

НЕПОДНАДЗОРНЫЕ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ – ОСНОВА ЭКОНОМИЧНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Велицко В.В.

ООО «ОЦР Технологии», г. Москва

Большие проблемы малой генерации

Задача качественного энергоснабжения локальных потребителей, стоящая как перед владельцами коттеджей, так и перед жильцами многоквартирных домов (МКД), малых и средних предприятий, всё чаще устанавливающими котельные и мини-теплоэлектроцентрали (мини-ТЭЦ) с целью как снизить затраты на энергоснабжение, так и повысить его надёжность, натывается обычно на ряд вопросов и ограничений, осложняющих создание собственных источников энергии или делающих их ввод экономически неэффективным. К таким ограничениям можно отнести:

- Высокую стоимость оборудования, в первую очередь – мини-ТЭЦ.
- Необходимость согласования проекта установки нового газопотребляющего оборудования.
- Необходимость создания склада и периодического завоза квалифицированного топлива, такого как дизтопливо, бензин, сжиженный пропан-бутан технический (СПБТ) и т.п.
- Практическая невозможность использования местных видов топлив (биомасса, сланцы и.п.) для выработки электроэнергии на небольших (1 кВт...1 МВт) мощностях.
- Необходимость согласования параллельной работы с внешними электрическими сетями и выполнение капиталоёмких реконструкций систем автоматики и распредустройств с целью обеспечения их работоспособности при более высоких токах короткого замыкания.
- Необходимость поддержания стабильной или плавно-изменяющейся нагрузки на мини-ТЭЦ, работающую в островном режиме при обязательном сохранении минимальной нагрузки, ниже которой двигатель мини-ТЭЦ неработоспособен или изнашивается с повышенной скоростью.
- Необходимость сооружения газопровода или увеличения его производительности путём прокладки новой трубы из существующей или новой точки подключения.
- Неблагоприятная роза ветров, особенно в мегаполисах, ограничивающая возможность установки мини-ТЭЦ необходимой мощности или делающая её невозможной. Как вариант – требуется сооружение высокой трубы, зачастую значительно ухудшающей эстетику здания, снабжаемого энергией от мини-ТЭЦ.
- Высокая стоимость запчастей и расходных материалов для двигателей внутреннего сгорания (ДВС) мини-ТЭЦ, поддерживаемая производителями таких двигателей на уровне, позволяющем забирать значительную часть экономии потребителя от локальной генерации электроэнергии.
- Необходимость частого, как минимум – ежемесячного привлечения собственных специалистов или специалистов авторизованного сервисного центра (или завода-изготовителя) для проведения соответствующего объёма работ от осмотра мини-ТЭЦ в процессе работы и замены масла (относится к мини-ТЭЦ на базе поршневых ДВС – ПДВС) до проведения капремонта.
- Образование отходов в виде отработавшего смазочного масла.

Указанный перечень ограничений носит только организационно-технический характер и может быть дополнен в соответствии с региональными особенностями, не говоря уже о внешнеполитических рисках, таких как эмбарго, удалённая блокировка из-за рубежа работы оборудования, имеющего функцию телемониторинга, запрет на прибытие сервисных специалистов или элементарная недоступность лизинга в связи с высокими банковскими ставками.

Учитывая, что в той или иной мере все потенциальные владельцы мини-ТЭЦ и котельных сталкиваются с указанным перечнем вопросов, перспективные решения, которые должны быть доступны широкому спектру потребителей, должны отличаться такими показателями, как:

- Умеренная стоимость за единицу установленной мощности.
- Нетребовательность к использованию только газа (ископаемого природного газа (ИПГ)) в качестве горючего и возможность работы на местных видах горючих, таких как древесные отходы, щепа, пеллеты, торф, сланцы и т.п., вплоть до солнечной энергии и низкопотенциального тепла.
- Возможность выработки электроэнергии с использованием располагаемого тепла, такого как горячая или перегретая вода, вырабатываемая водогрейными котлами.
- Низкая стоимость запчастей и низкая потребность в сервисе.
- Возможность проведения всего или основного спектра работ собственными специалистами.
- Отсутствие отходов в виде смазочного масла, подлежащего замене в двигателе.

Таким требованиям в полной мере отвечают создаваемые жидкостно-вакуумные энергоустановки (ЖВЭУ) на базе жидкостно-вакуумного (ЖВ) цикла (ЖВ-цикл), позволяющие напрямую использовать энергию некипящего (т.е. жидкого) энергоносителя для производства работы.

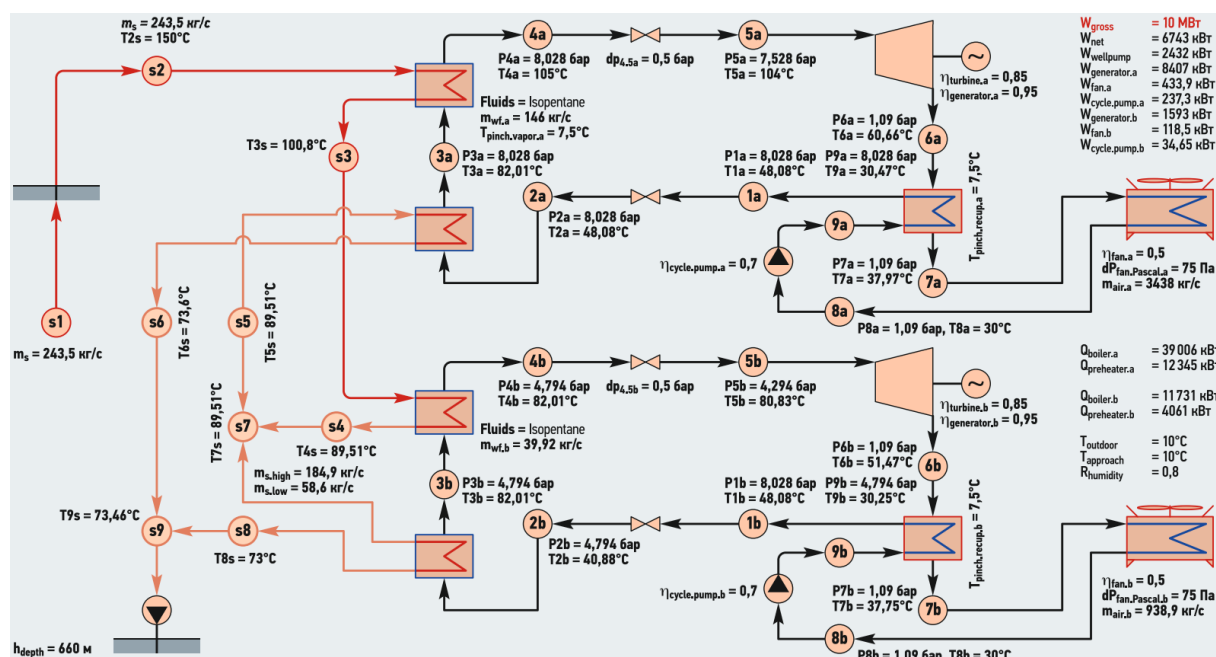


Рис. 1. Классическая мини тепловая электростанция (ТЭС), работающая по ОЦР [1, с.37], по данным [2, с.164].

Востребована ли ЖВЭУ в условиях наличия двигателей Стирлинга, установок на базе органического цикла Ренкина (ОЦР) и цикла Калины?

Все указанные установки использующиеся в настоящее время, базирующиеся на циклах Стирлинга, Калины или ОЦР-установки, объединяют общие признаки: они имеют как минимум три теплообменника (ТО), входящих в состав теплового контура, по которому при умеренных (на уровне ~15 ати) и вплоть до высоких (~200 ати и более) давлениях циркулирует рабочее тело (РТ) в жидком, парообразном или сверхкритическом (газообразном) состоянии. Зачастую применяемое РТ горюче, ядовито, обладает удушающими свойствами, при пожаре образует нервнопаралитические вещества, коррозионно-активно, термически-нестойко, эффективно разрушает озон или является хорошим парниковым газом или, наконец, дорого, а в некоторых случаях – сочетает в себе многие указанные «преимущества».

Отдельный комплекс задач приходится решать, устанавливая ТО, в которых производится нагрев и охлаждение РТ. Если охлаждение РТ обычно не представляет сложностей, т.к. применяются ТО в виде сухих градилен, работающих при низком давлении или ТО РТ-вода, то основные сложности приходятся на ТО, являющееся подогревателем РТ. Подогреватель РТ работает при максимальном перепаде давлений с наиболее высокой (для энергоустановки) тепловой напряжённостью, зачастую в условиях коррозионной активности греющей среды и/или РТ, а также может забиваться отложениями, например механическими примесями в составе греющей среды (энергоносителя) или примесями, конденсирующимися или выпадающими из энергоносителя при его охлаждении. С указанными сложностями в полной мере сталкиваются изготовители и эксплуатанты энергоустановок, предназначенных для утилизации тепла стоков, дымовых газов или геотермального (петротермального) тепла. Такие ТО, работающие в условиях интенсивного загрязнения приходится не только изготавливать из высоколегированных сталей при соблюдении требований к герметичности контуров ТО, но и обеспечивать им достаточный запас по теплообменным поверхностям или устанавливать два ТО с возможностью осуществления периодической очистки одного из них.

Указанные аспекты значительно ограничивают сферы применения энергоустановок на базе циклов Стирлинга, Калины или ОЦР-установок, снижая их рентабельность в условиях конкуренции с решениями на базе ископаемого горючего.

Для решения задачи выработки электроэнергии из низкопотенциального тепла, в том числе с использованием загрязнённых и/или агрессивных энергоносителей, была создана технология ЖВ-цикла, позволяющая напрямую вырабатывать РТ из некипящего энергоносителя, вне зависимости от того, загрязнён ли он примесями.

Принцип работы ЖВЭУ

Как мы знаем, температура кипения воды при атмосферном давлении составляет +100 °С. Понижая давление можно обеспечить кипение воды и при более низких температурах, на чём основана перегонка под вакуумом. ЖВ-цикл работы рассматриваемой установки основан на вскипании в закрытом объёме при понижении давления, поданного туда жидкого энергоносителя. Это является ключевым отличием данной технологии от классических ТЭС, работающих по циклу Ренкина с использованием воды или низкокипящего РТ (НРТ), где вскипание РТ происходит за счёт подвода энергии извне, а не за счёт перераспределения внутренней энергии вещества между охлаждённой фракцией и паром низкого давления.

В процессе вскипания энергоносителя образуется насыщенный пар, полученный из энергоносителя и используемый в качестве РТ в ЖВЭУ. Также образуется охлаждённая жидкая фракция с повышенной концентрацией примесей, оставшаяся после окончания кипения энергоносителя. При понижении давления в объёме, в котором находится энергоноситель, энергоноситель превращается в перегретую жидкость, т.к. его

температура начинает превышать температуру кипения всех или как минимум части компонентов, из которых он состоит. В результате в энергоносителе начинают происходить тепломассообменные процессы (в основном – кипение), в ходе которых вырабатывается пар низкого давления, состоящий как из вскипевшего энергоносителя, так и, например, из растворённых в нём воздушных газов.

Образовавшийся из энергоносителя пар, практически полностью состоящий из насыщенного пара с некоторой примесью газов, подаётся в детандер, где он расширяясь и частично конденсируясь совершает работу по приводу электрогенератора. Мятый пар после совершения работы в детандере направляется в конденсатор, где отдаёт тепло потребителю или, посредством градирни, тепло сбрасывается во внешнюю среду. Неконденсирующиеся компоненты РТ, например, такие как воздушные газы, отчасти скапливаются в системе конденсации, затрудняя тепломассообмен и требуя их удаления. Для удаления неконденсирующихся компонентов из вакуумного тракта разработано энергоэффективное решение, не требующее применения эжекционных систем. Образованный конденсат направляется на повторное использование в цикл ЖВЭУ или, при необходимости, сбрасывается во внешнюю среду (отдаётся потребителю тепла).

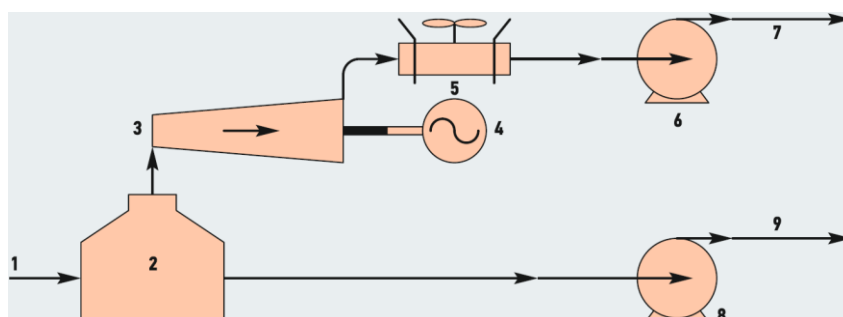


Рис. 2. Схема ЖВЭУ [1, с. 37].

ЖВЭУ (рис. 2) работает следующим образом: энергоноситель 1 поступает в закрытый объём 2, представляющий собой парогенератор, например, постоянно или периодически работающий под вакуумом (котёл переменного давления). После заполнения парогенератора 2 энергоносителем происходит отсечка его подачи, в результате чего энергоноситель начинает вскипать и дегазироваться, вырабатывая РТ, поступающее в детандер 3, приводящий нагрузку 4. Мятый пар из детандера 3 поступает в систему охлаждения 5 (на рисунке показана сухая градирня), где он, отдавая тепло во внешнюю среду (или потребителю тепловой энергии) конденсируется с образованием жидкой фракции и некоторого количества воздушных газов, например воздушных газов, образовавшихся в результате дегазации энергоносителя или поступивших в вакуумный контур ЖВЭУ извне. Конденсатный насос 6 удаляет 7 сконденсированное РТ вовне. Полученный конденсат, в большинстве случаев, должен представлять собой воду с удельной электропроводимостью на уровне 10 мкСм/см. Это позволит использовать полученный конденсат в качестве оборотной воды или сбрасывать его в водоёмы (использовать его любым иным способом) в случае использования ЖВЭУ для очистки загрязнённого энергоносителя или для производства дистиллята.

Охлаждённый энергоноситель из котла переменного давления 2 насосом 8 удаляется 9 из ЖВЭУ. В случае использования ЖВЭУ, например, для выработки электроэнергии, потоки 7 и 9 могут объединяться и поступать в источник тепла, например, в водогрейный котёл, тогда как поток 1 будет поступать в ЖВЭУ из такого котла. Например, в контуре ЖВЭУ может циркулировать сетевая вода системы отопления или оборотный теплоноситель системы охлаждения.

В процессе работы ЖВЭУ, например работающей с использованием перегретой воды (подаваемой при давлении 5 ата) и выпариваемой до температуры на уровне +25°C (рис. 3), происходит постепенное падение давления в котле от избыточного, до разряжения, при этом на всём интервале давлений вырабатывается насыщенный пар из энергоносителя, являющийся РТ, поступающим в детандер.

В случае, если в ЖВЭУ поступает горячая, а не перегретая вода в качестве энергоносителя, процесс парообразования будет начинаться при давлении менее 1 ата (соответствует вертикальной линии на рис. 3). При этом РТ будет являться пар с давлением ниже атмосферного (пунктирная кривая на рис. 3). Именно такой режим стендового прототипа ЖВЭУ был реализован на испытаниях, в ходе которых в ЖВЭУ подавалась горячая вода с температурой +80 °С при температуре в конденсаторе +30 °С. Образованный теплоперепад в 50 °С между температурой подвода и отвода тепла позволил получить перепад давлений в 43 кПа, использованный, посредством детандера, для привода нагрузки.

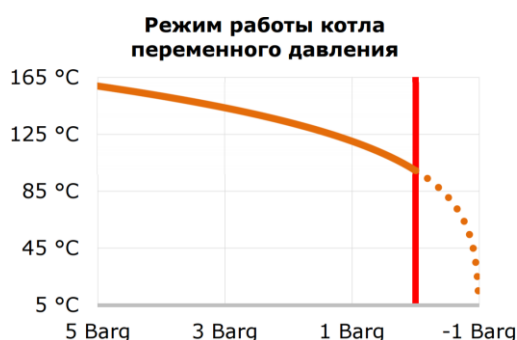


Рис. 3. Давление вырабатываемого пара в котле переменного давления.

Принципиально, рассмотренный режим работы ЖВЭУ близок классическим паросиловым установкам за тем исключением, что в ЖВЭУ описанной схемы непрерывно происходит циклическое изменение начальных параметров пара, что потребовало создания специального детандера, позволяющего срабатывать постоянно меняющееся давление пара с переменной энтальпией.

Локальная выработка электроэнергии с использованием ЖВЭУ

Возможность подачи в ЖВЭУ горячей и перегретой воды позволяет вырабатывать электроэнергию в широких пределах температурного перепада энергоносителя. Например, при температуре отвода тепла +20 °С (сброс тепла летом посредством сухой градирни) и при подводе тепла при температуре +100 °С (бытовой отопительный котёл твёрдого топлива; солнечный коллектор вакуумного или плоского типа (см. Рис. 4)), электрический КПД брутто ЖВЭУ составит 8%.

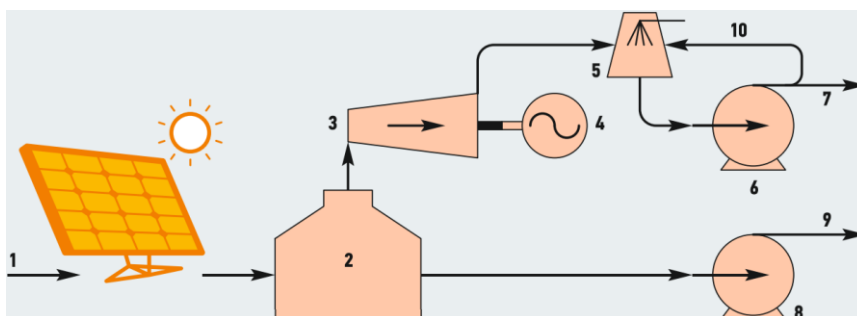


Рис. 4. ЖВЭУ с солнечным коллектором и испарительной градирней [1, с.38].

Повышая температуру подвода тепла до +200 °С, электрический КПД может быть увеличен до 19% и более, если, соответственно отводить тепло от мягкого пара при конденсации его зимой. Возможность применения различных энергоносителей, таких как вода, НРТ, высококипящие органические теплоносители (ВОТ), а также другие вещества, позволяет создать ЖВЭУ с параметрами, соответствующими максимальному полезному использованию располагаемого теплоперепада. Применение различных технологических схем ЖВЭУ, отличительными особенностями которых является использование тепломассообменного оборудования, а не классических ТО, позволяет, даже при низкосортных видах горючего, повышать электрический КПД ЖВЭУ как минимум до 30%.

Это ставит задачу создания энергоустановки, которая по своим характеристикам позволяла бы работать с широким спектром теплогенерирующего оборудования (мини-ТЭЦ, отопительные котлы и т.п.), при этом, предпочтительно не подпадая под Правила Ростехнадзора в части поднадзорного оборудования [3]. П.4. указанных Правил выводит из под их действия оборудование, соответствующее следующим критериям:

- сосуды и трубопроводы, работающие под вакуумом.

Указанным в п.4 Правил [3] требованиям в полной мере соответствуют любые ЖВЭУ, работающие в составе отопительных или производственно-отопительных котлов, вырабатывающих горячую воду (начальная температура не более +100 °С).

Следующие требования, указанного п.4 Правил, гласят, что:

- котлы объемом парового и водяного пространства 0,001 кубического метра (м^3) и менее, у которых произведение рабочего давления (МПа) на объем (м^3) не превышает 0,002;

- сосуды и баллоны вместимостью не более 0,025 м^3 , у которых произведение значений давления (МПа) на вместимость (м^3) не превышает 0,02;

и позволяют изготавливать неподнадзорные ЖВЭУ, с высокими начальными параметрами перегретого энергоносителя (вода, ВОТ и т.п.), оптимизированные для работы у индивидуальных потребителей в составе котельных коттеджей, позволяя вырабатывать электроэнергию и тепло используя как квалифицированные (ископаемый природный газ (ИПГ), СПБТ, мазут, дизтопливо), так и местные виды топлива (дрова, пеллеты, щепу и т.п.).

Часть п.4. Правил, гласящая, что:

- сосуды, состоящие из труб внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из труб внутренним диаметром не более 150 мм;

- части машин, не представляющие собой самостоятельных сосудов (корпусы насосов или турбин, цилиндры двигателей паровых, гидравлических, воздушных машин и компрессоров);

- трубопроводы пара и горячей воды наружным диаметром менее 51 мм, у которых температура рабочей среды не превышает 450 °С при давлении рабочей среды более 8,0 МПа, а также у которых температура рабочей среды превышает 450 °С без ограничения давления рабочей среды.

позволяет изготавливать неподнадзорные ЖВЭУ с ориентировочной электрической мощностью на уровне 100...200 кВт.

Выводы

Указанные выше возможности по простому конвертированию в мини-ТЭЦ водогрейных отопительных и производственно отопительных котельных, которых, по различным оценкам, на территории России находится на уровне 200 тыс. шт., позволяет решить несколько задач, главными из которых являются повышение надёжности про-

изводства тепла и снижение затрат электроэнергии, приобретаемой посредством внешних электросетей, надёжность которых зачастую невысока, а подводимая мощность - ограничена. Также решается задача снижения себестоимости вырабатываемой предприятиями тепловой энергии и создание собственного источника электроэнергии, обеспечивающего как минимум частичное покрытие собственных нужд предприятия в электроэнергии.

Для индивидуальных потребителей, в особенности расположенных на значительном удалении от энергетической инфраструктуры, решается задача энергоснабжения с умеренной себестоимостью при использовании местных видов горючих, ВИЭ, в том числе солнечной энергии посредством вакуумных или плоских коллекторов.

Литература

1. Велицко В.В. Вакуумная переработка промышленных стоков с использованием низкопотенциального тепла // Сантехника Отопление Кондиционирование, №5, 2016. С. 36–40.
2. Алиев Р.М., Байрамов А.М., Прохоров А.И. Потенциал кластерного энергоснабжения Северного Кавказа с использованием геотермальной энергии // Грозный: Сборник докладов Международной научно-практической конференции «GEOENERGY», 19-21.06.2015, С. 156–170.
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» // приказ Ростехнадзора от 25 марта 2014, № 116.