

20. Расчет пылеуловителей: в 3 ч. – Ч. 1. Расчет циклонов и рукавных фильтров / А. Е. Замураев, В. Б. Пономарев. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. – 50 с.

21. Кузьмич, В. В. Снижение энергетических и экономических затрат при использовании циклонов НИИОГАЗ / В. В. Кузьмич, Д. И. Мисюля, В. А. Марков // Энергоэффективность. – 2011. – № 2. – С. 14–16.

22. Лисиенко, В. Г. Хрестоматия энергосбережения: справ. изд-е: в 2 т. / В. Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков, М. Г. Ладыгичев; под ред. В. Г. Лисиенко. – М.: Теплотехник, 2005. – Т. 2.

23. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. – Ярославль, 1970. – 96 с.

24. Ананьев, В. А. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика / В. А. Ананьев, Л. Н. Балуева, В. П. Мурашко. – М.: Евроклимат, изд-во «Арина», 2008. – 504 с.

25. Черкасский, В. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В. М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

26. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие / А. И. Еремкин [и др.]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.

27. Проектирование промышленной вентиляции: справ. / В. М. Торговников, В. Е. Табачкин, Е. М. Ефанов. – Киев: Будівельник, 1983. – 256 с.

Представлена кафедрой процессов  
и аппаратов химических производств

Поступила 07.07.2011

УДК 620.75

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ**

**Доктора техн. наук КАРПУНИН И. И., КУЗЬМИЧ В. В., инж. БАЛАБАНОВА Т. Ф.**

*Белорусский национальный технический университет*

В настоящее время актуальным вопросом промышленности является экономия энергетических ресурсов. Необходимо широкое внедрение альтернативных источников энергии, которое тормозится экономическими и социальными проблемами. Важное значение для воспроизводства энергии может найти использование отходов растительного сырья.

Беларусь располагает значительными сырьевыми ресурсами, остающимися после лесоразработки. При этом добыча топливных ресурсов в суммарном количестве составляет 15 млн т у. т. [1]. Отходы лесоразработок, местные природные ресурсы должны использоваться для обеспечения республики топливом. Этот резерв в энергетическом балансе страны позволит снизить зависимость от стран, поставляющих углеводородное сырье.

При разработке леса образуется значительное количество древесных отходов, которые не находят должного применения как дополнительный источник энергии. Это имеет особое значение, так как лес в отличие от нефти и природного газа – возобновляемое растительное сырье. Однако требуются многие десятилетия, прежде чем древесина достигнет спелого

возраста. К возобновляемым источникам сырья также относятся однолетние лубяные культуры [2–4]. Они позволят сберечь лес нашей планеты, так как возобновляются ежегодно.

Один из путей решения этой задачи – расширение сферы использования отхода первичной переработки льна – костры, которая является отходом первичной переработки на льнозаводах. Ежегодно выращивается около 140–150 тыс. т льняной соломы. При этом льнозаводы при переработке тресты не используют до 30–32 тыс. т образовавшейся костры. Она является источником пожарной опасности и экологического загрязнения. Костра массой в 1 кг при сжигании выделяет 3500–3800 ккал, что позволяет получать около 3 кВт·ч электроэнергии. Сжигание костры с 1 га посева заменит 6000–7000 кВт электроэнергии, что в стоимостном выражении составит 400 дол. США, причем пониженная влажность костры (до 14–17 %) повышает теплоту ее сгорания до 14–16,5 МДж/кг. Костра характеризуется большим выходом летучих веществ. По своему химическому составу она близка к дровам. При этом сжигаемое в энергетических установках топливо резко отличается по физико-химическим показателям, т. е. по составу органической массы, зольности, влажности и теплоте сгорания, а также другим свойствам. Для более эффективного использования костры следует получать из нее брикеты, что позволит сделать ее транспортируемой и повысить теплотворность при сжигании с целью получения энергии. На некоторых льнозаводах (например, на Поставском и Кореличском) такое производство налажено.

Важным показателем костры в качестве топлива для производства энергии является ее стоимость на предприятиях по первичной переработке льна: производство 1 т костры составляет 6–10 тыс. руб. Учитывая, что около 30–32 тыс. т костры не используется, это составит дополнительно 300–320 млн руб. После брикетирования костры с целью применения в качестве топлива ее стоимость – 50–60 руб. за 1 т. Следует разработать тепловые генераторы, которые способны сжигать ее без первичной подготовки. Полное сжигание костры позволит увеличить производство энергии, которую дополнительно можно использовать в упаковочном производстве.

Некоторые исследователи считают, что энергетически более выгодна биологическая конверсия растительной массы не в микробную биомассу, а этанол (биотопливо) [5, 6]. Имеются автомобильные двигатели, работающие на 95%-м этаноле. Несмотря на то, что производство спирта из микроорганизмов целлюлозосодержащего сырья более энергоемко, чем из глюкозо- и крахмалсодержащего сырья, в ряде стран это направление считают перспективным [7].

Известно [4], что треста с целью получения из нее волокна перед мятением подвергается сушке для достижения определенной влажности (8–12%). В результате костра после отделения волокна от тресты приобретает определенную влажность, повышающую теплоту ее сгорания, что важно для костры при ее сжигании и брикетировании. Сушка тресты – теплофизический процесс, при котором в результате термического воздействия происходит удаление влаги. Процесс сушки тресты (для отделения от ее волокна и костры на мьяльно-трепальном агрегате) сопровождается нарушением связи влаги с материалом, что значительно определяет характер его протекания. Поэтому для раскрытия механизма сушки необходимо знать не только свойства тресты и получаемой из него костры, но и формы связи влаги с сухим веществом.

Следует иметь в виду, что сушка влажной костры имеет не только теплофизический характер, но является также технологическим процессом,

изменяющим структурно-механические и тепловые свойства. В результате при сушке тресты (и содержащейся в ней костры) повышаются теплота сгорания и температура горения костры. Для сушки (термического обезвреживания) тресты в настоящее время на предприятиях первичной переработки льна и за рубежом используются сушилки нескольких типов [8].

Технология брикетирования костры заключается в ее прессовании в формах различной конфигурации при давлении под прессом. При этом давление может достигать до 1500 кг/см<sup>2</sup>. Проведенные исследования показывают, что прочность полученного брикета из костры льна является достаточной для его транспортирования, а его теплотворная способность составляет 3500–4000 ккал.

Изыскание путей обширного и целесообразного использования лесосечных отходов и костры льна для дополнительного получения энергии в настоящее время приобретает все большее значение в связи с удорожанием газа и нефти и мировым кризисом.

Весьма перспективна переработка лесосечных отходов путем их пиролизического разложения. В [3] имеются данные о сухой перегонке березовых и хвойных лесосечных отходов, которые показывают, что, с точки зрения выхода основных лесохимических продуктов, они служат полноценным сырьем для пиролизического разложения.

Наиболее перспективным способом использования неликвидной древесины, в том числе и лесосечных отходов, является их переработка для получения электроэнергии и пара, а также химических продуктов пиролиза. О количестве химикатов, получаемых при термоллизе отходов древесины в ретортах и газогенераторах, имеются некоторые данные [3]. Сравнительные данные о выходах продуктов, получаемых в процессе пиролиза ствольной древесины, веток, лесосечных отходов, противоречивы.

Полученные нами результаты показывают, что выход газа из отходов леса больше в сравнении с выходом из ствольной древесины: 96 и 76 л/кг соответственно. Понижение выходов летучих кислот и растворимой смолы из лесных отходов можно объяснить тем, что в них удельное количество коры больше, чем в ствольной древесине. Выход летучих кислот и растворимой смолы из хвойных пород лесосечных отходов больше, чем из лиственных, а из костры льна – 8,5 и 3,8 % соответственно. Это указывает на то, что костра льна может быть пригодна для производства ценных органических веществ, а также газа для отопления.

Получение газа из сухой щепы осуществляется в газогенераторе. При этом количество жидких продуктов, образующихся в газогенераторе при пиролизическом разложении сухой щепы (или опилок), следующее (табл. 1).

Таблица 1

Результаты термического разложения древесной щепы и опилок

Порода щепы и опилок	Выход от массы абсолютно сухой щепы и опилок, %			
	Всего смол (отстойной и нелетучей растворимой)		Всего уксусной кислоты	
	из щепы	из опилок	из щепы	из опилок
Хвойная древесина (ель, сосна)	12,5	14,2	4,5	6,0
Лиственная (береза, осина)	13,8	15,7	5,5	7,1

Из данных табл. 1 следует, что из опилок при пиролитическом разложении больше получается смолы и уксусной кислоты, чем из щепы. На выход смолы и уксусной кислоты при пиролизе щепы и опилок также влияет порода древесины.

Полученные нами результаты по пиролизу древесины и ее отходов также показывают, что выход газа из отходов леса больше, чем из стволовой древесины (95 и 82 л/кг на абс. сухое сырье соответственно), а из костры льна – 73 л/кг соответственно. Выход летучих кислот и растворимой смолы из древесины хвойных и лиственных пород больше, чем из лесосечных отходов. Понижение выходов летучей кислоты и растворимой смолы из отходов леса можно объяснить тем, что в них удельное количество коры в древесине больше, чем в стволовой. Однако, учитывая то, что лесосечные отходы в Республике Беларусь не находят должного использования, получение из них газа и использование их в качестве топлива имеет экономическое значение.

Экономический расчет показывает, что также целесообразно перерабатывать отходы леса лесозаготовительных предприятий и костру льна для получения газа, уксусной кислоты и смол, имеющих практическое значение. При этом выход смолы составляет 250–280 кг из 1 м<sup>3</sup> (плотного) газифицируемой древесины, а получаемый газ можно использовать для отопления помещений жилых домов.

## ВЫВОД

Полученные результаты по производству топлива из лесосечных отходов, костры льна показывают, что последние являются хорошим сырьем для производства тепловой энергии, что позволит уменьшить энергетическую зависимость Республики Беларусь от поставляемых из-за рубежа источников энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов, Б. А. Управление запасами торфяных брикетов / Б. А. Богатов, В. К. Мелешко, В. И. Зарембо // Торфяная промышленность. – 1984. – С. 24–27.
2. Карпунин, И. И. Перспективные технологии производства костровых и древесно-костровых плит / И. И. Карпунин, П. П. Казакевич. – Минск, 2005. – 72 с.
3. Карпунин, И. И. Влияние стадий роста и погодных условий года на переработку и химический состав льна / И. И. Карпунин, П. П. Казакевич. – Минск, 2007. – 75 с.
4. Цацка, Э. М. Березовые лесосечные отходы как сырье для термического разложения / Э. М. Цацка // Проблемы использования лесосечных отходов: труды ЛТА. – Л., 1955. – С. 97–102.
5. Бекер, М. Е. Трансформация продуктов фотосинтеза / М. Е. Бекер. – Рига, 1984. – 247 с.
6. Минкевич, И. П. Закономерности внутриклеточного материально энергетического баланса роста микроорганизмов / И. П. Минкевич, В. К. Ерошин // Успехи современной биологии. – 1976. – Т. 82, № 1. – С. 103–116.
7. Карпунин, И. И. Научно-технические основы ресурсосберегающих экологически состоятельных технологий переработки растительного целлюлозосодержащего сырья: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Минск, 2004. – 42 с.
8. Карпунин, И. И. О химическом составе льняной соломы и использовании отходов переработки льна / И. И. Карпунин, П. П. Казакевич, В. Н. Перевозников. – Минск, 2003. – 82 с.

Представлена кафедрой  
организации упаковочного производства

Поступила 11.02.2011