

Когенерационные установки ОЦР на биомассе

Хутская Н.Г., Пальченок Г.И., Скоробогатая В.А.
Белорусский национальный технический университет

Рассмотрено одно из самых перспективных направлений технологий ОЦР – утилизация тепла термомасляных котлов, работающих на щепе, пеллетах и другом биотопливе для выработки тепла и электроэнергии. Его перспективность объясняется относительно невысокой стоимостью и применимостью в современных условиях страны. Данный цикл представляет интерес за счет того, что позволяет строить автономные мини-ТЭЦ, которые бы не только обеспечивали необходимым объемом отпуска тепла для потребителя, но и снабжали необходимой электроэнергией как сами мини-ТЭЦ, так и теплоснабжающие районы. Все это делает органический цикл Ренкина на биотопливе конкурентной разработкой требующей отдельного внимания.

Органический цикл Ренкина имеет ряд преимуществ перед традиционной паротурбинной электростанцией: требуется меньшее количество подводимой теплоты в процессе испарения; процесс испарения протекает при более низких давлении и температуре; процесс расширения заканчивается в зоне сухого пара и, следовательно, перегрев не требуется, поэтому риск эрозии лопастей турбины отсутствует; значительно меньше температурная разница между испарением и конденсацией означает, что перепад давления будет значительно ниже, что позволит использовать простые одноступенчатые турбины.

Для ОЦР цикла возможно использовать следующие вещества: углеводороды; гидрофтороуглероды; гидрохлорофтороуглероды; хлорофтороуглероды; перфтороуглероды; силоксаны; спирты; альдегиды; эфиры; сегрегированные гидрофторэфиры; амины; смешанные жидкости (неазиотропные и азиотропные); неорганические жидкости.

Рабочая жидкость в ОЦР устройствах играет ключевую роль, поскольку определяет эффективность и экономические показатели установки. Определяющие характеристики веществ для ОЦР:

- линия паронасыщения с нулевой или положительной кривизной характеристики (dS/dT) (изоэнтропная жидкости или жидкости на

безводной основе); высокая скрытая теплота парообразования; высокая плотность (фаза жидкость/пар); высокая удельная теплоемкость; умеренные критические параметры (температура, давление); допустимое давление конденсации и парообразования (>1 бар и <25 бар соответственно); хорошие теплопередающие свойства (малая вязкость, высокая теплопроводность); высокая термическая и химическая стабильность (стабильный пи высоких температурах); хорошая совместимость с материалами (не корродирует); высокий термодинамический КПД (энергетический/эксергетический КПД); высокая степень безопасности (не токсичен и не горюч); малое влияние на окружающую среду (низкий озоноразрушающий потенциал и низкий ПГП); низкая стоимость и достаточная пригодность.



Рисунок 1. Схема теплофикационной установки, работающей по ОРЦ.

Тепловая энергия, выделяющаяся при сгорании биотоплива, через теплообменник передается промежуточному теплоносителю, в качестве которого выступает термальное масло, при этом температура в теплообменнике варьируется в диапазоне 150°C - 320°C . Затем тепловая энергия при помощи термального масла передается в ОЦР, где служит для испарения рабочего тела. Далее рабочее тело в виде пара расширяется в

турбине, проходит через рекуператор, подогревая рабочее тело в жидком состоянии, и охлаждается в конденсаторе. Нагретая вода, которая охлаждает рабочее тело в конденсаторе, может быть использована для бытовых целей. Для того, чтобы потери энергии продуктов сгорания биотоплива были минимальны, желательнее максимально охладить их потоками рабочего тела и входящего воздуха. На схеме, изображенной на рисунке 1, для этой цели используются экономайзер и предварительный нагреватель воздуха.

В зависимости от вида сырья и применяемой технологии топливо из биомассы можно получать в различном фазовом состоянии: твердом, жидком и газообразном. Рекомендуется использовать биотопливо в виде пеллет, которые получают из древесины и различных видов биомассы. Однако для генерации электричества можно использовать не только биотопливо, но и биогаз - синтетический газ, состоящий главным образом из CO , CO_2 , CH_4 и H_2 . Эффективность автономной теплофикационной установки, работающей на биотопливе: около 18% химической энергии топлива превращается в электричество, примерно 70% уходит на нагрев воды и лишь 12% выбрасывается в окружающую среду с продуктами сгорания.

За последние 15 лет в Европе произошло впечатляющее развитие когенерационных биомассовых систем ОЦР. Основные области применения: централизованное теплоснабжение, производство пеллет, лесопильные заводы и деревообрабатывающая промышленность. Современная технология представлена бинарным циклом с термомасляным котлом. Электрическая мощность существующих установок варьируется от 500 кВт до 2 МВт, тепловая – от 2 МВт до 8 МВт соответственно. Использование подходящей рабочей жидкости (как правило – силиконовое масло) позволяет использовать высокие температуры при сжигании биомассы. В результате чего достигается высокая электрическая мощность, не смотря на относительно высокую температуру (80-120°C) воды в конденсаторе) [1-4].

Когенерационные установки ОЦР на биомассе работают по принципу бинарного цикла, поскольку рабочее вещество и тепловой источник находятся в разных контурах. В котле при сжигании древесного топлива образуются дымовые газы, которые передают тепло промежуточному теплоносителю, в качестве которого, как

правило, выступает синтетическое термомасло. Нагретое диатермическое масло циркулирует в закрытом контуре, в котором передает тепло контуру ОЦР, а затем снова подается в котел. Система насосов поддерживает непрерывную циркуляцию масла во избежание перегрева котла.

Вырабатываемая электроэнергия может быть передана в сеть или использоваться на собственные нужды. Вырабатываемое тепло может быть использовано для нужд отопления или охлаждения, в процессах низкотемпературной сушки или для получения тепла с температурой до 120 °С. Производство пара в установках ОЦР до сих пор не реализовано, хотя имеется возможность.

Работа ОЦР на биомассе имеет ряд преимуществ в сравнении с традиционным циклом Ренкина:

- при нагреве в котле масло не изменяет свое агрегатное состояние и имеет более низкое давление. Термомасло остается в жидкой фазе при атмосферном давлении и увеличении температуры до 320°С (нормальное рабочее давление находится в диапазоне от 5 до 7 бар);

- четкое разделение теплового и термодинамического процессов, что в свою очередь позволяет отдельно подбирать термомасляный котел и установку ОЦР. Несмотря на множество других конфигураций установок, в которых могут применяться различные устройства нагрева, использующие пар, горячую воду или прямой теплообмен с горячим газом, использование промежуточного контура термического масла – наиболее распространенный тип системы.

Технология ОЦР позволила реализовать системы комбинированной выработки благодаря возможности адаптации установки к новой технологии без необходимости в дополнительном пространстве и операторах. Учитывая, что тысячи установок для централизованного теплоснабжения, работающих на биомассе производят только тепло, существует большая вероятность того, что установки ОЦР позволят преобразовать из в ТЭЦ.

В будущем ожидается снижение температуры работы станции (50-60°С, вместо 80-90°С). Снижение температуры централизованного отопления дает возможность повысить электрическую эффективность термодинамического цикла. А

именно, производить больше когенеративного электричества при неизменной тепловой нагрузке, при этом снижая удельные затраты и потребление электроэнергии.

Выбор рабочего тела для ОЦР зависит от многих факторов, в частности, от источника энергии, диапазона рабочих температур и давлений и мощности установки [1]. В большинстве случаев для сравнения характеристик перспективных рабочих тел используется термодинамическая модель цикла. При этом главным критерием сравнения зачастую является термическая эффективность цикла, которая существенно зависит от физико-химических свойств рабочего тела.

В общем случае при выборе рабочего тела необходимо принять во внимание следующие соображения [3]:

1. Для данного рабочего диапазона температур удельная работа цикла должна быть максимальной. Желательно, чтобы теплота испарения рабочего тела была как можно больше.

2. Низкая вязкость жидкой и паровой фаз должна обеспечить малые потери на трение и большое значение коэффициента теплоотдачи.

3. Высокая теплопроводность рабочего тела позволит обеспечить эффективный нагрев и охлаждение его в теплообменниках.

4. Давление насыщенных паров рабочего тела в цикле Ренкина не должно быть ни слишком большим, ни очень маленьким, поскольку в противном случае могут возникнуть проблемы создания вакуума и обеспечения прочности и герметичности трубопроводов и арматуры.

5. Важным требованием к рабочему телу является термическая стабильность в области высоких температур.

6. Вещество не должно замерзать во всем диапазоне рабочих температур. Поэтому тройная точка рабочего тела должна лежать ниже наименьшей температуры цикла.

7. Рабочее тело не должно быть токсичным и легковоспламеняющимся, а попадание его в окружающую среду не должно вызывать загрязнения.

8. Желательно, чтобы рабочее тело было недорогим и легкодоступным. В этом отношении вещества, используемые в

холодильной промышленности, являются хорошими кандидатами на роль рабочего тела в ОЦР.

С учетом сказанного выше можно утверждать, что при выборе рабочего тела для реализации в ОЦР нельзя исходить только из соображений термической эффективности. Задача выбора оптимального вещества является многокритериальной, она рассмотрена подробно в [5]. Необходимо принимать во внимание площадь теплообменника, габариты турбины, стоимость установки и ее эксплуатации. Таким образом, экономические соображения могут обуславливать совершенно другие характеристики рабочего тела, отличающиеся от тех, которые были получены по результатам термодинамического анализа.

Несмотря на то, что в литературе рассмотрено довольно много веществ, которые в принципе можно использовать в ОЦР, только несколько из них применяются в коммерческих установках, работающих по ОЦР. К их числу относятся HFC-134a, HFC-245fa, OMTS (октаметилтрисилоксан), толуол, Solkatherm (азеотропный раствор).

Литература

1. Saleh B., Koglbauer G., Wendland M., Fischer J. Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles. *Energy*, 2007, vol. 32, pp. 1210-1221
2. Drescher U., Brggemann D. Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied Thermal Engineering*, 2007, vol. 27, pp. 223-228.
3. Mikielwicz D., Mikielwicz J. A thermodynamic criterion for selection of working fluid for subcritical and supercritical domestic micro CHP. *Applied Thermal Engineering*, 2010, vol. 30, pp. 2357-2362.
4. Papadopoulos A.I., Stijepovic M.Z., Linke P. On the systematic design and selection of optimal working fluids for Organic Rankine Cycles. *Applied Thermal Engineering*, 2010, vol. 30, pp. 760-769.
5. Gao H., Liu C., He C., Xu X., Wu S., Li Y. Performance Analysis and Working Fluid Selection of a Supercritical Organic Rankine Cycle for Low Grade Waste Heat Recovery. *Energies*, 2012, vol. 5, pp. 3233-3247.