

разработано новое решение, позволяющее использовать гибридные технологии сетей RSTP, PRP и HSR. Таким решением является объединение сети на базе RSTP и сети на базе PRP/HSR с помощью коммутаторов, обеспечивающих преобразование между протоколами RSTP и PRP/HSR.

Объединение принципов резервирования на базе HSR и RSTP могут привести к отказу сети из-за «широковещательного шторма».

3. Возможности самих устройств РЗА. У каждого производителя устройств РЗА, работающих с SV потоками и Goose сообщениями, есть свои уникальные функции по резервированию. Например, терминалы РЗА от «General Electric» используют BRICK (технология HardFiber) [2].

Технология HardFiber позволяет подключить к устройству сопряжения Brick при помощи оптического кабеля до четырех терминалов РЗА. Это принципиальное отличие от философии использования шины процесса. Компания «General Electric» данным решением не использует «общую точку», в которой собирается вся информация о процессах, происходящих на энергообъекте.

Таким образом, наибольшей надежности устройств РЗА можно достигнуть при использовании коммутаторов с возможностью применения протоколов STP/RSTP, обладающих совместимостью с протоколами резервирования данных типа HSR/PRP. По возможности также желательно использовать функции резервирования самих устройств РЗА, если таковые имеются.

Литература

1. jha-tech.com. – URL: <https://clck.ru/3Ksymh> (дата обращения: 06.04.2025).
2. gevernova.com / Multilin HardFiber System. – URL: <https://clck.ru/3Ksz27> (дата обращения: 06.04.2025).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРЩЕВИКА

Ю. В. Булыгин, П. Д. Алексеев

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Архангельск, Российская Федерация*

Научный руководитель В. К. Любов

Исследован потенциал применения борщевика Сосновского как альтернативного источника топлива. На примере этого инвазивного растения рассмотрены возможности энергетического использования подобных видов флоры. Приведен комплексный анализ борщевика: определение теплотворной способности борщевика, его элементного состава, а также элементного состава его золы. Отдельное внимание уделено практическому аспекту: представлены различные технологические решения для эффективного сжигания данного биоматериала.

Ключевые слова: биомасса, борщевик Сосновского, энергетическое использование, теплотехнические характеристики, твердое топливо, элементный состав.

В эпоху глобальных экологических вызовов человечество активно ищет новые пути получения энергии. Традиционные источники – нефть, природный газ и уголь – не только приближаются к истощению, но и наносят существенный вред экосистеме планеты. Эта ситуация диктует острую необходимость в разработке экологически безопасных и возобновляемых энергоресурсов.

Особое внимание ученых привлекает биоэнергетический потенциал растений, в частности, инвазивных и сорных видов. Использование такой флоры в энергетических целях открывает двойную выгоду: с одной стороны, это способствует рацио-

нальному природопользованию и сохранению лесных массивов, с другой – помогает решить проблему распространения нежелательных растительных видов.

Проблема распространения борщевика Сосновского стала актуальной в России и некоторых других странах в конце XX в. Эта культура, завезенная с Кавказа в качестве кормового растения, продемонстрировала высокую агрессивность и способность к быстрому распространению. Сегодня эта проблема затрагивает большинство регионов России – лишь 16 субъектов Федерации не сталкиваются с данной угрозой. Данная проблема также актуальна и для республики Беларусь.

Научные исследования открыли несколько перспективных направлений использования борщевика. Ученые изучали возможности получения из него технической целлюлозы, его применение как добавки к бетону и производства теплоизоляционных материалов на основе модифицированных стеблей растения.

Еще одним потенциальным направлением использования борщевика может быть изготовление топливных гранул. Для исследования теплотехнических характеристик борщевика Сосновского были собраны образцы данного растения (место сбора – г. Архангельск), включающие различные части: стебли, листья, соцветия и плоды (семена). После естественной сушки до атмосферно-сухого состояния и измельчения образцы прошли комплексное исследование, включающее анализ теплотехнических характеристик биотоплива, определение элементного состава самого растения и образующейся при его сжигании золы.

Исследования показали, что борщевик отлично поддается измельчению в ножевой дробилке после естественной сушки. Анализ полученных данных, приведенных в табл. 1, демонстрирует, что эта растительная масса обладает характеристиками качественного топлива: невысокой зольностью, более высоким содержанием водорода и серы чем у древесных пород, низшая удельная теплота сгорания на горючую массу несколько меньше, чем у древесины тополя [1]. Согласно треугольнику Таннера, представленному на рис. 1, биомасса Борщевика может поддерживать автогенное горение.

Таблица 1

Теплотехнические характеристики биомассы борщевика Сосновского

Величина	Единица измерения	Аналитическая масса	Сухая масса	Горючая масса
Влажность аналитическая	%	21,93	–	–
Зольность	%	6,01	7,70	–
Теплота сгорания низшая	МДж/кг	13,002	–	18,809
Теплота сгорания высшая	МДж/кг	–	–	20,598
Сера общая	%	0,04	0,05	0,06
Водород	%	5,69	7,29	7,90
Выход летучих веществ	%	56,45	72,31	78,34
Коксовый остаток	–	Порошкообразный		
Эквивалент	–	0,443		

Таблица 2

Результаты исследований элементного состава борщевика и его золы

Показатели	Борщевик, %	Показатели	Зола борщевика, %
S	0,052	SO ₃	1,02
Fe	0,032	Fe ₂ O ₃	1,08
K	0,834	K ₂ O	6,51
Ca	1,38	CaO	49,2
Cu	0,003	CuO	0,025
Si	0,133	SiO ₂	4,29
Na	0,567	Na ₂ O	3,26
Mg	0,257	MgO	9,32
Al	0,079	Al ₂ O ₃	1,27
Cr	0,001	Cr ₂ O ₃	0,013
Mn	0,003	MnO	0,061
Zn	0,005	ZnO	0,112
Sr	0,004	SrO	0,069
Cl	0,639	Cl	1,03
Ti	0,006	TiO ₂	0,168
O	45,3	O	20,0
N	1,09	N	<0,1
C	42,2	C	2,09
H	7,29	H	0,167

В соответствии с рекомендациями [2] топлива с содержанием в золе CaO более 13,0 % относятся к сильно загрязняющим. Анализ результатов исследования элементного состава золы борщевика показал, что содержание CaO = 49,2 % более чем в 3 раза превышает пороговое значение. Содержание окислов щелочных металлов, которые имеют температуру испарения 800–1000 °С и вызывают образование прочных отложений на элементах топочных камер котлов, в исследованной золе составило Na₂O + K₂O = 9,77 %, что более чем в 3 раза превышает предельные значения. Полученные результаты позволяют прогнозировать высокие загрязняющие свойства очаговых остатков, которые будут образовываться при сжигании борщевика Сосновского. Необходима разработка мероприятий, снижающих образование отложений на конвективных поверхностях нагрева.

При сжигании сухих растительных отходов возникают затруднения, они имеют интенсивный вынос из топки легких горящих частиц. Главная задача состоит в удержании мелких частиц. Наиболее эффективно данную задачу решают циклонные и вихревые топки. Для снижения шлакования котлоагрегатов и увеличения времени между периодами их чистки самое лучшее применение показали низкотемпературные вихревые топки.

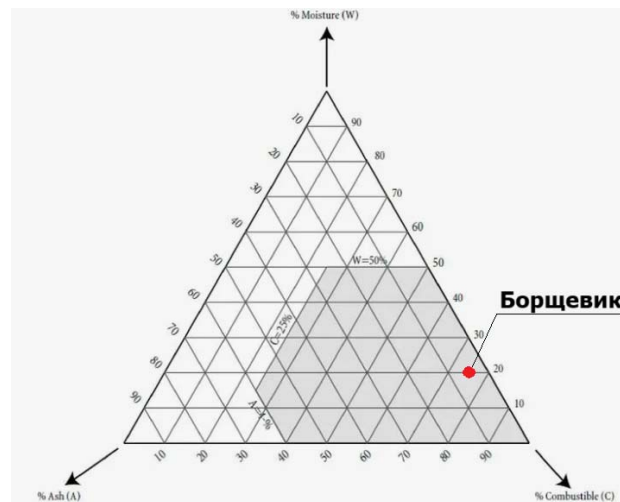


Рис. 1. Треугольник Таннера

Повышение энергетических свойств биомассы борщевика Сосновского можно получить за счет его гранулирования. В данном случае наиболее целесообразно его сжигание в котлоагрегатах со стационарным и циркулирующим кипящим слоем [4] или котлоагрегатах, оборудованных адиабатическими топками с наклонно-переталкивающими решетками.

Еще одним путем энергетического использования борщевика Сосновского является его сжигание в смеси с топливной щепой или кородревесным топливом. Однако оптимальное соотношение между компонентами данных топливных смесей должно быть определено в процессе промышленно-эксплуатационных испытаний.

Литература

1. Любов, В. К. Оценка энергетического и экологического потенциала использования щепы тополя и ольхи серой / В. К. Любов, А. Н. Попов, П. Д. Алексеев // Альтернативная энергетика и экология. – 2024. – № 4 (421). – С. 54–67.
2. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). – URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/j/JANKOVSKY/education/Нормы.pdf>.
3. Щуренко, В. П. Разработка вихревых низкотемпературных топок и технологических схем огневой утилизации растительных отходов : дис. ... кан. техн. наук : 01.04.14 / Щуренко Валерий Петрович ; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Бийск, 2004. – 147 с.
4. Головков, С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденов. – М. : Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ОДНОСТОРОННЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

М. С. Манюкевич

*Учреждение образования Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Научные руководители: С. Г. Жуковец, Т. В. Алферова

Рассмотрен метод одностороннего определения мест повреждения воздушных линий электропередач с использованием процедуры восстановления напряжения при повреждениях измерительных цепей. Предложенный подход основан на анализе параметров аварийного режима и времени распространения бегущей волны, а также на восстановлении осцилло-