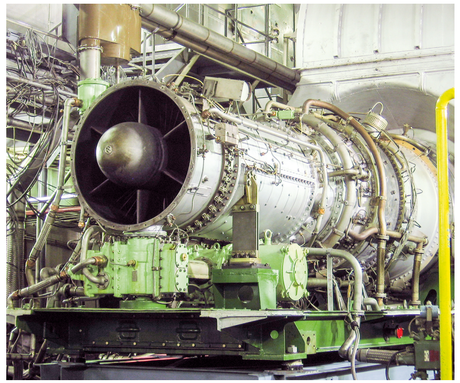
Перспективы паропоршневой биоэнергетики в России



В продолжение статьи «Паропоршневое будущее малой энергетики России» («ЭПР» № 06 (218) и eprussia.ru) мы продолжаем знакомить читателей с весьма необычной для российской энергетики техникой – паровыми поршневыми двигателями нового поколения.

Эти двигатели имеют вполне определенные перспективы применения, особенно в биоэнергетике. Кроме того, своеобразный «тандем» высочайшей энергетической эффективности могут образовать биогазопаропоршневые и биодизель-паропоршневые мини-электростанции комбинированного парогазового цикла.

Программа

Напомним, что паропоршневой двигатель в современном понимании представляет собой, как правило, высокооборотную паровую поршневую машину с высокими эксплуатационными свойствами, частота вращения выходного вала которой составляет не менее 1000 оборотов в минуту. Разработкой такой техники занимаются в России специалисты объединенной научной группы «Промтеплоэнергетика» факультета довузовской подготовки Московского авиационного института (МАИ) и ряда других отечественных научных и учебных учреждений под руководством **старшего научного сотрудника МАИ Владимира Сергеевича Дубинина**.

По «Программе модернизации электроэнергетики России на период до 2020 года», текст которой размещен на интернет-сайте Министерства энергетики РФ по адресу http://minenergo.gov.ru/upload/iblock/124/1245a1e602cf85564c10ca574b6faeab.pdf, в частности, предусмотрены разработка и освоение инновационных технологий оборудования. В ней сказано, что из-за недостаточного развития некоторых отечественных технологий создания электростанций на возобновляемых источниках энергии первоочередной задачей является разработка и строительство таких опытно-промышленных установок для апробации и отработки основных инновационных технических решений по их сооружению, эксплуатации и выбору эффективного оборудования. В качестве инновационных технологий создания электростанций на возобновляемых источниках энергии представляется целесообразным в области биоэнергетики в том числе исследование возможности и эффективности применения в России тепловых электростанций с паропоршневыми двигателями (!), освоение технологий производства оборудования для когенерации, то есть комбинированного производства электрической и тепловой энергии, на основе прямого сжигания древесной биомассы.

Для успешной реализации этой программы в рамках подпрограммы «Развитие возобновляемых источников энергии на период до 2020 года», в частности по направлению «Электростанции на биотопливе» целесообразно осуществить научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, создать демонстрационные электростанции на принципах государственно-частного партнерства. В данной программе перечнем приоритетных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области биоэнергетики предусматривается в том числе исследование технологии производства электрической энергии с использованием древесного топлива на базе… опять же паропоршневых машин!

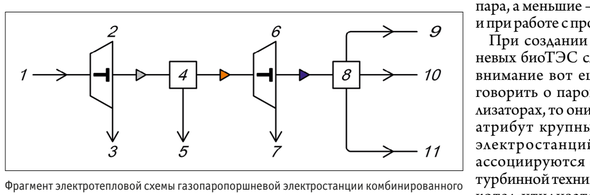
Интерес государственного масштаба к паропоршневым электростанциям на биотопливе, по всей видимости, не случаен. Возможно, это некоторое осознание того, что нельзя просто «отметать» ту или иную техническую конструкцию либо технологию, руководствуясь исключительно традиционными убеждениями. Если классические паровозы и паровые машины прошлого обычно имели очень низкий по современным меркам коэффициент полезного действия (КПД), то этот факт вовсе не должен быть аргументом преграды на пути возрождения техники подобного класса, но на новом технико-технологическом уровне. В связи с этим можно приветствовать включение паропоршневой тематики в перечень приоритетных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по направлению «Электростанции на биотопливе» в рамках такого государственного значения документа, как отмеченная выше программа. Тем более что зарубежный опыт внедрения паровых поршневых двигателей в биоэнергетике оказывается весьма положительным: коммерциализованы и пользуются спросом паровые моторы Шпиллинга германской фирмы Spilling Energie Systeme GmbH; при поддержке Чешского энергетического агентства модернизируются когенерационные установки мощностью порядка 100 кВт с паровыми моторами чешской компании PolyComp a.s.

Эффективность

Наибольший экономический эффект от эксплуатации паропоршневых биотопливных тепловых электростанций (биоТЭС) можно достичь, по простому разумению конечно, при прямом сжигании в топках котлов твердой биомассы, а еще лучше – отходов биологического происхождения. Так, именно отходы древесины (кора, щепа) часто используются на мини-ТЭЦ с паровыми поршневыми двигателями в Италии, Австрии и других зарубежных странах. Однако специально переработанное из первичной биомассы топливо может сжигаться не только как котельное (под котлами биоТЭС), но также – в цилиндрах биогазопоршневых двигателей для привода, в свою очередь, электрогенераторов. А теплоту выхлопных газов имеет смысл полезно использовать с помощью котлов-утилизаторов – водогрейных и (или) паровых. При чем здесь паропоршневые двигатели? Они нужны для повышения электрической отдачи биоТЭС.

Высочайший электрический КПД биоТЭС возможно достигнуть, будь то в конденсационном, когенерационном или даже тригенерационном режима, при внедрении модных сегодня в «большой» энергетике парогазовых технологий. Применительно к газопаропоршневым либо дизель-паропоршневым электростанциям, в том числе способным работать на биотопливе, комбинированный парогазовый цикл вполне реализуем на практике. Фрагмент электротепловой схемы с указанием основных энергетических потоков для таких объектов наглядно иллюстрирует идейный принцип действия парогазовой поршневой биоТЭС – конденсационной или работающей в режиме ТЭЦ. Здесь приняты следующие обозначения элементов: 2 – газовый или дизельный двигатель; 6 – паропоршневой двигатель; 4 – паровой котел-утилизатор; 8 – оборудование для конденсации мятого пара или (и) полезной утилизации его теплоты на подогрев и (или) охлаждение воды с использованием, соответственно, конденсатора и градирни, пароводяного водоподогревателя, абсорбционной паровой холодильной установки. Условно «внешние» потоки: 1 – топливовоздушной смеси; 3, 7 – механической энергии, необходимой для привода электрогенератора; 5 – низкотемпературных выхлопных газов; 9 – водяного конденсата; 10 – горячей или прямой воды; 11 – охлажденной воды. Следующими цветами отмечены внутрисистемные потоки: серым – высокотемпературные выхлопные газы, рыжим – свежий водяной пар; синим – отработавший водяной пар.

Электрический КПД поршневой тепловой электростанции комбинированного цикла будет складываться из значений электрических КПД двух ее энергоблоков – газопоршневого (или дизельного) и паропоршневого.



Фрагмент электротепловой схемы газопаропоршневой электростанции комбинированного цикла и основные энергетические потоки

При использовании в первом, скажем, биогаза (60 процентов метана, 32 процента углекислого газа) для работы электроагрегата с двигателем TCG 2016 V08 C компании MWM GmbH (Германия) электрической мощностью 400 кВт его электрический КПД (по низшей теплоте сгорания) составляет 42,5 процента в номинальном режиме. Для сравнения: работая на природном газе, такой агрегат имеет электрический КПД 42,2 процента. Электрическая отдача второго энергоблока (паропоршневого) определяется, в сущности, произведением КПД парового котла-утилизатора и КПД электроагрегата с двигателем и генератором. По данным **доцента Московского энергетического института К. Б. Борисова**, приведенным 26 апреля 2008 года на интернет-форуме портала «Тригенерация.ру», для современных конструкций котлов-утилизаторов, работающих в составе газотурбинных и парогазовых ТЭЦ, их КПД составляет 73-88 процентов (зависит, главным образом, от температуры поступающих в котел-утилизатор газов и температуры уходящих после этого котла газов). Меньшее значение КПД котла-утилизатора соответствует температурам: газов после газовой турбины – 450-500 °С, уходящих из котла газов – 110-120 °С. Большее значение этого КПД достигается при температурах: газов после газовой турбины – 600-630 °С, уходящих газов – 80-90 °С. При КПД синхронных электрогенераторов мощностью в сотни киловатт и единицы мегаватт даже на уровне всего 80-90 процентов и прямом их приводе от паропоршневых двигателей, что принципиально возможно, «электропроизводительность» паропоршневого энергоблока в большей степени определяется именно эффективным КПД работающего в энергоблоке двигателя. Поэтому в среднем электрический КПД энергоблока с современным зарубежным паровым поршневым двигателем Шпиллинга (российские пока только разрабатываются) единичной электрической мощностью до 1,2 МВт получается приближенно 5-15 процентов с учетом КПД парового котла-утилизатора. Более высокие значения КПД относятся, разумеется, к наиболее мощным конденсационным энергоблокам перегретого пара, а меньшие – к маломощным и при работе с противодавлением.

При создании газопаропоршневых биоТЭС следует обратить внимание вот еще на что. Если говорить о паровых котлах-утилизаторах, то они – непременный атрибут крупных парогазовых электростанций, а последние ассоциируются обычно с газотурбинной техникой. Но паровой котел-утилизатор специально для газопоршневого двигателя – объективная реальность. Например, финская компания VAPOR FINLAND Oy, имеющая в России свое представительство (ЗАО «ВАПОР», город Санкт-Петербург), занимается как раз разработкой и выпуском, в частности, именно такого теплоутилизационного оборудования серии PKS (интервал рабочих температур выхлопных газов от двигателей – 350-550 °С, давление насыщенного или перегретого пара – до 20 бар). Кстати, это же представительство координирует вопросы поставок и сервисного обслуживания в России газопоршневых установок «Йенбахер» австрийской фирмы GE Jenbacher компании General Electric.

Безусловно, паропоршневые перспективы отечественной биоэнергетики связаны и непосредственно с биотопливной инфраструктурой. Над технологиями получения биодизельных, смесевых моторных и котельных, а также газообразных топлив работают специалисты, например, из ВИЭСХа – Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии. Совместно с коллегами из Московского государственного университета инженерной экологии они развивают и очень актуальное в современной мировой биоэнергетике направление – получение биотоплив из микроводорослей. Последние возможно сжигать под котлами либо перерабатывать, к примеру, в биодизельное или жидкое котельное топливо. А **ученые Д. А. Ковалев и Е. Н. Камайданов из того же ВИЭСХа** изобрели установку для переработки органических отходов растительного и животного происхождения (российский патент RU 2473526), в которой не обошлось без паропоршневой машины! Изобретение представляет, по существу, гибридную паропоршневую конденсационную мини-электростанцию с газификацией твердой биомассы и биогазопоршневую мини-ТЭЦ. Паропоршневая машина предназначена для приведения в действие электрогенератора и снабжена одним из известных типов парораспределительных устройств, а изготовлена может быть, как и предлагает В. С. Дубинин со своими коллегами из «Промтеплоэнергетики», путем минимальной переделки из серийного поршневого двигателя внутреннего сгорания. Работа этой машины предусмотрена с конденсацией «мятого» (выхлопного) пара. Функционирование парового котла, обеспечивающего в данной установке питание паропоршневой машины перегретым паром, предусмотрено на газообразных горючих продуктах, образующихся при низкотемпературной газификации растительных отходов в условиях ограниченного подвода воздуха. В установке Д. А. Ковалева и Е. Н. Камайданова есть и газопоршневой двигатель – электрогенераторный агрегат, работа которого предусмотрена на биогазе от метантенка, в рабочем пространстве которого поддерживаются строгий анаэробиоз и термофильные условия (температура воздуха порядка 53-57°С). За газопоршневым агрегатом ставится теплоутилизатор для подогрева воды на нужды отопления и горячего водоснабжения. Побочным продуктом выработки биогаза являются качественные органические удобрения. Часть биогаза поступает в газогорелочное устройство пароперегревателя котла.

Рассказывая о паропоршневых инновациях, интересно обратиться к статье «Отходы жизнедеятельности – энергетика будущего», опубликованной в журнале «Биоэнергетика» (№ 1/2007). Ее авторы – специалисты ЗАО «АФ «Перспектива» (город Самара) – отмечают, что в дополнение к разработанному ими газогенераторному комплексу (в вышеупомянутой программе он тоже отмечен как оборудование для российской энергетики) с газопоршневой электростанцией для выработки электроэнергии можно использовать не только паротурбинные, но и паропоршневые электростанции, у которых ресурс гораздо больше, чем даже у газопоршневых. Паровые поршневые мини-электростанции мощностью до 1,2 МВт определенно энергетически выгоднее паротурбинных, что и является их основным преимуществом. В подтверждение этому стоит сравнить хотя бы показатели германских двигателей Шпиллинга с паровыми лопаточными или винтовыми турбинами при равных либо соизмеримых мощностях и параметрах пара (давлениях и температурах). Результат окажется очевидным.

Кадровый состав

Если говорить о кадрах для паропоршневой энергетики и, в частности, биоэнергетики, то нужно заметить, что паропоршневые двигатели по типу близки к современным поршневым двигателям внутреннего сгорания. Следовательно, в плане эксплуатации такой техники особых сложностей быть не должно. Кадровая же проблема для реализации конверсии из серийных дизелей и разработки новых конструкций паропоршневых двигателей существует. Здесь одного энтузиазма и изобретательских идей специалистов «Промтеплоэнергетики» не вполне достаточно. Нужна, по крайней мере, серьезная финансовая поддержка в сочетании с вниманием и помощью проектных организаций энергетического и двигательного профиля, моторостроительных заводов. Тогда, учитывая определенное наследие советских специалистов в области локомобилестроения и создания паровых моторов, думается, станет возможным наладить выпуск отечественных паропоршневых двигателей, по характеристикам не уступающих зарубежным аналогам, а в чем-то – и превосходящих их.

Первые «шажки» на пути к обучению в России молодых энергетиков со знанием в том числе и паропоршневого энергетического оборудования уже, оказывается, делаются! В 2011 году «Издательством Братского государственного университета» выпущено учебное пособие по профессионально-ориентированному чтению «Английский язык. Энергетика», написанное Л. Ф. Чернявской. Оно содержит материалы для развития навыков работы студентов первого и второго курсов энергетических специальностей с профильной англоязычной научно-технической литературой (зарубежный опыт создания и эксплуатации паровых моторов может быть очень полезен, а информация по этой тематике часто встречается как раз на английском языке), получения начальных профессиональных знаний, их углубления и совершенствования в процессе самообразования. Паропоршневые энергетические установки упоминаются при изучении текстов «Электростанции» и «Гидроэлектростанции». Но несмотря на то что этот материал взят из «Пособия по английскому языку для энергетических специальностей» А. Л. Луговой, изданного в 1984 году, вопросы и задания к этим текстам в новом пособии и сегодня актуальны. В чем сходство и различие между паротурбинными и паропоршневыми установками? Какова разница между последними и дизельными установками? Сравните особенности расположения гидравлических, паропоршневых и дизельных установок относительно потребителей электрической энергии. Очевидно, что все это справедливо и для паропоршневых биоТЭС в современном смысле понимания термина «паропоршневой двигатель». Кстати, в пособии сообщается о применении паропоршневых установок в локальной энергетике: данные начала 1980-х годов, а как напоминают сегодняшние перспективы подобной техники! Похожее учебно-методическое пособие «Профессионально ориентированный язык (английский язык)» для энергетических специальностей вузов подготовлено (2012 год) и в Республике Казахстан «Издательством Павлодарского государственного университета».

Современной учебной «хрестоматией» по паропоршневым двигателям может стать вузовское учебное пособие «Автономное электро- и теплоснабжение на базе поршневых технологий» В. С. Дубинина – человека, который, собственно, и ввел в научно-технический оборот термин «паропоршневой двигатель» в современном смысле понимания. Книга выпущена в 2009 году «Издательством Московского института энергобезопасности и энергосбережения» тиражом 100 экземпляров. Маловато, но главное – сверстан электронный оригинал-макет. А напечатать – проблемы нет, была бы заинтересованность со стороны учебных заведений.

Моторы из XX века

В заключение, чтобы все-таки количественно оценить и действительно «почувствовать» перспективность отечественных паровых поршневых двигателей, обратимся к незамысловатому, но весьма наглядному примеру. Более простым и дешевым рабочим звеном, по сравнению с лопаткой турбины, остается поршень. Он имеет цилиндрическую форму, поэтому для его изготовления не требуется сложного станочного оборудования. Использование перегретого пара для поршневых двигателей позволяет на практике обойтись без его многократного расширения, какое было присуще классическим паровым машинам, и применять более надежное однократное расширение пара без особого увеличения его расхода в двигателе. Но температуру пара нужно выбирать таким образом, чтобы при выпуске из двигателя он был насыщенным или слабо перегретым с учетом тепловых потерь в паровой магистрали от двигателя до пароводяного бойлера-водоподогревателя, в который должен поступать насыщенный пар для обеспечения наиболее интенсивной передачи теплоты от пара к стенкам бойлера.

Тип парового электроагрегата	Турбинный	Поршневой
Электрическая мощность, кВт	5820	67
Давление пара, МПа абс.	2,35 / 0,196	2,2 / 0,2
Температура свежего пара, °С	390	360
Расход свежего пара, кг/кВт·ч	10,5	10,3

На что способны паровая турбина настоящего и паромотор прошлого?!

А теперь, собственно, оценим энергетические возможности двух электроагрегатов (см. таблицу): реального – с современной отечественной лопаточной одноступенчатой турбиной средней мощности и воображаемого – с маломощным паровым поршневым клапанным мотором… 1954 года! Мотор был разработан еще в Советском Союзе, устанавливался на грузовике НАМИ-012 и представлял собой паровой поршневой двигатель двустороннего давления пара, работающий с однократным расширением последнего. В качестве электрогенерирующего оборудования для обоих агрегатов будем считать современные синхронные генераторы. Для турбины возьмем генератор с КПД 97 процентов и синхронной частотой вращения 3000 оборотов в минуту, соединяемый с валом ротора турбины напрямую, то есть без редуктора. Поскольку паровой мотор имеет частоту вращения коленчатого вала – 600 оборотов в минуту, между ним и генератором на 1500 оборотов в минуту (КПД – 90 процентов) придется поставить современный одноступенчатый зубчатый мультипликатор с КПД 97 процентов.

Само сравнение таких электроагрегатов проведено специально с форами в сторону паротурбинной техники (см. таблицу), но все же при соизмеримых давлениях и температурах водяного пара на входе в каждый из двигателей и близких по значению противодавлениях пара на выходе каждого их них. В таблице указаны абсолютные значения давлений пара. Удельный расход свежего пара на единицу вырабатываемой электрической энергии для современного паротурбинного агрегата получается, как показывают цифры, даже несколько больше, чем у парового поршневого агрегата с мотором, конструкция которого датируется началом 1950-х годов, мощность – оказывается в 87 раз меньше, а температура свежего пара на входе в двигатель – на 8 процентов меньше, чем для сравниваемого турбоагрегата!

Единственным, наверное, действительно пока существенным недостатком паровых поршневых двигателей остаются, как было и раньше, габаритные размеры и масса, если сравнивать их с соответствующими паровыми турбинами. Однако конструкции со звездообразным расположением цилиндров должны в будущем практически ликвидировать эту габаритную разницу между турбинной и поршневой энергетической техникой. Тем более что реальные образцы таких изделий уже существуют. Правда… пока только за рубежом: американские паровые моторы «Циклон» компании Cyclone Power Technologies Inc., паровые поршневые двигатели компании Energiproject AB из Швеции. И конечно, просто неуважительно к труду наших инженеров и рабочих – паромоторостроителей не упомянуть об отечественных паровых поршневых «звездообразниках» прошлого: первом судовом звездообразном паромоторе, которому в следующем году исполнится восемьдесят лет, и, по всей видимости, первом авиационном паровом моторе, «отметившем» 75 лет в 2011 году.

Это, конечно, целая тема для отдельного исторического рассказа, но полезного сегодня и с практической точки зрения.

Иван ТРОХИН