

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВС В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Д.Д. Матиевский, В.В. Логвиненко, А.Г. Кузьмин

В настоящее время производственный потенциал энергетики России составляет более 700 электростанций общей мощностью свыше 215 млн. кВт [1]. Огромный энергокомплекс требует, с одной стороны, больших средств для поддержания его в состоянии высокой работоспособности, а, с другой, - нуждается в хорошей организации потребления энергии, обеспечивающей возможность работы крупных электростанций с высоким КПД. Для повышения экономичности и надежности энергоснабжения, наряду с совершенствованием и модернизацией существующих крупных систем (заменой физически и морально устаревшего технологического оборудования на ТЭЦ и в котельных, ремонтов теплопроводов с заменой теплоизоляции и др.), необходимо широкое развитие рациональных постоянно действующих и резервных автономных источников малой энергетики - мини-ТЭЦ.

Рыночная экономика предлагает потребителю возможность сделать свой выбор источника энергоснабжения, исходя из стоимости, качества и бесперебойности последнего. Отсюда при стремлении сохранить определяющее значение ЕЭС государство способствует и созданию автономных электростанций с передачей избытка энергии в сеть ЕЭС. Наряду с большой энергетикой в современных условиях весьма значительной становится и роль объектов малой энергетики.

Главное достоинство мини-ТЭЦ - комбинированное производство электроэнергии и теплоты при отсутствии магистральных теплопроводов. Это дает большую экономию топлива не только относительно раздельной выработки электроэнергии и теплоты (в системе конденсационная электростанция + районная котельная), но и по сравнению с паротурбинными ТЭЦ большой мощности, где наличие магистральных тепловых сетей приводит к значительным потерям теплоты, химочищенной воды и расходу электроэнергии на перекачку теплоносителей. Транспортные потери тепла минимальны из-за малых расстояний до объекта потребления, что весьма

конкурентно способно по сравнению с длинными тепловыми сетями центрального теплоснабжения, теплоизоляция которых оставляет желать лучшего, а данные потери включаются в себестоимость продаваемого тепла.

Вместе с тем в настоящее время в большинстве крупных городов и их пригородах все крупные энергоисточники (электро- и теплоснабжения) в качестве основного вида топлива используют природный газ и жидкое топливо, что позволило реально свести к минимуму нарушения экологии при доставке, хранении и использовании топлива, а также уменьшить транспортные расходы.

Существенным аргументом в пользу развития автономных энергосистем является возможность рационального и экономически эффективного использования природных ресурсов за счет монтажа локальных теплоэлектростанций (ТЭС) вблизи топливных источников.

Таким образом, создание малых автономных энергоисточников конкурентоспособных с крупными энергоисточниками централизованной системы энергоснабжения вполне реально при условии их работы на газообразном или жидком топливе (это характерно и для большинства городов), при комбинированном производстве электрической и тепловой энергии, при их высокой топливной экономичности независимо от агрегатной мощности первичного двигателя на основе глубокой утилизации отбросной теплоты и минимизации транспортных расходов на доставку топлива и энергоносителя к потребителю.

Как показывают исследования, такими энергоисточниками при длительном их годовом использовании являются комбинированные малые теплоэлектроцентрали (мини-ТЭЦ) на основе дизельных, газодизельных и газовых двигателей, а при агрегатной мощности более 15-25 МВт и относительно большей потребности в теплоте - на основе газотурбинных установок [2].

Важной также является возможность создания мобильных (передвижных) автономных энергоисточников в виде дизель-электрических

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВС В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

ких (ДЭУ) и газотурбинных (ГТУ) установок для выполнения аварийно-восстановительных или временных строительных работ.

Если учесть, что в состав поршневых генераторов входят двигатели с относительно ограниченным моторесурсом, а также то, что около 60% теплоты, получаемой в цилиндрах этих двигателей, безвозвратно теряется в окружающую среду, то становится очевидным, что проблемы дальнейшего повышения экономичности поршневых установок, расширение областей их использования и увеличения количества вырабатываемой ими энергии за тот же ограниченный моторесурс являются особенно актуальными [4]. И один из наиболее перспективных путей решения указанных проблем - внешняя утилизация теплоты двигатель-генераторов.

В начале 80-х годов появились сообщения ведущих зарубежных дизеле- и агрегаторостроительных фирм о разработке и освоении в производстве особого вида дизель-энергетических когенерационных установок - конструктивно объединенного комплекса оборудования, обеспечивающего выработку электроэнергии и теплоснабжение за счет утилизации тепла, выделяемого ДВС. В едином конструктивном комплексе, чаще всего на единой фундаментной раме, помимо са-

мого двигатель-генератора компактно размещаются утилизационный котел, теплообменники, компрессор, щит управления и другие агрегаты, обеспечивающие выполнение комплексом функций электротеплостанции. Преимущества для потребителей в приобретении такого комплекса очевидны. Установки за рубежом получили широкое распространение. Аналогичные работы развернулись и в отечественном двигателестроении.

Энергетические предпосылки проводимых работ следующие.

Как известно, ДВС имеют коэффициент полезно используемого тепла топлива порядка 30-40%, а все остальное тепло отводится в атмосферу с отработавшими газами (ОГ) и расходуется на охлаждение двигателя.

Для оценки совершенства теплоиспользования сжигаемого топлива и резервов повышения эффективности работы поршневых двигателей удобно пользоваться внешним тепловым балансом. Уравнение внешнего теплового баланса ДВС в общем виде

$$q = q_e + q_{ог} + q_{охл} + q_{ост}$$

В таблице 1 приведены значения составляющих внешнего теплового баланса ДВС различных типов [3,5].

Таблица 1. Значения составляющих внешнего теплового баланса двигателей различных типов, %

Тип двигателя	Эффективный КПД $q_e$	Потери с отработавшими газами $q_{ог}$		Потери на охлаждение $q_{охл}$		Неучтенные потери $q_{ост}$
		Тепло-содержание ОГ $q_g$	Неполнота сгорания топлива $q_{нс}$	В охлаждающую среду $q_{ос}$	В смазочное масло $q_m$	
Карбюраторные поршневые	22-29	30-35	0-45	20-35	3-8	3-8
Дизели без наддува	29-42	25-40	0-5	20-35	2-4	2-7
Комбинированные дизели с наддувом:						
- умеренным	35-45	25-45	0-5	10-25	3-7	2-7
- высоким	40-48	20-40	0-7	10-18	4-8	2-5
Газовые двигатели	25-35	25-30	5-10	20-25		

Как видно из таблицы, тепловая мощность тепла выхлопных газов и охлаждающей жидкости двигателя соизмеримы с эффективной мощностью ДВС. Ее утилизация, а также утилизация тепла, отводящегося с маслом и наддувочным воздухом, позволит довести коэффициент полезного используемого тепла, вводимого с топливом, до 80-85%.

Холдинговая компания ОАО «Барнаултрансмаш» разрабатывает тепловые модули МТП 100/150, МТП 200/300, МТП 315/450 на базе газопоршневых агрегатов (ГПА) и дизелей. Это мини-ТЭЦ средней мощности, эко-

номичного класса, может выпускаться по двум степеням автоматизации. Топливо-природный газ или дизельное топливо. Мини-ТЭЦ адаптирована к тепловым сетям массовых потребителей тепла.

На основании общепринятых методик, формул и зависимостей была разработана математическая модель, а в последствии на ее основе и приложение «Инвестиции в строительство мини-ТЭЦ на основе газопоршневых агрегатов и газотурбинных установок». Основные положения математической модели соответствуют движению средств в инвестицион-

ной, операционной и финансовой деятельности. Работа с математической моделью сводится к введению исходных данных для года начала проекта, инфляции, процента кредита, налоговой ставки, объема заемных средств, срок службы мини-ТЭЦ. Для первого года начала эксплуатации ТЭЦ также вводятся норматив амортизационных отчислений, численность дополнительного штата, средняя зарплата одного работника дополнительного штата, цена топлива, удельный расход топлива. По часовым и месячным нагрузкам определяются годовые выработки тепловой и электрической энергии, по условиям минимальной тепловой нагрузки в летний период с учетом экономически обоснованных объемов тепловых аккумуляторов подбирается мощность мини-ТЭЦ и их число (не менее 2). На основе этих данных модель рассчитывает число часов использования. Далее в модели рассчитывается стоимость произведенной за год электроэнергии и тепла (тарифы вначале задаются произвольно или ставятся 0). Отдельный блок модели рассчитывает по базе данных эксплуатационные затраты на топливо и дополнительные штаты, налогооблагаемую прибыль, балансовую прибыль, чистую бухгалтерскую прибыль.

Модель следует канонам бизнес-плана, но за минимальный период времени принимает не месяц, а полгода или год. Имеется блок для расчета проекта по лизингу или кредиту. Основные варианты модели предназначены для варианта покупки МИН-ТЭЦ, лизинга, взятия или сдачи в кредит производителем, максимально короткого срока выплаты кредита и минимально возможно низкого тарифа на тепловую и электрическую энергию. Прибыль производитель должен получать на продаже производимой им основной продукции, тепловая и электрическая энергия являются для них составляющими затрат на производство. Поэтому производитель заинтересован в минимизации этих затрат, низкой себестоимости, и с этой точки зрения срок окупаемости должен быть равен сроку службы мини-ТЭЦ. Для оценки эффективности проекта используется условный доход, равный разнице в стоимости тепловой и электрической энергии по тарифам регионального поставщика энергии и «тарифом» мини-ТЭЦ. В связи с этим и по условиям привлекательности проекта инвестиций в строительство мини-ТЭЦ во многих случаях целесообразно выделить энергетический объект производителя в отдельное самостоятельное предприятие. Это позволит привлечь лизинговые или

кредитные финансы для реализации проекта строительства мини-ТЭЦ.

Далее вводятся исходные данные для каждого последующего года эксплуатации станции вплоть до окончания срока службы оборудования. Согласно математической модели себестоимость тарифов на тепловую и электрическую энергию, в соответствии с инструкциями, включены затраты на топливо (газ), затраты на заработную плату, эксплуатационные и ремонтные затраты, непредвиденные расходы, амортизационные отчисления, выплаты процентов по кредиту и налоги на дороги. В составляющие себестоимости не включены общезаводские, общецеховые расходы, затраты на воду. Это еще раз подчеркивает, что в математической модели надстройка рассматривается как отдельный экономический субъект, незначительно касаясь существующей котельной.

На основании этого алгоритма было разработано, отлажено Excel-приложение, которое позволяет рассчитать технические и экономические параметры проекта. Оно содержит в основной части 97 экономических и технических параметров и исходных данных.

Выполнена предварительная разработка проекта мини-ТЭЦ для МУП «Автодор» в г. Новоалтайске. Существующая котельная с котлами ДКВР надстраивается 3 газопоршневыми агрегатами производства ОАО «Барнаултрансмаш» мощностью 315 кВт. Проведено сопоставление с аналогичной мини-ТЭЦ на базе ГТУ малой мощности. Выполнено сравнение тарифов надстроек ГТУ и ГПА с тарифами регионального поставщика энергоресурсов Алтайэнерго и тарифами на электроэнергию ФОРЭМа. Показано, что тариф на энергоресурсы надстройки ГТУ превышает указанные тарифы в период выплаты кредита, в то время как тарифы надстройки с ГПА ниже указанных тарифов и в этот период. Установлено, что все недостатки проекта с ГТУ связаны с высокой стоимостью ГТУ «УРАЛ - 2500» и котла-утилизатора.

Составляющие себестоимости тарифов ГПА приведены на рис. 1. Наибольшей составляющей себестоимости продукции (46,1%) в ГПА, как и в обычных энергетических объектах является затраты на топливо. Следующей по величине составляющей себестоимости являются эксплуатационные и ремонтные затраты (19,8%). Третьей по величине составляющей себестоимости являются затраты на заработную плату (14,3 %). На четвертом месте непредвиденные расходы (5,3%). На пятом месте - затраты на вы-

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВС В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

плату процентов (1,8%), и наконец, налог на дороги – 1,3%. Анализ составляющих себестоимости продукции надстройки ГПА показывает традиционное для существующих

энергетических объектов распределение составляющих себестоимости. Это свидетельствует об относительно низкой удельной стоимости надстройки ГПА.



Рис. 1. Составляющие себестоимости продукции ГПА



Рис. 2. Составляющие тарифа продукции ГПА

На рис. 2 представлены составляющие тарифа на тепловую и электрическую энергию надстройки с ГПА. Составляющая «себестоимость» уже 79,6 %, что соответствует традиционным энергетическим объектам. Выплата процентов по кредиту составляет 12,4 %, а связанная с ней составляющая «налоги» (через налоги на имущество) – 6,8 %.

На рис. 3. приведены тарифы регионального поставщика электрической энергии, ФОРЭМ, мини-ТЭЦ ГПА и ее себестоимость. Увеличение тарифа ГПА в первые 5 лет связано с возвращением кредита, всплески в другие годы связаны с капитальными ремонтами.

Тарифы на электроэнергию МИНИ-ТЭЦ ГПА для «Алтайавтодор», руб/кВт

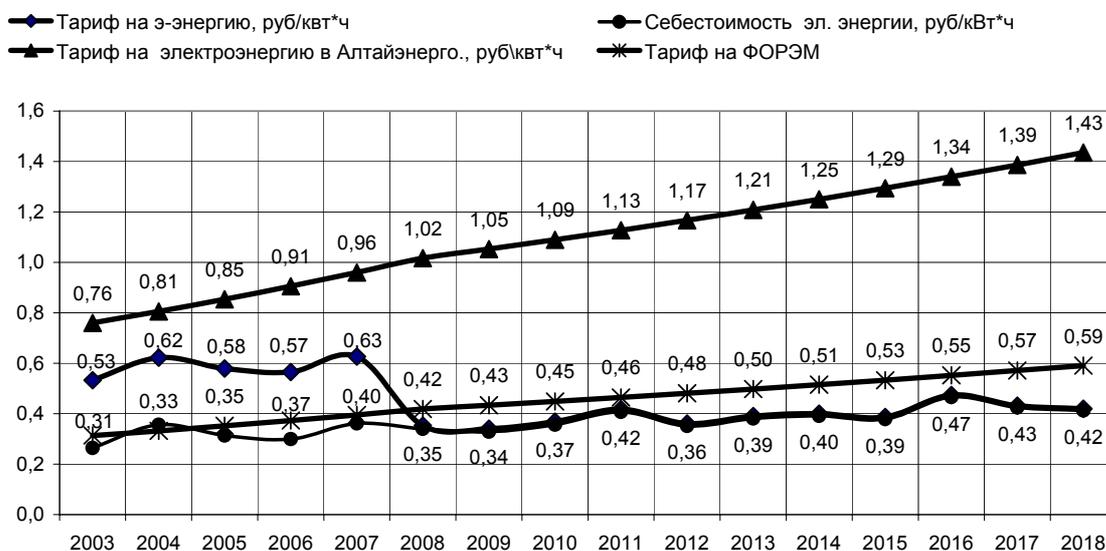


Рис. 3. Тарифы на электрическую энергию

Сопоставление составляющих себестоимости и тарифа продукции ГТУ малой мощности и ГПА проведено в таблице 2. Амортизационные отчисления в составляющих себестоимости продукции ГТУ малой мощности в три раза превышают таковые ГПА, а выплаты процента кредита в 2,8 раза.

Затраты на газ, наоборот, в 0,6 раза меньше чем у ГПА. Это связано с высокой стоимостью ГТУ и большой долей вырабатываемого тепла. Эксплуатационные и ремонтные затраты, так же как и непредвиденные расходы, в сравниваемых вариантах примерно одинаковы, их соотношение 1,1.

Таблица 2. Сопоставление составляющих себестоимости, %

Составляющие себестоимости	Вариант ГТУ	Вариант ГПА	Соотношение ГТУ/ГПА
Амортизационные отчисления	33,8	11,4	3
Затраты на зарплату	5,3	14,3	0,4
Затраты на газ	26	46,1	0,6
Эксплуатационные и ремонтные затраты	22,1	19,8	1,1
Непредвиденные расходы	5,9	5,3	1,1
Налог на дороги	1,7	1,3	1,3
Выплаты процентов кредита	5,2	1,8	2,8

Таким образом, сопоставление вариантов выявило преимущество надстройки котельной ГУП «АЛТАЙАВТОДОР» мини-ТЭЦ на базе ГПА перед вариантом с ГТУ малой мощности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бордуков В.Т., Левин М.И. Отечественное дизелестроение и проблемы малой энергетики // Двигателестроение, 1997, № 4. – С. 3-4.
2. Кривов В.Г., Агафонов А.Н., Предложения по созданию комбинированных малых теплоэлектростанций на базе поршневых и газотурбинных

двигателей с утилизацией теплоты // Двигателестроение, 1998, № 2. – С. 3-5.

3. Андрющенко А.И. Методика термодинамического анализа циклов мини-ТЭЦ с поршневыми двигателями // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений) – 1992. - № 11-12. – С. 64-71.

4. Антошкин А.С. Применение мини-ТЭЦ для резервного и основного тепло- и электроснабжения // Двигателестроение, 1998, № 4. – С. 10-12.

5. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.