретении эффективного и быстрокупающегося паросилового электрогенерирующего оборудования по следующим причинам:

1. Высокие цены на электроэнергию. Собственное производство электроэнергии в котель-

ной приводит к некоторому увеличению расхода топлива, однако это окупается низкой стоимостью получаемой электроэнергии, обычно в 4-5 раз дешевле, чем сетевой.

2. Вероятность отключения электроснабжения, особенно для предприятий низкой категории. Этот фактор часто имеет не меньшее значение, чем экономия средств на оплату электроэнергии. При отключении энергии в зимнее время котельная останавливается и размораживается, поскольку все агрегаты собственных нужд работают от электропривода.


Расчет экономической эффективности применения ПВМ в котельной показывает, что удельный расход топлива на выработанную электроэнергию составляет 140...160 г у.т./кВт·ч, что вдвое ниже, чем на крупных ТЭЦ. Срок окупаемости энергоустановки мощностью 800 кВт составляет 1,5-2 года. При повышении мощности эффективность энергоустановки с ПВМ еще более повышается.

Заключение

ПВМ может эффективно применяться для выработки электроэнергии в котельных при срабатывании перепада давления пара. Собственное производство электроэнергии в котельной, переоборудованной в мини-ТЭЦ, в 4-5 раз дешевле приобретаемой у электроснабжающей организации. Это объясняется тем, что владелец собственной мини-ТЭЦ не оплачивает расходов на содержание энергосетей, накладных расходов, НДС и плановой прибыли.

ПВМ, как паровой двигатель, в диапазоне мощности 200...1500 кВт обладает значительными техническими преимуществами перед паровой турбиной по эффективности, габаритам, стоимости, надежности и безопасности.

Для различных условий по пару, определяющих различную мощность энергоустановки, используются 2-3 базовых модели ПВМ с соответствующей настройкой на конкретные условия заказчика.

В процессе роста цен за электроэнергию и приближению их к мировому уровню собственное производство энергии станет значительно более рентабельным. 



эко-энергетика

190000, Россия,
Санкт-Петербург,
ул. Малая Морская,
д. 16, оф. 31
Тел. (812) 315-15-09,
факс (812) 314-93-41
www.eco-energetika.ru,
info@eco-energetika.ru