

УДК 628.475.4/.4.02

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Леканова Т.Л., Андронов А.В.

*Сыктывкарский лесной институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» (СЛИ),
Сыктывкар, e-mail: gregertamara@yandex.ru*

В статье рассмотрена возможность перевода дизельной электростанции для работы на отходах деревообрабатывающих производств. Данная концепция разрабатывается для южных районов Республики Коми – это связано с отсутствием в данном районе энергоисточников общего пользования и дефицитом тепловой и электрической энергии, внедрение данных рекомендаций на практике позволит обеспечить электроэнергией отдаленные труднодоступные районы, решить проблему со скоплением отходов деревообработки, повысить надежность и качество электроснабжения, снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с использованием дизтоплива и, как следствие, уменьшить количество газов анаэробного разложения. Предложены два варианта перевода электроснабжения малых поселений на биотопливо, рассчитаны технологические и экономические параметры, рассмотрены и проанализированы положительные и отрицательные стороны каждого предложенного варианта, сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: дизельная электростанция, энергоноситель, модернизация, газификация, инвестиции, экономика, качество, надежность, газы анаэробного разложения

PRACTICAL RECOMMENDATIONS ON THE USE OF WOOD WASTE FOR ELECTRICITY PRODUCTION

Lekanova T.L., Andronov A.V.

Syktvykar Forest Institute, Syktvykar, e-mail: gregertamara@yandex.ru

The article considers the possibility of transferring a diesel power plant for work on waste from woodworking industries. This concept is being developed for the southern regions of the Komi Republic. This is due to the lack of public energy sources in the given area, and the shortage of thermal and electric energy, the introduction of these recommendations in practice will enable the provision of electricity to remote hard-to-reach areas, solve the problem with the accumulation of woodworking waste, improve reliability and quality Electricity, reduce emissions of pollutants into the atmosphere compared with the use of diesel fuel and, as a result, reduce the number Gas of anaerobic decomposition. Two options for converting electricity from small settlements to biofuels are proposed, technological and economic parameters are calculated, positive and negative sides of each proposed option are considered and analyzed

Keywords: diesel power station, energy carrier, modernization, gasification, investment, economy, quality, reliability, anaerobic decomposition gases

В Республике Коми основную долю производства электроэнергии (97%) осуществляют шесть электростанций общего пользования, остальные электростанции небольшой мощности вырабатывают 3% электроэнергии. Энергосистема Республики Коми состоит из пяти энергорайонов: Воркутинского, Интинского, Печорского, Ухтинского и Южного, соединенных системообразующими ВЛ 220 кВ протяженностью 930 км [1]. В структуре топливного баланса электростанций, расположенных на территории Республики Коми, наибольший удельный вес составляет газ – 70%. Остальные доли – это уголь 15%, черный шелок и древесные отходы – 13%, мазут – 2%, дизельное топливо – 0,2%.

В Южном энергорайоне отсутствуют энергосистемы энергоисточников общего пользования и существует дефицит тепловой и электрической энергии. Из-за значительной протяженности территории с се-

вера на юг стоимость энергоносителей для южных районов возрастает в 1,5–3,2 раза. При этом основной вид деятельности сел и поселков южных районов Республики Коми сосредоточен в лесопромышленном производстве – лесозаготовке и деревообработке, обеспечивающих достаточными ресурсами древесной биомассы, которая может быть использована в энергетических целях. Потенциал возможного освоения местных топливных ресурсов (дрова, отходы лесозаготовки, биогаз) и возобновляемые источники энергии (гидро- и ветроэнергетика) в Республике Коми оцениваются в 650 тыс. т.у.т. в год. Современный уровень использования – менее половины. Для развития малой энергетики в центральных и южных районах Республики Коми есть большой потенциал неиспользуемого древесного биотоплива в виде отходов лесозаготовок. Стационарные дизельные электрические установки (ДЭС), находящиеся

на балансе ООО «Республиканская Генерирующая Компания», находятся в восьми административных районах. Общая мощность дизельных электростанций ООО «Республиканская генерирующая компания» составляет 16 626 кВт [2].

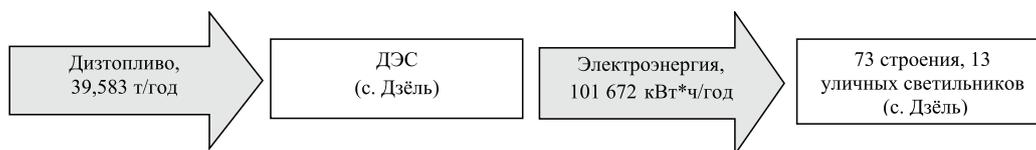
Все ДЭС расположены в удаленной труднодоступной сельской местности и предназначены для выработки электрической энергии. Очистка выхлопных газов не производится вследствие ее дороговизны, а также из-за бесперспективного развития близлежащих деревень и поселков.

Целью проекта является разработка технико-экономического обоснования по модернизации системы электроснабжения в селе Дзель МР «Усть-Куломский». Село Дзель расположено в Усть-Куломском муниципальном районе Республики Коми. Село входит в зону децентрализованного электроснабжения: выработка электроэнергии в настоящее время осуществляется от дизельной электростанции (ДЭС).

Полезный отпуск электроэнергии ДЭС Усть-Куломского района составил в 2016 г.: от ДЭС «Дзель» – 101 673 кВт-час в год, от ДЭС «Габово» – 7 969 кВт-час в год и от ДЭС «Канавы» – 3 692 кВт-час в год.

В Усть-Куломском районе выбросы загрязняющих веществ от ДЭС в 2016 г. составили: диоксида азота NO_2 – 1,505 т/год, оксида углерода CO – 1,535 т/год, сажи – 0,124 т/год.

Дизельная электростанция «Дзель» обеспечивает электроэнергией с. Дзель с общей численностью населения около 270 человек, 73 хозяйства. Незначительная мощность ДЭС позволяет обеспечивать лишь минимальную бытовую нагрузку населения. Для выработки электроэнергии используется дизельное топливо.



Электроснабжение с. Дзель (текущая ситуация)

Общее электропотребление с. Дзель составляет 101 672 кВт-ч/год. Электроэнергия поселка расходуется на освещение дорог, территории сельского поселения, освещение школы и других жилых помещений. Существующая схема электроснабжения представлена на рисунке.

Для модернизации системы электроснабжения с. Дзель рассмотрено 2 варианта перевода электроснабжения на биотопливо.

Вариант 1: Использование микротурбины с термомасляным модулем. Установка включает термомасляный нагреватель, микротурбину на органическом цикле Ренкина (ОРЦ) в ОРЦ-процессе рабочая среда – вода заменяется силиконовым маслом. Биомасса (древесные отходы) сжигаются в термомасляном котле. Затем вырабатываемое тепло подается через экономайзер в масляный цикл (термомасло), которое испаряет органическую рабочую жидкость в испарителе, работающем на термомасле. Испаренная рабочая жидкость вращает микротурбину Capstone WHG 50 [3], соединенную с генератором. Выполнив работу в электросиловом блоке, рабочая жидкость все еще содержит большое количество тепла, часть которого передается жидкой фазе в экономайзере для повышения эффективности работы системы в целом. Рабочая жидкость в парообразном состоянии попадает в охладитель, где конденсируется в жидкость, после чего стекает в ресивер для повторного использования в цикле. В качестве рабочего тела в микротурбине могут использоваться пропан, пентан, толуол или R245fa (пентафторпропан, $t_{\text{кип}} = 15,4^\circ\text{C}$). Использование данных жидкостей в качестве рабочего тела в ОРЦ-цикле возможно благодаря низкой температуре кипения. Микротурбинные электростанции Capstone WHG 50 одинаково эффективно работают как на чистом природном газе, так и на нестандартных видах топлива – биогазе, пиролизном, сжиженном газе. Инвестиционные затраты по проекту включают в себя основные элементы, представленные в табл. 1.

Вариант 2: Поршневой двигатель внутреннего сгорания с газификационной установкой. В основе проекта лежит установка модульной мини-ТЭЦ малой мощности при использовании технологии

газификации древесных отходов с использованием генераторного газа в двигателе внутреннего сгорания. Установка газификации древесины НКW50 [4] для выработки 50 кВт электро- и 110 кВт тепловой энергии состоит из двух модулей: газификационного модуля с присоединительным фланцем диаметром 200 мм и блочной теплоэлектроцентрали с поршневым двигателем внутреннего сгорания и электрогенератором

ВНКW50. Блочная ТЭЦ НКW представляет комплекс с многоступенчатой газификацией. Отдельные этапы процесса технически разделены друг от друга, для того чтобы избирательно влиять на условия каждого этапа газификации. При этом обеспечивается высокое качество получаемого газа при использовании в качестве древесного топлива щепы. Электрическая энергия, отпускаемая от блочной ТЭЦ, будет поступать через существующие разводящие электрические сети электростанции. Газификация щепы протекает в 3 стадии. Сначала в нагретом шнеке происходит сушка и пиролиз древесины на газ и уголь. Дальнейшее преобразование газа продолжается в двух зонах реактора, примыкающего к шнеку. В зоне окисления к газу подается воздух, при этом газ и содержащаяся в нем смола сгорают с образованием диоксида углерода и воды. Затем газ попадает в зону восстановления, где при пониженной температуре проходит сквозь слой раскаленного угля, полученного при пиролизе. В результате этого газ восстанавливается, а уголь окисляется до монооксида углерода. Таким образом, получается газовая смесь из монооксида углерода, метана и водяного пара. При этом на фильтре оседает угольная пыль, содержащаяся в смеси. И наконец, в блочной станции из газа вырабатывается электричество и тепло. Зола скапливается на дне реактора и затем выгружается. Управлять процессом можно, изменяя температуру шнека и характеристики подаваемого воздуха. Топливом служит щепа длиной 30–50 мм с влажностью до 30%. Инвестиционные затраты по проекту по варианту

2 включают в себя основные элементы, представленные в табл. 2.

Сравнительные характеристики мини-ТЭЦ, работающих на биотопливе, представлены в табл. 3. Согласно проведенному анализу, предпочтительным признан вариант 2.

Газификационная установка с поршневым двигателем внутреннего сгорания (НКW50), обеспечивает установленную электрическую мощность – 50 кВт, имеет высокий КПД 94,6% по сравнению с микротурбинным модулем, низкий расход биотоплива (щепы) за счет конструктивных особенностей – 1 кг/кВт электрической энергии, небольшие габаритные размеры контейнера 9,5 x 3 x 2,8 м, что немаловажно при размещении на территории действующей дизельной электростанции. Производителем является ООО «Липро энерги», г. Худе, Германия.

Основными преимуществами оборудования ООО «Липро энерги» являются:

1) защита готового газа от попадания смол (после пиролиза сложные углеводородные молекулы, окисляясь, крекируются из газа при температуре 1050 °С, уголь в это время продвигается дальше в зону восстановления). Попадание смолы в газ потребовало бы в дальнейшем дорогостоящей очистки двигателя внутреннего сгорания;

2) низкое количество образующей золы, благодаря постоянному поддержанию низкой температуры процесса газификации в результате разделения процессов окисления и восстановления;

3) удаление посторонних материалов, которые проваливаются через решетку газификатора.

Таблица 1

Инвестиционные затраты по варианту 1

№ п/п	Наименование	Тип	Стоимость, руб.
1	Разработка проектно-сметной документации	РП.50ТЭЦ	500 000
2	Установка термомасляная (на биомассе)	УМТ.350Е	3 000 000
3	Технологическое оборудование ТЭЦ	ТКО.350Е	1 500 000
4	Оборудование выработки электричества и тепловой энергии	Capstone WHG 50	35 000 000
Итого:			40 000 000

Таблица 2

Инвестиционные затраты по варианту 2

№ п/п	Наименование	Тип	Стоимость, руб.
1	Газификационный модуль 200	НКW50	9 500 000
2	Блочная теплоэлектроцентраль ВНКW50	ВНКW50	3 500 000
3	Вспомогательное оборудование (контейнер, мобильная сушилка)		2 000 000
Итого			15 000 000

Таблица 3

Сравнительные характеристики мини-ТЭЦ

Показатели, характеристики	УМТ 250 Е; Capstone WHG 50	НКW50; ВНКW 50
Котельный модуль		
Теплопроизводительность, кВт	250	110
Расчетная теплотворность топлива, ккал	2 600	2 600
КПД (при номинальной мощности), %	84	87
Макс. рабочее давление, не более, кг/см ²	4,0	8,0
Рабочее тело	Пар органических жидкостей	Газ
Температура рабочего тела, вход/выход, °С	302/242	1100
Макс. расход топлива (отн. влажн. $\omega = 8-30\%$), кг/ч	187 – 262	50
Электрогенерационный модуль		
Электрическая мощность (вырабатываемая), кВт/ч	50	50
Теплопроизводительность, кВт	266	110
Температура теплоносителя (вода), вход/выход, °С	70/90	75/90
Электрогенератор	50 Hz, 400 V	50Hz, 400 V
Общая электрическая эффективность, %	19,3	94,6
Электрическая мощность (выдаваемая в сеть), кВт	61	50

Основным сырьем блочной ТЭЦ котельной будет являться щепа влажностью до 15%. Теплотворная способность древесного топлива мало зависит от породы дерева, но зависит от влажности [5–7]. Резервное топливо – топливные гранулы и брикеты. В процессе брикетирования древесных отходов происходит увеличение плотности топливного брикета и уменьшение влажности до 10%.

Необходимое количество топлива (щепа) – 101,672 т/год. Биотопливо (щепу) планируется доставлять на площадку котельной автомобильным транспортом от местных лесопильных предприятий. С поставщиками проводились предварительные согласования на поставку топлива. Резервным топливом котельной являются топливные гранулы и брикеты.

Экономические расчеты

Вариант 1. Перевод электростанции с дизтоплива на древесные отходы при использовании микротурбины в паре с термомасляным модулем. Чистая годовая экономия после реализации проекта при переводе электростанции с дизтоплива на древесные отходы при использовании микротурбины в паре с термомасляным модулем составит 1 394 697 руб/год (табл. 4).

Вариант 2. Перевод электростанции с дизтоплива на топливную щепу при использовании поршневого двигателя внутреннего сгорания с газификационной установкой. Чистая годовая экономия после реализации проекта при переводе электростанции с дизтоплива на топливную щепу

при использовании газификационной установки составит 1 609 435 руб/год (табл. 5).

Из рассмотренных вариантов предпочтительным является Вариант 2: Поршневой двигатель внутреннего сгорания с газификационной установкой, которая имеет наибольшую экономию в год – 1 609 435 руб. Показатели рентабельности проекта представлены в табл. 6.

Оптимальным признан Вариант 2: при более низких инвестиционных затратах он имеет по сравнению с вариантом 1 большую годовую экономию, более короткий срок окупаемости и более высокую доходность. Вариант 2 будет использован для дальнейших расчетов.

Экологическое обоснование

После реализации проекта негативное воздействие на окружающую среду снизится за счет уменьшения вредных выбросов электростанции при переходе от сжигания дизтоплива на сжигание щепы. Сокращение потребления дизтоплива составит 39,583 т/год, увеличение потребления электроэнергии 4 604 кВт-ч/год, а сокращение количества древесных отходов (106 276 кг/год), размещаемых на свалках.

Расчет уровня выбросов от ДЭС проводили согласно национальному стандарту для расчета выбросов от стационарных дизельных установок [8]. Существующее количество образования NO_2 от сжигания дизтоплива составляет 1,067 т/год. Важной особенностью древесной биомассы, как топлива, является отсутствие в ней серы и незначительное содержание внутренней

золы – не более 1%. Образование NO₂ от сжигания древесных отходов после реализации проекта составит 0,0271 т/год, что почти в 40 раз меньше, чем при сжигании

дизтоплива по текущей ситуации. Реализация проекта приведет к снижению вредных выбросов – оксидов азота, оксидов серы и формальдегида в атмосферу (табл. 7).

Таблица 4

Чистая годовая экономия при переводе электростанции с дизтоплива на опилки при использовании микротурбины в паре с термомасляным модулем (вариант 1)

Элементы экономии	Текущая ситуация		После внедрения мероприятия		Чистая экономия	
	Кол-во	руб./год	Кол-во	руб./год	Кол-во	руб./год
Топливо (дизтопливо), кг	39 583	1 885 823	0	0	39 583	1 885 823
Топливо (опилки), кг			101 672	35 585		– 35 585
Дизельное масло, кг	350,5	87 500	0	0	350,5	87 500
Термомасло АМТ-300			7 000	330 000		– 330 000
Фреон R245fa (пентафторпропан)			50	75 000		– 75 000
Вода для охлаждения			20 33	69 952	20 33	– 69 952
Электроэнергия, кВт-ч	7 187	106 572	11 791	174 861	4 604	– 68 289
Плата за НВОС, т	1,597	300	0,623	100	0,974	200
Зарплата персонала, чел.	5	1 812 000	5	1 812 000	–	0
Общая чистая экономия						1 394 697

Таблица 5

Чистая годовая экономия при переводе электростанции с дизтоплива на топливную щепу при использовании газификационной установки (вариант 2)

Элементы экономии	Текущая ситуация		После внедрения мероприятия		Чистая экономия	
	Кол-во	руб./год	Кол-во	руб./год	Кол-во	руб./год
Топливо (дизтопливо), кг	39 583	1 885 823	0	0	39 583	1 885 823
Топливо (щепа), кг			101 672	305 016		– 305 016
Дизельное масло, кг	350,5	87 500	0	0	350,5	87 500
Электроэнергия, кВт-ч	7 187	106 572	8 671	128 577	1 484	– 22 005
Вода, м ³			1 071	37 067	–	– 37 067
Плата за НВОС, т	1,597	300	0,623	100		200
Зарплата персонала, чел.	5	1 812 000	5	1 812 000		0
Общая чистая экономия						1 609 435

Таблица 6

Рентабельность проекта по варианту 2

Показатель	Вариант 2
Итого, инвестиции, руб.	15 000 000
Чистая экономия, руб./год	1 609 435
Окупаемость, лет	8,46

Таблица 7

Снижение вредных выбросов (т/год)

	NO	NO ₂	CO	SO ₂	Сажа	Б(а)п	Формальдегид
Существующий уровень выбросов, т	0,175	1,067	0,936	0,131	0,098	0,0000017	0,0217
Выбросы после реализации мер, т	0,00042	0,0271	3,153	0	0,237	0,0000027	0
Итого, снижение выбросов, т	0,17458	1,0399	–2,214	0,131	–0,139	–0,000001	0,0217

Данные табл. 7 рассчитаны на основе: сокращения потребления дизтоплива (39,583 т/год), а также увеличения потребления электроэнергии (4,604 тонн щепы в год) и сокращения количества древесных отходов, размещаемых на свалках (106 276 кг/год). Реализация проекта приведет к сокращению выбросов парниковых газов от сжигания ископаемого топлива и анаэробного разложения древесных отходов на свалках. Анаэробное разложение древесных отходов на свалках сопровождается выделением CH_4 . Уменьшение количества выбросов метана составит 9,77 т/год.

Реализация проекта позволит:

- повысить качество и надежность электроснабжения с. Дзель;
- сократить количество древесных отходов (101,672 т/год), вывозимых на свалки;
- сократить выбросы метана (9,77 т/год) при гниении древесных отходов на свалках;
- сократить потребление дизтоплива (39,583 т/год) на дизельной электростанции с. Дзель;
- сократить финансовые издержки на содержание электростанции;
- снизить негативное воздействие на окружающую среду (не будет выбросов SO_2 и формальдегидов);
- сократить выбросы парниковых газов (ПГ).

Список литературы

1. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Коми на 2016–2021 годы [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Респ. Коми от 29.04. 2016 г. № 189-р // СПС «КонсультантПлюс» Режим доступа: <http://minprom.rkomi.ru/content/14827/> (дата обращения: 10.04.17).
2. ООО «Республиканская Генерирующая Компания» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://komirgk.ru/new/> (дата обращения: 30.03.17).
3. БПЦ Инжиниринг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bpcenergy.ru/about/on-the-boc-engineering/> (дата обращения: 01.04.17).
4. ООО «Lipro energy» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lipro-energy.de/de/> (дата обращения: 04.04.17).
5. Брик М.И. Технологическая щепа [Текст] / М.И. Брик, Б.А. Васильев. – М.: Лесная пром-ть, 1975. – 208 с.
6. Обоснование эффективности внедрения энергосберегающих технологий в индивидуальной системе теплоснабжения [Электронный ресурс] / А.В. Андронов, Т.Л. Леканова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. Режим доступа: www.science-education.ru/120-15630 (дата обращения: 10.03.17).
7. Повышение эффективности работы теплогенератора для малозатратного получения тепловой энергии [Электронный ресурс] / А.В. Андронов, Т.Л. Леканова // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Eastern European Scientific Journal) – Warsaw, Poland – Publisher: East European Research Alliance. – 2015. – № 1. – С. 5–9. Режим доступа: <http://eesa-journal.com/files/Arhiv/Journal1/articles.pdf> (дата обращения: 10.04.17).
8. ГОСТ Р 56163-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от стационарных дизельных установок [Электронный ресурс]. – Введ. 2014-10-14. – М.: Стандартинформ, 2014. – С. 2–3 (дата обращения: 05.04.17).