

RESEARCH OF THE USABLE FACILITIES OF ALTERNATIVE FUELS IN THE COGENERATION POWER – STATION

Summary

With fossil fuel and supply of centralized energy getting more expensive combined electricity and heating production is spreading in the European Union using cogeneration plants. Such distributed energy generation has a range of advantages: a possibility to use local fuel rationally including fuel of biological nature, lower costs of energy production and distribution, lower environmental pollution and creation of new work places in rural areas. The carried out analysis showed, that good perspectives are forecasted for using diesel engines in cogeneration plants, if they run on plant oil produced locally. The investigations proved that comparative consumption of mineral diesel fuel made 205 ± 1.4 g/kWh, that of rape seed methyl ester - 225 ± 2.6 g/kWh and plant oil - 230 ± 1.8 g/kWh. The analysis of emissions showed that after changing mineral diesel fuel with pure RME or rape seed oil, a larger amount of NO_x is emitted into the environment - 10% and 13% respectively. A comparative amount of CO in oxides while using pure RME decreases by 5.7%, compared with mineral diesel fuel, and using rape seed oil – by 6.3%. Economic calculations showed that capital investments for the erection of a cogeneration plant of 340 kW power would make 480 thou Lt. The operation of such plant would give 448.8 thou Lt of annual income for sold electric power and the production cost of produced heating energy would be 0.18 Lt/kWh.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА В КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Резюме

Децентрализованное производство энергии в когенерационном цикле имеет целый ряд преимуществ, это: возможность рационального использования местного топлива, в том числе и биологического; меньшие затраты на производство и распределение энергии; снижение загрязнения окружающей среды; создание новых рабочих мест в сельской местности. Анализ показал, что хорошие перспективы при децентрализованном производстве энергии имеет использование дизельных электрогенераторов, работающих на рапсовом масле местного производства. Установлено, что при работе таких агрегатов на минеральном дизельном топливе его удельный расход составляет $205 \pm 1,4$ г/кВт·ч, на рапсовом метиловом эфире (РМЭ) - $225 \pm 2,6$ г/кВт·ч и на рапсовом масле - $230 \pm 1,8$ г/кВт·ч. Замена минерального дизельного топлива на РМЭ или рапсовое масло увеличивает выбросы NO_x в атмосферу на 10% и 13%. Удельное содержание CO в выбросах при этом уменьшается на 5,7% и 6,3% соответственно. Экономическими расчетами установлено, что капитальные вложения на энергетическую когенерационную установку мощностью 340 кВт составляют 480 тыс. LTL, годовой доход от реализации электроэнергии – 448,8 тыс. LTL, а себестоимость сопутствующей тепловой энергии – 0,18 LTL/кВт·ч. Когенерация, биотопливо, расход топлива, эмиссии, экономические показатели.

1. Введение

Когенерация это один из способов снижения себестоимости производства электроэнергии с использованием существующих технологий. Приняв первичное энергосодержание топлива за 100% и использовав его в когенерационном цикле можно получить 45% электроэнергии и 40-45% тепловой энергии, поэтому энергопотери составляют 10-15% [1]. Основным условием эффективной работы когенерационных установок (КГУ) является устойчивая реализация производимой тепловой энергии. Электроэнергия это побочный продукт производственного цикла. В Европе данный вид производства энергии долгое время имел весьма ограниченное применение. Так до 1998 года общая мощность когенерационных установок составляла всего 70 ГВт. В настоящее время в странах ЕС производство энергии в режиме когенерации является приоритетным направлением. В директиве ЕС 2004/8/ЕВ отмечено, что технология когенерации во многих странах не только не используется, но и не установлен ее потенциал, не созданы условия для успешного внедрения технологии

когенерации для комплексного производства тепловой и электрической энергии [2].

В упомянутой Директиве в первом приложении приведен список технологий когенерации на которые распространяются положения данной Директивы:

- газовая турбина комбинированного цикла с отводом тепла;
- паровая турбина с отрицательным давлением;
- турбина с конденсацией отработавшего пара;
- газовая турбина с отводом тепла;
- двигатель внутреннего сгорания;
- микротурбина;
- двигатели Стирлинга;
- поровые двигатели;
- камеры сгорания топлива.

В когенерационных установках для производства энергии наибольшее распространение получило ископаемое топливо – природный газ, печное и дизельное топливо, мазут, бензин и т.п. При этом указывается, что применение когенерации является эффективным способом снижения загрязнения окружающей среды и экономного использования энергоресурсов [3, 4].

2. Обзор литературы

В настоящее время практическое применение получили 3 способа генерации электроэнергии с использованием возобновляемого сырья (биотоплива).

Первый – это применение парового котла с поровой турбиной. В качестве топлива здесь можно использовать измельченную древесину, солому, энергетические растения. Однако в котлах небольшой мощности (5-10кВт) при сжигании в них биомассы трудно получить пар с высокими технологическими параметрами – перегретый пар. Коэффициент полезного действия (КПД) системы с генерируемой электрической мощностью до 1 МВт обычно не превышает 10-15%, а при использовании отработавшего пара для подогрева термофикационной воды общий КПД составляет 60-70%.

Более эффективное использование первичной энергии можно обеспечить используя паровой двигатель с замкнутым циклом теплоносителя. В этом случае КПД энергоблока мощностью 1 МВт на 2-5% выше, чем при использовании паровой турбины.

В последнее время всё более широкое применение получают когенерационные энерго-блоки работающие в цикле ORC (Organic Rankine Cycle) [5, 6]. В таких энергетических установках общие потери тепловой и электрической энергии составляют 3-5%, а КПД электрогенерации равен 0,18. Остальная первичная энергия расходуется на производство тепла.

Однако все описываемые схемы когенерации энергии трудно поддаются автоматизации, сложны в использовании в небольших автономных котельнях, для их внедрения необходимы значительные инвестиции.

В таких условиях хорошие перспективы имеет применение для производства тепловой и электрической энергии стационарных двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Большим преимуществом ДВС является возможность их быстрого запуска и выхода на максимальную мощность, эластичность в широком диапазоне мощности, в использовании для их работы как жидкого, так и газообразного топлива [7, 8]. В качестве последнего можно использовать биогаз, получаемый в результате переработки биологических отходов в ферментаторах [9, 10].

Новейшие исследования показали, что хорошие перспективы имеют когенерационные установки оснащенные дизельными двигателями, работающими на биотопливе, в частности на чистом растительном масле [11].

В таблице 1 приведены основные характеристики наиболее распространенного рапсового масла, биодизеля (РМЭ) и минерального дизельного топлива [12].

Как видно из приведенных данных, растительное масло по сравнению с биодизелем и минеральным топливом, обладает значительно большей вязкостью, несколько выше у него и температура фильтрации, более низкое цетановое число. Рапсовое масло не токсично, у него высокая температура вспышки. В отличие от нефтепродуктов, оно не обладает неприятным запахом. В рапсовом масле отсутствуют соединения серы, поэтому при сжигании не выпадают кислотные дожди и в атмосферу выделяется меньше вредных веществ. Высокая температура вспышки положительно сказывается на его применении в стационарных дизельных ДВС, работающих в закрытых помещениях [13]. К недостаткам рапсового масла можно отнести его на 15-18% более низкое энергосодержание.

Из анализа свойств рапсового масла можно сделать вывод, что в качестве топлива для дизельных ДВС его можно использовать только снизив его вязкость, т.е. модифицировав применяя специальные химические реагенты или предварительный его подогрев. Проводятся работы по созданию ДВС приспособленных к работе на немодифицированном рапсовом масле [13].

Цель работы – определить возможности применения рапсового масла в когенерационных установках с дизельным ДВС, его удельный расход, экологичность и экономичность применения по сравнению с другими видами топлива.

3. Методика исследования

Исследование проводили на дизельном двигателе мощностью 37 кВт (D-144) на испытательном стенде КИ 5542. Измеряли крутящий момент с помощью весового механизма испытательного стенда с погрешностью $\pm 5\%$, частоту вращения коленчатого вала двигателя с использованием электронного тахометра TESA с погрешностью $\pm 1\%$. Расход топлива измеряли путем его взвешивания на весах RN-10 с точностью ± 5 г и фиксацией времени измерения секундометром SDS с погрешностью $\pm 0,2$ с. Содержание частиц сажи в выхлопных газах определяли с погрешностью $\pm 3\%$ используя дымомер TECNOTEST-490, а содержание других вредных веществ – с помощью газоанализатора TECNOTEST-481. Характеристики дизельного двигателя определяли при постоянной частоте вращения $n=1800$ мин⁻¹. Опыты проводили с использованием в качестве топлива минерального дизельного (LST EN 590); биодизеля (LST EN 14214:2003) и рапсового масла (LST EN 1321:2001).

Таб. 1. Основные характеристики рапсового масла, биодизеля (РМЭ) и минерального дизельного топлива
Table 1. The main characteristics of rape seed oil, biodiesel and mineral diesel

Показатели	Рапсовое масло	Биодизель (РМЭ)	Минеральное дизельное топливо
Плотность, г/см ³	0,91-0,93	0,86-0,90	0,82-0,85
Кинематическая вязкость при 40 ⁰ С, мм ²	38,0	3,5-5,0	2,0-4,5
Цетановое число	40-42	50	51-56
Температура фильтрации, ⁰ С	-(9-15)	-	-14
Температура вспышки, ⁰ С	220	120-135	50-80
Содержание серы, мг/кг	-	<10	<50
Энергосодержание, МДж/кг	35,0	36,2	41,4-43,5

4. Результаты исследования и их анализ

На рис. 1 приведены результаты определения удельного расхода исследуемых видов топлива при работе дизельного двигателя D144 в различных диапазонах мощности.

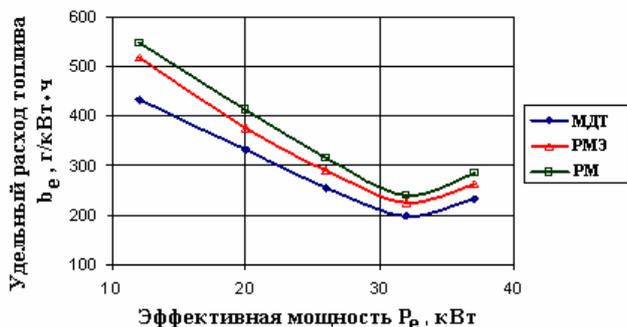


Рис. 1. Удельный расход b_e минерального дизельного топлива (МДТ), биодизеля (PMЭ) и рапсового масла (PM) в зависимости от эффективной мощности двигателя P_e ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$)
 Fig. 1. Comparative fuel consumption according to an engine effective power P_e working with different types of fuel ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$)

Как видно из приведенных данных, удельный расход минерального дизельного топлива при работе двигателя с номинальной нагрузкой является наименьшим по сравнению с расходом биодизеля и рапсового масла, составляя соответственно $205 \pm 1,4 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, $225 \pm 2,6 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ и $230 \pm 1,8 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$.

На рис. 2 Приведены данные по содержанию оксидов азота (NO_x) в выхлопных газах двигателя при работе на исследуемых видах топлива. Как видно из приведенных данных, при использовании в качестве топлива биодизеля (PMЭ) и рапсового масла (PM) содержание NO_x в выхлопных газах несколько выше, чем при использовании минерального дизельного топлива. Это можно объяснить более высокой температурой сгорания и повышенным содержанием кислорода в PMЭ и рапсовом масле.

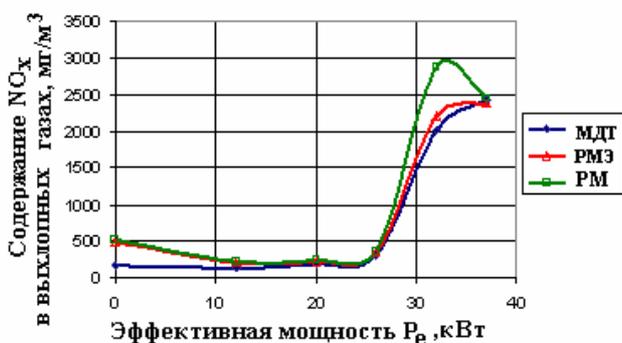


Рис. 2. Содержание NO_x в выхлопных газах в зависимости от эффективной мощности P_e при работе двигателя на различных видах топлива ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$)
 Fig. 2. Relationship between amount of NO_x and engine efficacy power P_e when running on different types of fuel ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$)

Данные о содержании окиси углерода (CO) в выхлопных газах дизельного двигателя в зависимости от его эффективной мощности показаны на рис. 3

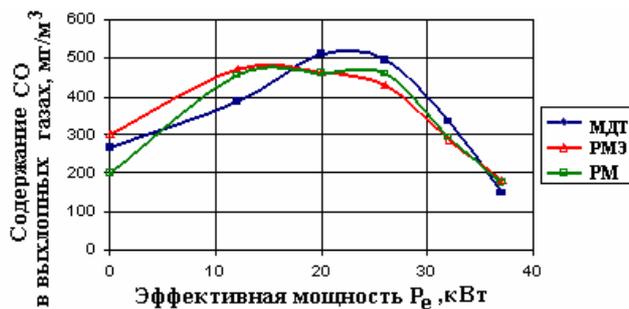


Рис. 3. Содержимое CO в выхлопных газах в зависимости от эффективной мощности P_e при работе двигателя на различных видах топлива ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$)
 Fig. 3. Relationship between amount of CO and engine efficacy power P_e when running on different types of fuel ($n=1800 \text{ мин}^{-1}$)

Из приведенных данных видно, что наибольшее содержание CO в выхлопных газах установлено при работе двигателя в диапазоне средних нагрузок. При работе двигателя на PMЭ и рапсовом масле в диапазоне средних нагрузок (эффективная мощность 20-30кВт) наблюдается снижение содержания CO в выхлопных газах по сравнению с его работой на минеральном дизельном топливе.

Более наглядно влияние использования PMЭ и рапсового масла на окружающую среду можно определить при сравнении расчетных данных об относительных значениях эмиссии NO_x и CO, когда данные об эмиссии этих газов при использовании минерального дизельного топлива приняты за 100%. Из полученных данных следует, что содержание NO_x при замене МДТ на PMЭ или рапсовое масло увеличивается на 10% и 13% соответственно. Содержание CO в выхлопных газах при работе на рапсовом масле на 6,3% ниже по сравнению с работой на МДТ.

Данные о дымности выхлопа при работе двигателя на исследуемых видах топлива приведены в таблице 2.

Таб. 2. Дымность выхлопа при работе двигателя на исследуемых видах топлива при различных значениях эффективной мощности P_e

Table 2. Relationship between smoky opacity of oxide while using tested types of fuel at different engine efficacy power P_e

Эффективная мощность P_e , кВт	Дымность выхлопа, %		
	МДТ	PMЭ	PM
12	27,8	10,3	7,7
20	64,1	31,9	19,9
26	77,0	47,1	23,8
32	51,0	25,2	18,5
37	28,7	15,3	9,0

Из приведенных данных видно, что наибольшая дымность выхлопа получена при использовании минерального дизельного топлива. Заменяв его на PMЭ дымность выхлопа снизилась на 50%, а при использовании рапсового масла на 68%. Обобщая полученные данные можно сделать вывод, что замена

МДТ на РМЭ и рапсовое масло снижается отрицательное воздействие работы двигателя на окружающую среду за исключением содержания NO_x в выхлопных газах. Однако этот недостаток можно устранить за счет соответствующих регулировок рабочих параметров двигателя или применяя катализаторы в системе отвода выхлопных газов.

Для определения технико-экономических показателей применения рапсового масла в когенерационных установках нами проведен расчет себестоимости его производства на межхозяйственном предприятии мощностью 500 т масла в год. Для этого потребуется 1500 т семян рапса. При средней стоимости семян рапса за последние 5 лет 900 LTL/т и капитальных вложениях в строительство предприятия 2,5 млн. LTL, реализовав выжимки комбикормовым комбинатам по цене 600 LTL/т, себестоимость рапсового масла составит 1,79 LTL/кг (1,56 LTL/литр), что примерно в 1,8 раза меньше стоимости минерального дизельного топлива отпускаемого сельскохозяйственным производителям (2,82 LTL/литр).

При использовании полученного рапсового масла в когенерационной установке мощностью 340 кВт (стоимость установки с монтажом 480 тыс. LTL) в течение года количество реализованной электроэнергии составит около 2,0 млн кВт·ч (6000 ч работы). При закупочной цене “зеленой энергии” 0,22 LTL/кВт·ч, доход от ее реализации – 450 тыс. LTL в год. Кроме того, будет получено 2,5 млн. кВт·ч тепловой энергии себестоимостью 0,18 LTL/кВт·ч.

Исходя из проведенного анализа можно сделать вывод, что использование когенерационных установок работающих на рапсовом масле собственного приготовления является экономически обоснованным технологическим решением, имеющим, кроме того, и большое природоохранное значение.

5. Выводы

1. Анализ литературы показал, что в когенерационных установках малой и средней мощности целесообразно использовать дизельные двигатели работающие на (РМЭ) газообразном – биогаз, жидком – рапсовый метиловый эфир или натуральное рапсовое масло (РМ), биотопливе.

2. Удельный расход минерального дизельного топлива двигателем D144 в области средних нагрузок составляет $205 \pm 1,4$ г/кВт·ч, рапсового метилового

эфира – $225 \pm 2,6$ г/кВт·ч и рапсового масла – $230,0 \pm 1,8$ г/кВт·ч.

3. Наименьшие выбросы в атмосферу CO и твердых частиц были получены при работе двигателя на рапсовом масле, однако выбросы NO_x при этом были наибольшими по сравнению с работой двигателя на минеральном дизельном топливе и РМЭ.

4. Экономический анализ показал, что капитальные вложения в когенерационную установку мощностью 340 кВт составляют 480 тыс. LTL. Годовой доход за реализованную электроэнергию – 448,8 тыс. LTL, а себестоимость тепловой энергии – 0,18 LTL/кВт·ч.

6. Литература

- [1] Macinauskas K., Korsakiene I., Tumosa A.: Kogeneracija „Termofikacija“ ir mikroturbinos. Energetika, 2008, t. 54, Nr 2, p. 70-78.
- [2] Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 on the promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market and amending directive 92/42/EEC.
- [3] Paska J.: Technologie generacji rozproszonych. Elektroenergetyka, 2000, Nr 4, p. 512-513.
- [4] Žukauskas G., Zinkevičius F.: Mažos galios kogeneracinės jėgainės Lietuvoje. Energetika, 2007, t. 53, Nr 2, p. 43-47.
- [5] Bini R., Duvia A., Schwarz A.: Operational Results of the First Biomass CHP Plant in Italy based on Organic Rankine Cycle Turbogenerator and Overview of a Number of Plants in Operation in Europe Since 1998. Proceeding of Second World Biomass Conference. Rom, 2004, p. 18-23.
- [6] Duvia A., Guzikowski J.: Inowacyjny projekt w Ostrowie Wielkopolskim. Czysta energia, 2007, Nr 2, p. 24-25.
- [7] Teislev B.: Wood Chips Updraft Gasifier Based Combined Heat and Power. Proceedings of Second World Biomass Conference, Rom, 2004, p. 56-60.
- [8] Zaporowski B.: Elektrociepłownia małej mocy opalanej biomasą. Czysta energia, 2006, Nr 11, p. 38-39.
- [9] Persson M.: Evaluation of upgrading techniques for biogas. Report SGC. „Swedish Gas Center“, 2003, p.142.
- [10] Berglund M.: Biogas production from a systems analytical perspective. Lund University. Lund, 2006, p. 22-27.
- [11] Eder B., Eder F.: Pflanzenöl als Kraftstoff. Ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2004, 110 s.
- [12] Liubarskis V., Raslavičius L.: Vista of fueling diesel engine with fuel blends. New methods, means and technologies for applications of agricultural products proceedings of the international conference, Raudondvaris, 2003, p. 39-42.
- [13] Nakčiūnas M.: Research of possibilities of using mineral diesel and rapeseed oil blends for fuel. New technological processes and investigation methods for agricultural engineering: proceedings of the 10 th International conference, Raudondvaris 2005, p. 263-268.