

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

УДК 674:658.567.1

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСНОГО ОПИЛА И ГРАНУЛ, ПРОПИТАННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

*Н.А. Филина, С.Я. Алибеков
г. Йошкар-Ола, МГТУ*

RESEARCH IN DEFINITION OF WOOD SAWDUST HEAT PICK OUT WHEN IT IS OIL RICH

*N.A. Filina, S.J. Alibekov
Yoschar-Ola, Mary State Technical University*

Предложена технология утилизации древесных отходов, пропитанных нефтепродуктами, изучен процесс горения на древесных гранулах и на опиле различных пород деревьев как чистых, так и пропитанных нефтепродуктами, рассчитана теплотворная способность этих образцов. Разработана математическая модель процесса горения древесных отходов как чистых, так и пропитанных нефтепродуктами в программной среде Curve Expert 1.3.

Ключевые слова: древесные отходы, сорбция, тепловая энергия, моделирование в Curve Expert 1.3.

We suggest the technology of recycling of oil rich wood waste. The process of combustion is studied on wood-particles of different tree species, both oil rich and oil free. Also the combustion warmth was calculated. On the in program Curve Expert 1.3 was made the mathematical model of oil rich and oil free hood scrap combustion process.

Keywords: wood saw, sorption, thermal energy, modelling in Curve Expert 1.3.

В настоящее время в качестве топлива в основном используются невозобновляемые энергоресурсы органического происхождения. В связи с энергетическим кризисом особое внимание уделяется вторичным альтернативным источникам энергии, в том числе биоресурсам и различным продуктам промышленной переработки.

В Марий Эл находятся крупнейшие деревообрабатывающие комбинаты Поволжья, где образуется большое количество древесных отходов, в том числе и опил, который можно использовать как вторичное сырье в виде брикетов для получения тепловой энергии [1, 2, 3].

Для эффективного процесса брикетирования опилок нужны связующие материалы, которыми могут быть нефть и нефтепродукты, попавшие в водные объекты. Опил, обладая высокой сорбционной способностью, способствует удержанию нефтепродуктов, что позволяет с меньшими усилиями спрессовывать опил в брикеты. Полученные брикеты по теплотворной способности и экологичности сгорания превосходят брикеты с другими связующими веществами.

Нами были проведены исследования по определению теплотворной способности опила и гранул, полученных из разных пород дерева, насыщенных нефтепродуктами.

Исследования проводились на базе ГУ СЭУ ФПС ИПЛ по РМЭ в г. Йошкар-Оле. Сжигание образцов древесных опилок и гранул проводили по ГОСТ 12.1.044-89 [4].

Были подготовлены опытные образцы березовых, сосновых опилок и древесных гранул, полученные на пилораме Марийской лесотехнической школы. Рассмотрены процессы горения как чистых опилок и гранул, так и пропитанных в течение 48 часов нефтепродуктами.

Исследования проводили на приборе ОТМ [4]. Для измерения температуры газообразных продуктов горения использовали термоэлектрический преобразователь с диаметром электродов 0,5 мм, рабочий спай которого располагали в центре зонда на расстоянии 15 мм от его верхней кромки. Регистрирующий температуру прибор потенциометр КСП-2 имел диапазон измерения от 0 до 600 °С, класс точности не ниже 0,5. Для кон-

троля массы образцов использовали аналитические лабораторные весы с наибольшим пределом взвешивания 500 г, погрешностью измерения не более 0,1 г.

Испытания проводили в мешочках из стеклоткани, сшитых металлическими скрепками, весом 4,1 г каждый. Мешочки заполняли как чистыми, так и загрязненными нефтепродуктами, березовыми, сосновыми опилками и гранулами с относительной влажностью 12 %. Вес готовых образцов составлял по 50 г каждый. Предварительно подготовленные образцы выдерживали в вентилируемом сушильном шкафу при температуре $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 24 часов, затем охлаждали до температуры окружающей среды, не вынимая их из шкафа. Образцы высушивали для более точного определения теплотворной способности, поскольку теплотворная способность увеличивается с уменьшением уровня влажности. Подготовленные образцы закрепили вертикально в держателе с помощью металлической проволоки.

Внутренняя поверхность реакционной камеры перед испытанием была покрыта двумя слоями алюминиевой фольги толщиной до 0,2 мм, которую по мере прогорания или загрязнения продуктами горения заменяли на новую.

Держатель с испытуемым образцом вводили в камеру за 5 с до начала испытания и выдерживали

до достижения максимальной температуры отходящих газообразных продуктов горения опилок, затем горелку выключали. Образец выдерживали в камере до полного остывания (20°C). Остывший образец извлекали из камеры и взвешивали, определяя зольный остаток.

Результаты измерений температуры отходящих газов чистого опила и древесных гранул, а также того же опила, но с нефтепродуктами представлены в табл. 1 и 2 и на рис. 1–5.

Данные измерения подвергали статистической обработке в программной среде Curve Expert 1.3. Доверительные интервалы и критерии Фишера S – сумма квадратов отклонений; r – коэффициент корреляции [5].

Особенности процессов горения опила, изучены ранее и рассмотрены в работах [6–8].

При температуре 200°C начинается плавление и конденсация ароматических ядер лигнина. При $180\text{--}300^\circ\text{C}$ происходит дегидратация целлюлозы с образованием несопряженных двойных связей и появление при 220°C ароматических и конденсированных структур. При нагревании конденсация, сшивка с образованием углефицированных структур происходит параллельно с деструкцией, выделением летучих веществ (газообразных продуктов, смолы). Скорость выделения летучих

Таблица 1
Результаты измерений температуры отходящих газов, образующихся при горении чистых образцов

Березовый опил		Сосновый опил		Древесные гранулы	
Время τ , с	Температура t , $^\circ\text{C}$	Время τ , с	Температура t , $^\circ\text{C}$	Время τ , с	Температура t , $^\circ\text{C}$
14	200	30	200	44	200
20	250	53	250	100	250
30	300	65	300	157	300
36	350	75	350	215	350
45	400	90	400	245	400
140	450	130	450	276	450
160	400	185	500	330	500
175	500	215	450	360	450
195	450	265	400	363	400
258	400	328	350	370	350
280	350	332	300	385	300
295	300	342	250	415	250
313	250	365	200	475	200
340	200	–	–	555	150
–	–	–	–	780	100

Таблица 2
Результаты измерений температуры отходящих газов, образующихся при горении образцов с нефтепродуктами

Березовый опил с нефтепродуктами		Сосновый опил с нефтепродуктами	
Время τ , с	Температура t , $^\circ\text{C}$	Время τ , с	Температура t , $^\circ\text{C}$
4	200	5	200
35	600	37	600
355	500	470	500
454	350	480	350
650	200	575	200

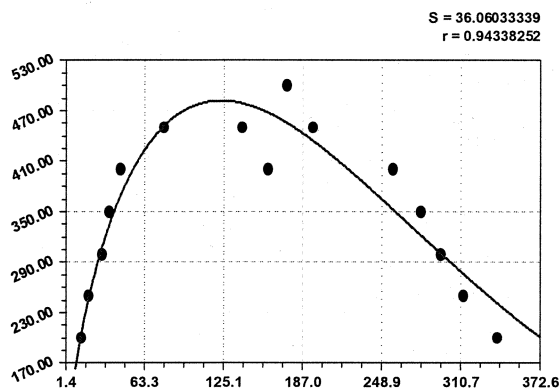


Рис. 1. Скорость изменения температуры отходящих газообразных продуктов горения березовых опилок

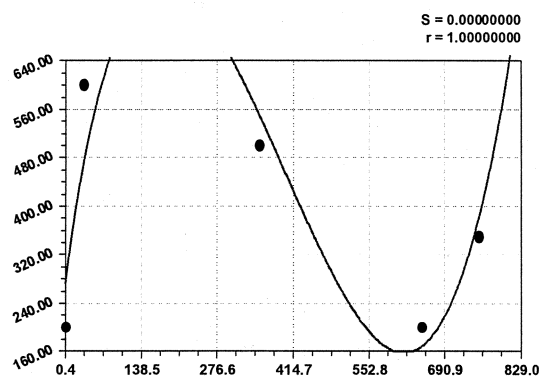


Рис. 2. Скорость изменения температуры отходящих газообразных продуктов горения березовых опилок с нефтепродуктами

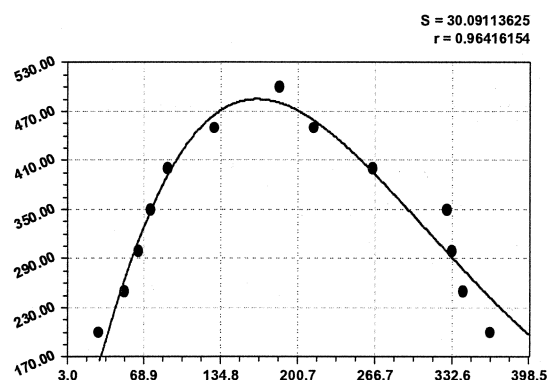


Рис. 3. Скорость изменения температуры отходящих газообразных продуктов горения сосновых опилок

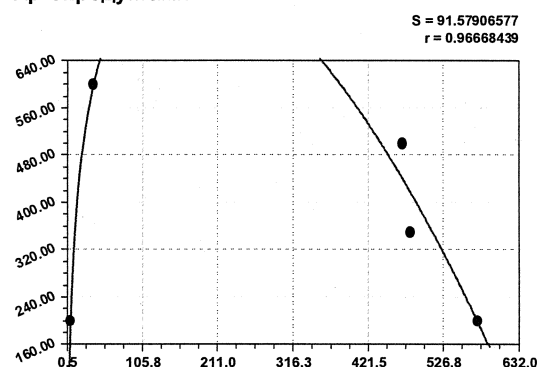


Рис. 4. Скорость изменения температуры отходящих газообразных продуктов горения сосновых опилок с нефтепродуктами

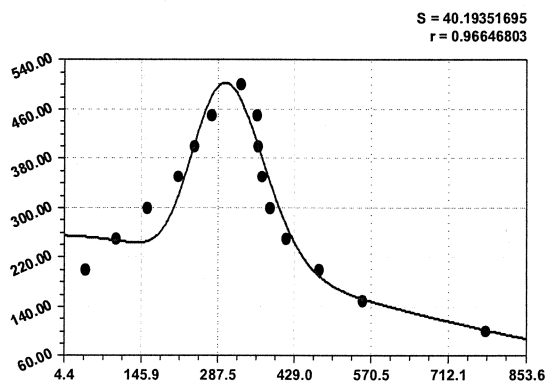


Рис. 5. Скорость изменения температуры отходящих газообразных продуктов горения древесных гранул

веществ увеличивается с повышением температуры. Этот процесс может быть несколько растянут во времени из-за большого разнообразия летучих веществ, различных по своему химическому составу и температуре воспламенения. Сначала происходит разложение гемицеллюлозы (200–260 °C) и затем, при более высокой температуре, разложение целлюлозы (240–350 °C) и лигнина (280–500 °C). За пределом 300 °C обычная структура древесины исчезает, уступая место конденсированным системам с известной степенью ориентации. При дальнейшем нагревании до 350 °C углещифицированных структур образуется уголь.

При температуре 400–500 °C наблюдается низкая скорость выхода летучих веществ, определяемая процессом разложением лигнина, происходящим в пределах всего температурного диапазона, но вызывающего наибольшие потери основного веса при более высоких температурах.

Наибольшую температуру горения имеют твердые компоненты топлива, которые остаются после удаления летучих веществ. Как правило, эти компоненты имеют углеродную основу и сгорают при температурах 650–700 °C. Процесс горения твердых компонентов сопровождается большим количеством выделяемого тепла.

Результаты проведенных испытаний показали, что максимальная температура отходящих газообразных продуктов горения березовых и сосновых опилок, древесных гранул составляет 500 °С, опила, пропитанного нефтепродуктами, – 600 °С.

После выключения горелки по достижению максимальной температуры отходящих газов происходит самостоятельное горение образцов, постепенное затухание процесса горения и образованием зольного остатка. При сжигании образцов с березовым опилом масса образовавшейся золы составляет 0,2 г или 0,44 % от первоначальной массы образца; опилок, пропитанных нефтепродуктами, – 2,1 г или 1,58 %.

При сжигании образца с сосновыми опилками масса образовавшейся золы составляет 0,45 г или 0,98 % от первоначальной массы образца; опилок, пропитанных нефтепродуктами, – 1,55 г или 0,93 %.

После выключения горелки процесс горения древесных гранул в 1,3 раза дольше по времени, чем горение опилок. Это связано с высокой удельной плотностью древесных гранул 1300–1400 кг/м³, по сравнению с плотностью сосновых (500 кг/м³) и березовых (630 кг/м³) опилок [9]. Масса образовавшейся золы 0,3 г.

Нами были получены математические модели процесса горения с использованием биотехнического устойчивого закона [5].

Для березового опила

$$t = 49,1588\tau^{0,55728} \exp(-0,00046115\tau^{1,40507}). \quad (1)$$

Для березового опила с нефтепродуктами

$$t = 4492,1878 \exp(0,00182\tau) - 0,24679\tau^{1,64193} - 4222,7993, \quad (2)$$

где t – температура отходящих газообразных продуктов горения материала, °С; τ – время горения, с.

Для соснового опила

$$t = 5,10447\tau^{1,033439} \exp(-0,00049888\tau^{1,42531}). \quad (3)$$

Для соснового опила с нефтепродуктами

$$t = -1457,4302 \exp(0,001154\tau) + 990,8744\tau^{0,1535} + 397,0668. \quad (4)$$

Для древесных гранул

$$t = 254,84033 \exp(-1,57499\tau^{1,64785}) + 9,55228\tau^{16,98817} \exp(-0,0076768\tau^{1,30188}). \quad (5)$$

Была определена теплотворная способность опила, пропитанного нефтепродуктами, с учетом теплоты сгорания нефтепродуктов:

$$Q = \frac{m_{\%} \cdot Q_n^p}{100},$$

где Q – теплотворная способность смеси;

$m_{\%}$ – процентное содержание массы в смеси;

Q_n^p – низшая теплота сгорания, МДж·кг⁻¹.

$Q_n^p = 41,87$ МДж/кг – для нефтепродуктов,

$Q_n^p = 13,8$ МДж/кг – для древесины ($W = 14\%$) [10].

Результаты расчета представлены в табл. 3.

Сравнительная характеристика сорбционной способности различных сорбентов, приведена в табл. 4 [11]. Важная особенность всех представленных в таблице сорбентов – это их плавучесть, аналогичная нефти и нефтепродуктам.

Выводы

1. Установлено, что теплотворная способность опила, пропитанного нефтепродуктами, в 2,5 раза выше, чем у чистого.

2. Температура сгорания опилок березы и сосны как пропитанных, так и непропитанных совпадают, и время сгорания составляет 35 с и 180 с, соответственно, а у гранул время сгорания – 350 с.

3. Опил можно использовать как сорбент

Таблица 3

Результаты расчета образцов, пропитанных нефтепродуктами

Материал	Масса вещества, г	Кол-во нефтепродуктов (масло), мл	Масса образцов ч/з 48 часов, г	Процентное содержание нефтепродуктов в образце	Масса золы, г	Низшая теплота сгорания Q_n^p , МДж/кг	Теплота сгорания, МДж/кг, [10]
Опил березы	45,9	105	133,15	65,5	2,10	32,13	13,8
	45,9	105	134,05	65,8	2,30		
	45,9	105	132,80	65,4	1,80		
Опил сосны	45,9	130	166,30	72,4	1,55	34,20	13,8
	45,9	130	165,70	72,3	1,35		
	45,9	130	166,90	72,5	1,85		
Опил сосны/березы 1:1	45,9	130	159,1	71,2	1,95	33,83	13,8
	45,9	130	159,85	71,3	2,10		
	45,9	130	158,70	71,1	1,80		
Древесные гранулы	45,9	65	64,40	28,7	0,25	23,41	17,5
	45,9	65	63,90	28,2	0,20		
	45,9	65	64,70	29,1	0,30		

Характеристика сорбентов нефти и нефтепродуктов

Сорбент	Коэффициент нефтепоглощения	Время впитывания, с	Плаваемость	Эффективность очистки, %
Резиновая крошка	1:4	60	Не тонет	92
Текстильный горошек	1:16	60	Не тонет	99,98
Пенополиуретан	1:0,7	–	Не тонет	98,93
Перлит	1:6	30	Не тонет	83
Опилки сосновые	1:4	30	Не тонет	82,5
Опилки березовые	1:3			
Шелуха овса	1:1	30	Не тонет	67

для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов и как вторичный ресурс для получения тепловой энергии.

Литература

1. Гринин, А.С. Промышленные и бытовые отходы: Хранение, утилизация, переработка / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 336 с.
2. Рустамов, Н.А. Биомасса – источник энергии / Н.А. Рустамов, С.И. Зайцев, Н.И. Чернова // Энергия: электроника, техника, экология. – 2005. – № 6. – С. 20–27.
3. Перспективы и проблемы использования биомассы и отходов для производства тепла и энергии / Г.А. Рябов, Д.С. Литун, Э.П. Дик, К.А. Земсков // Теплоэнергетика. – 2006. – №7. – С. 61–66.
4. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».
5. Мазуркин, П.М. Математическое моделирование. Идентификация однофакторных статистических закономерностей: учебное пособие / П.М. Мазуркин, А.С. Филонов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006.
6. Древесный уголь. Получение, основные

свойства и области применения древесного угля / О.В. Бронзов, Г.К. Уткин, А.Н. Кислицын и др. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 137 с.

7. Попова, Л.Г. Исследование некоторых вопросов механизма образования древесного угля: автореф. / Л.Г. Попова. – Л.: Лесотехническая академия им. С.М. Кирова, 1970. – 15 с.

8. Никитин, Л.Г. Химия древесины и целлюлозы / Л.Г. Никитин. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 711 с.

9. Головкин, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головкин, И.Ф. Коперин, В.И. Найденов. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.

10. НПБ 105-95 ГУГПС МВД России «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» (приказ № 32 от 31.10.95 г.).

11. Воробьев, Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.

12. Дунаев, К.Н. Эколого-экономическая оптимизация производства древесных гранул из отходов лесопромышленного комплекса / К.Н. Дунаев, Б.В. Ермоленко // Экологическая безопасность. – 2009. – № 1. – С. 24–30.

Поступила в редакцию 27.11.2009 г.

Филина Наталья Александровна – старший преподаватель кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Марийского государственного технического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – комплексное использование лесных ресурсов, исследования процессов сорбции нефтепродуктов, получение тепловой энергии.

Контактный телефон: 8-903-326-46-39. E-mail: nata-filina@yandex.ru

Filina Natasha Aleksandrovna – the senior on the «security of life and activity» department, in Mary State Technical University, Yoschar-Ola town. The science interest area – complex use of forest resources, process of oil products sorption research, heart energy reception.

Contact phone: 8-903-326-46-39. E-mail: nata-filina@yandex.ru

Алибеков Сергей Якубович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Машиностроения и материаловедения Марийского государственного технического университета, г. Йошкар-Ола. Область научных интересов – утилизация промышленных отходов и сточных вод, получение тепловой энергии, композиционные материалы, термическая обработка сталей. Контактный телефон: (8362) 68-68-01.

Alibekov Sergey Jakubovich – Doctor in technical science, professor, the head of «Mechanical engineering and material searching» faculty in Mary State Technical University, Yoschar-Ola town. The science interest area – industrial scraps and sewage water utilization, making heat energy, using additional materials, steel thermal processing. Contact phone: (8362) 68-68-01.