

УДК:662.62:53/54(4)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТВЕРДЫХ БИОТОПЛИВ

Побединский В. М. д. т. н.¹; Prof. Ing. Bohumil Havrland, CSc.²; Ing. Petr Hutla, CSc.³;

Татьяна Иванова, аспирант²,

Мунтян А. И., аспирант¹,

Кандаков А., аспирант²

Государственный аграрный университет Молдовы, pobedinsky@uas.md

University of Life Sciences Prague, Czech Republic, havrland@its.czu.cz

Research Institute of Agricultural Engineering, Prague, Czech Republic,

petr.hutla@vuzt.cz

Аннотация – настоящая работа посвящена сравнительной оценке качества твердых биотоплив – пеллет и биобрикетов из растительных биотходов. Рассматривается влияние на их качество основных технологических характеристик: влажности, плотности, прочности, крошимости; химического состава и эмиссии вредных газов. Рассматривается применение методики макроскопического анализа для оценки твердых биотоплив с точки зрения их структуры и эффективности процесса прессования – в т. ч. и по выходу лигнина.

Ключевые слова – пеллеты; биобрикеты; характеристики – физико-механические; химический состав; макроскопический анализ.

Введение. В 2009 году Европейский Союз (комиссия и парламент) приняли новую энергетическую и климатическую программу развития стран ЕС до 2020 года. В ней указано: выбросы CO₂ должны быть снижены на 20% по сравнению с уровнем 1990 г.; энергетическая эффективность должна быть увеличена на 20% по сравнению с тем, что было до 2009 г.; доля возобновляемой энергетики на основе биотоплива, ветра, солнца, воды должна быть увеличена с 8,5% в 2005 году до 20% в 2020 г. В соответствии с этим, есть прямая целесообразность рассмотрения проблем эффективности производства, использования и оценки качества твердых биотоплив – гранул (пеллет) и биобрикетов.

Материалы и методы

Твердые биотоплива - топливные гранулы (пеллеты- англ. *pellets*) и брикеты – является экологически чистым топливом, получаемым из отходов сельского хозяйства (кукурузы, солома, отходы крупяного производства, лузга подсолнечника и т. д.), древесных отходов (кора, опилки, щепа и другие отходы лесозаготовки), энергетических растений (канареечник, мискантус и др.), быст-

рорастущих деревьев (клоны тополя и вербы) и торфа. Биотопливо бывает в виде спрессованных цилиндрических гранул стандартного размера, или брикетов - цилиндрической, шестигранной, прямоугольной или другой формы. Их длина, обычно от 30 до 300 мм, диаметр больше 25 мм и обычно составляет 50 ... 75мм.

Твердые биотоплива являются селекционным топливом: с малым содержанием серы - менее 0,07% (для сравнения, содержание серы в буром угле, находится в пределах 2%); с удельной теплотворной способностью 18 ... 20 МДж/кг; с относительной влажностью 5 ... 9%; с объемной массой 800 ... 1000 кг/м³; способным обеспечить экономное складирование.

Стандарты на производство твердых биотоплив - пеллет (гранул) и брикетов

В разных странах приняты различные нормативы для производства гранул. В США действует Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI (pellet) - Германские стандарты DIN 51731и DIN+. Австрийский стандарт ONORM M 7135. Шведский стандарт SS 18 71 20 на топливные гранулы и SS 18 71 21 на древесные брикеты. The British BioGen Code of Practice for biofuel (pellets). В Чехии действует техническая норма ČSN EN 14961-1, которая является чешской версией европейского стандарта EN 14961-1:2010.

Факторы, влияющие на качество твердого биотоплива

Качество исходного сырья в значительной мере влияет на топливно-энергетические характеристики получаемого твердого биотоплива. Значительную роль здесь играет правильный выбор технологии переработки, от исходного сырья до готовых пеллет, и реализация этих технологий на подобранном комплекте технологического оборудования. Необходим постоянный контроль на всех этапах производственной цепочки. Также необходима оптимизация процессов сбора и приемки сырья, отбора проб и оценки качества, сортировки, складирования по фракциям, транспортировки, сушки, измельчения до оптимального размера частиц ингредиентов, правильный подбор композиций (состава), дозирование и смешивание, прессование, охлаждение, сортировка, контроль качества готового продукта расфасовка и упаковка, складирование и поставка через дилеров к потребителям.

Технологические свойства. К свойствам, влияющим на качество твердых биотоплив можно отнести большое количество показателей, которые имеют соответствующее практическое значение. Как было указано выше, различают две группы показателей: химический состав и физические свойства. Химический состав определяется содержанием С, О, Н, N, S, Cl, К и тяжелых металлов, а также содержанием золы, воды, и спор грибков. Сюда же относятся теплотворная способность, эмиссия газов и плавкость золы. В отличие от химических, физические свойства характеризуют размер частиц и гранул, насыпную массу, плотность, твердость, механическую прочность, крошимость,

состояние поверхностной структуры (наличие микротрещин и других дефектов структуры).

Влажность исходного материала должна быть до 15 %. Значительное повышение влажности ведет к разрушению пеллет и брикетов, способствует активизации биологических процессов. Как результат - потеря качества.

Теплота сгорания определяется химическим составом горючего вещества. Содержащиеся в горючем веществе химические элементы обозначаются принятыми символами C, H, O, N, S, а зола и вода – символами A и W соответственно.

Показано, что биомасса с высоким содержанием лигнина имеет, как правило, более высокую теплотворную способность, чем материалы, в которых преобладает целлюлоза. Теплотворная способность самого лигнина составляет 28,8 МДж/кг, а целлюлозы 17,3 МДж/кг.

Для древесных пеллет высшая теплота сгорания - Q^d 19,2, а теплотворная способность Q^r 18,76 МДж/кг. При влажности рапсовой и пшеничной соломы (7,85 % и 6,40 %) Q^d составила 17,6 – 15,1 МДж/кг, а Q^r 16,8 – 14,1 МДж/кг. Для пеллет из энергетических растений: напр. Мискантус Q^d 19,0, а Q^r 17,7 МДж/кг, горец Q^d 17,62, а Q^r 16,31 МДж/кг, шавель Q^d 16,54, а Q^r 15,16 МДж/кг, смесь шавель и горец Q^d 17,48 а Q^r 16,19 МДж/кг, а для пеллет из стеблей кукурузы Q^d 16,67, а Q^r 15,03 МДж/кг.

Теплотворная способность определялась на автоматическом калориметре LAGET MS – 10А с комплектующими. По результатам исследований теплотворная способность полученных топливных биобрикетов Q^r находилась в пределах 14 – 18 МДж/кг (рапсовой соломы – порядка 16 -17 МДж/кг, кукурузной 17 МДж/кг. Для сравнения теплотворная способность древесины в среднем составляет 16,5-19 МДж/кг.

Преимущества прессования фитомассы и использования топливных брикетов и гранул

Твердое биотопливо, получаемое из растительных отходов, обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с другими видами топлива. Это: возобновляемый исходный материал; перспективное топливо; брикеты и гранулы из фитомассы позволяют использовать топки для классических топлив (дерево, щепка), низкая себестоимость производства брикетов; биобрикеты - экологически чистый продукт, без химических добавок и склеивающих веществ, производятся из натуральных, необработанных никакими химическими препаратами растительных отходов. Они также подходят и для топок с низкой мощностью и прерывистым режимом работы (маленькие котлы на поленьях, с тепловой мощностью до 50 кВт); сгорание брикетов происходит более эффективно – количество остатков (зола) не превышает 0,5–2% от общего объема используемого топлива (зольность некоторых сортов угля достигает 30-40%), а зола может использоваться как калийное удобрение.

Очевидна выгода использования топливных брикетов для потребителя при существующих закупочных ценах. Так, при сжигании 1000 кг

топливных брикетов выделяется столько же тепловой энергии, как при сжигании: 1600 кг древесины, 478 куб.м газа, 500 л дизельного топлива, 1000 кг угля, 685 л мазута; При сжигании они оказывают минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Большим преимуществом твердых биотоплив из биомассы является их углекислотная (CO_2) нейтральность. При сгорании в воздух выделяется лишь такое количество CO_2 , которое было первоначально поглощено растением в процессе фотосинтеза; брикеты уплотнены в 4...12 раз, в результате чего повышается эффективность транспортных перевозок и уменьшается площадь складирования. Кроме того, брикеты хорошо разгораются, отличаются длительным горением без искрообразования, их тепло воспринимается как более приятное, чем тепло, получаемое от угля, легкого мазута или природного газа.

Благодаря вышперечисленным качествам, твердые биотоплива обладают высокой конкурентоспособностью по сравнению с другими видами топлива, и их рынок растет быстрыми темпами.

Результаты и дискуссия

Сравнительные характеристики сырья и биобрикетов полученных на поршневом брикетном прессе

Основой приведенных сравнительных характеристик биобрикетов послужил силовой анализ процесса прессования биобрикетов в рабочей камере поршневого брикетного пресса приведенный в наших предыдущих работах [2, 7], а также результаты комплексных исследований процессов производства топливных биотоплив, проведенных в лабораториях Биомасса ČZU Praha, VÚZT Ruzyně Institute of Agricultural Engineering Prague Ruzyně и лаборатории Биоэнергетики ГАУМ, Кишинев в период 2008 – 2010 гг.

Основным сырьем в композиции биобрикетов были солома пшеничная, кукурузная, обрезки виноградной лозы, обрезки деревьев вишни, кустарники, обрезки тополя, стебли сорго, опилки дуба, подсолнечная лузга, стебли мискантуса и горца и другие растительные биоотходы. Исходное сырье сначала высушивалось до влажности 8-14 %, затем измельчалось на измельчителях типа Mirela или Pezzolato до среднего размера частиц 8 - 22 мм. Это соответствует CSN ISO 9276 и согласуется с данными полученными P.Hutla, O.Muzik и др. Из исходных компонентов готовилась смесь в соотношении 1:1, 2:1, 3:1, 1:2, 1:3. Готовая смесь подавалась в бункер поршневого брикетного пресса BrikStar 50-12.

Полученные биобрикеты характеризуются следующими основными параметрами:

Плотность. Для большего количества измельченных растительных материалов характерно пористое строение, т.е. наличие в частицах каналов и пустот разного размера и формы, чрезвычайно сильно изменяющих их поверхность. В зависимости от характера пористой структуры, формы и размера частиц меняется, и плотность единицы объема измельченного

матеріала. В процесі досліджень щільність брикетів ρ визначалася з урахуванням їх об'єму та маси ($\rho = 500-800-959 \text{ кг/м}^3$). При цьому діаметр брикетів становив приблизно $0,065 \text{ м}$, а їх довжина: від $0,046$ до $0,075 \text{ м}$.

Механічна міцність – крихкість біобрикетів $DU, \%$ визначалася відповідно до стандартів CEN/TC 335 N178. За результатами досліджень механічна міцність біобрикетів $DU, \%$ становила $> 90 \%$.

Твердість біобрикетів за Шору, шкала «НА». При визначенні твердості на поверхні брикета виділено 4 зони: 1 – торець під плунжером; 2 і 3 – бокова поверхня; 4 – другий торець у зоні зламу. На торцях проводилося по 5 замірів твердості – 4 заміри по годинній стрілці на відстані $2/3$ радіуса та 1 в центрі брикета.

В процесі досліджень твердість брикетів за Шору шкала «НА», визначена за допомогою механічного стрілочного твердоміра «Тронік» та становила від 55 до 98 одиниць НА. При цьому середнє значення твердості брикета на зламі знаходилося в межах 78 НА, для суміші соломи з дрібнодробленими деревними відходами та до 55 - 60 НА, для підсопличної лози з опилками та дрібнодробленою виноградною лозою з стеблами сорго.

Емисійні характеристики біобрикетів

Аналіз результатів досліджень власних досліджень показав, що за вмістом у паливних біобрикетах з дрібнодроблених обрізків деревини в суміші з кукурудзяною або пшеничною соломою С, Н, S, О, Сl, узгоджуються з даними Jevic P., Sediva Z., Hutla P., 2006. Muzik O., Soucek J., Abrham Z., 2007; Mazancova J., Hutla P., Slavik J., 2007; Muzik O., Soucek J., Abrham Z., 2007; Kolarova M., Mazancova J., Jevic P., Hutla P., 2007; Pepich S., 2007; Pastorek Z., Kara J., Hutla P., 2009 та інших дослідників [3]. Так вміст у паливних брикетах (% об'єму) коливається в межах: С 42,0-46,5; Н 5,7- 6,4; N 0,058 – 0,77 0,015*; S 0,019- 0,078 (0,019*); О 36,54- 37,8; Сl 0,03- 0,065 (0,00*) * Показателі стандарту ONORM M7135.

Різниця в даних пояснюється сортовими, видовими характеристиками, умовами вирощування, режимом сжигання, типу топки та ін.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що в паливних біобрикетах вміст N, S, та Сl значно перевищує нормативні значення ONORM M7135. Порівняння цих біобрикетів з деревними брикетами - Wood chips ВЮМАС, також показує значні відмінності хімічного складу за вмістом N, S та Сl.

Енергетичні властивості вихідного матеріалу паливних брикетів Досліджувані матеріали

Доказано, що введення в склад біобрикетів соломи підвищує їх вологість. Але це не можна вважати недоліком цих біобрикетів, так як переслідують мету ефективного використання дешевих біопродуктів та отримання додаткового джерела дешевого, екологічно чистого твердого біопалива. Тому витрати на оптимізацію процесу сжигання цих біобрикетів себе окуплять багаторазово.

Содержание в топливных биобрикетах летучих веществ в % объема составило 72,57 – 75,20 (для wood chips BIOMAC 79,28% vol), а нелетучих веществ соответственно 17,94 – 16,34.

В процессе тестирования топливно-энергетических характеристик биобрикетов продолжительность их горения составляла 3-4 часа.

Сравнительный макроскопический анализ исходного биосырья и биобрикетов

С целью проведения качественной оценки топливных биобрикетов, в дополнение к комплексу уже выше перечисленных характеристик и оценки состояния поверхностной структуры, нами был проведен сравнительный макроскопический анализ исходного сырья и биобрикетов с помощью электронного микроскопа USB2.0 Chronos DigiScope.

На первом этапе был произведен макроскопический анализ исходного сырья. Доказано, что важную роль в получении качественных топливных биобрикетов играет состав их композиции. Хорошие показатели дает использование в качестве добавок измельченной кукурузной соломы (рис. 1.0). Здесь видно что, мягкая ворсистая паринхимная составляющая стеблей кукурузы (используемая в качестве добавки), способствует лучшему сцеплению твердых древесных частиц при прессовании биобрикетов.

На втором этапе был проведен макроскопический анализ состояния характерных зон поверхностной структуры биобрикетов. Он осуществлялся в контрольных точках на их поверхности. Характерные образцы представлены на рис. 1.

Характер изменения компонентов смеси неразрывно связан с процессом прессования материала в рабочей камере брикетного пресса.[2, 7]

Процесс формирования брикетов сопровождается изменением состояния частичек исходной композитной смеси (Рис. 1, п.0). Из рисунка 1 видно, что на фотографиях под микроскопом частички исходной композитной смеси в ходе смешивания и прессования связываются друг с другом и деформируются. В исходном состоянии они не имеют определенной ориентации.

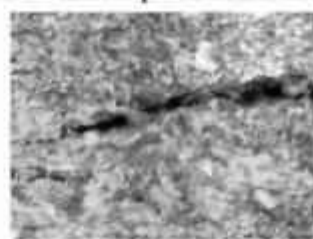
В последующем, по мере прохождения через предкамеру и матрицу, под воздействием плунжера частицы спрессовываются, деформируются за счет сил давления и трения. Результаты этих воздействий видны на контрольных зонах биобрикета (Рис.1, п.1,3,4).

В ходе прессования, как видно из Рис. 1, п.4 - фото поверхности брикета на изломе - сердцевина (контрольная точка 4), частички материала имеют незначительную ориентацию. Под действием высокого давления частички спрессованы, деформированы, с нарушением геометрии и связаны между собой. Средняя твердость брикета в этой зоне находилась в пределах 46 - 91 НА. При этом, связывание частиц брикета в камере прессования при давлении 100 - 200Атм и температуре порядка 80°С, происходит за счет склеивания частиц между собой с помощью клеточного вещества и лигнина. Лигнин – это природный клей, выделяемый из материала в процессе производства

биобрикетов. Лигнин – высокомолекулярное соединение ароматической природы – основной структурный компонент растений, заполняющий пространство между клетками и «склеивающий» их первичные оболочки.



Исходное сырье



Боковая поверхность брикета



Торец брикета – в зоне излома



Торец брикета под плунжером

Рис. 1. Характер изменения частиц составляющих биобрикет (виноградная лоза + кукурузная солома) в процессе прессования.

Особенностью лигнина является химическая реакция на высокое давление и при этом не менее высокую температуру. Он приобретает вязкопластичные свойства, при действии высокого давления и термического воздействия. Лигнин начинает высвобождаться – течь, обволакивая частицы материала, и склеивает их. Это видно при рассмотрении структуры брикетов под микроскопом (рис. 2). Вышеизложенное подтверждает одно из преимуществ способа производства биобрикетов прессованием, так как не нужны связующие вещества. Природный клей лигнин сгорает практически без золы с очень высокой температурой.



Рис. 2. Образец 1.1. (фото 4-12). Лаборатория Биоэнергетики ГАУМ; лаборатория ЧЗУ ИТС Прага Сухдол, N°-62 Биомасса; LimLaboratory IMAGING

Боковые поверхности брикетов (см. рис. 1. п.3) характеризуется значительной деформацией и разрушением частиц материала, вследствие действия сил осевого давления P_x и трения F о поверхность матрицы. У большинства брикетов она гладкая, твердая (60 – 97 НА) и блестящая. Противоположная сторона - п. 3, характеризуется неравномерностью с разрыхлениями, вызванными деструкцией брикета в ходе перемещения вдоль рабочей камеры и нарушением однородности состава смеси. Односторонние трещины на поверхности (см. рис.1, п.3) и осыпания наблюдались вследствие нарушений состава композиции, технологии изготовления и др.

Торцовая часть брикета – рис.1, п. 1 характеризуется прочностью верхнего слоя, наибольшим уплотнением и деформацией исходных частиц, вследствие непосредственного воздействия плунжера на порцию материала. Твердость брикетов в этой зоне колебалась в пределах 60 – 92 НА. Отмечено неравномерное распределение твердости по этой зоне брикета. В целом, для каждого образца брикетов было определено среднее значение твердости. При наличии нарушений технологии изготовления, состава композиции и др. – сердцевина биобрикета имела дефекты структуры и осыпания.

Указанное дополнение к методике контроля параметров исходного сырья и топливных биобрикетов используется в дальнейшем, при комплексной оценке их качества.

Выводы. Твердые биотоплива – пеллеты и биобрикеты из растительной биомассы не оказывают негативного воздействия на окружающую среду. С точки зрения природных материалов биомасса из измельченных обрезков древесины или виноградной лозы подобна классической древесине. Эти биобрикеты производят больше золы и некоторых химических элементов, однако это не снижает их роль как биотоплива. Подобрав смеси с другими видами биомассы, такими как кукурузная или пшеничная солома, мы достигаем оптимальной газовой эмиссии и теплотехнических параметров. С энергетической точки зрения вышеуказанные биобрикеты имеют теплотворную способность около 14 - 18 МДж. кг⁻¹. Добавки, которые были использованы в экспериментах, не позволяют значительно увеличить теплотворную способность, однако они позволяют оптимизировать процесс горения за счет регулировки подачи воздуха, повышения эффективности нагрева и снижения тепловых потерь. Методика сравнительного макроскопического анализа исходного биосырья, пеллет и биобрикетов позволяет расширить возможности их качественной оценки и оптимизации технологий производства.

Литература

1. Биомасса для энергетического использования: учебник/ Под ред. проф. Б. Гаврланда. – Кишинев:Прага, 2008.
2. Гаврланд Б., Побединский В., Иванова Т., Муштеан А., Кандаков А. Анализ и исследование процессов производства гранул и брикетов из

фитомассы; Manual for the Subject: Preparation and Processing of Agricultural Produce and Bio-wastes. Кишинев-Прага, 2009.

3. P. Jevič, P. Hutla, Z. Šedivá: Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha, 2008, 133 s. ISBN 978-80-86884-42-4

4. Zpracování energetické fytohmasy do forem standardních paliv a jejich energetické a emisní vlastnosti. Zpráva pro rok 2010. P. Hutla a kol. VÚZT Praha, 2010, 138 s.

5. Česká technická norma. Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv. Část 1: Obecné požadavky. ČSN EN 14961-1.

6. Česká technická norma. Tuhá biopaliva – Stanovení mechanické odolnosti. Část 1: Pelety. ČSN EN 15210-1.

7. Muntean A., Havrland B., Pobedinsky V., Ivanova T., Marian G. Features of the bio-briquettes pressing with the piston briquetting press. Proceedings of 9th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”, Jelgava 2010, pp. 246-251.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

Побединський В. М.

Анотація

Роботу присвячено порівняльній оцінці якості твердих біопалив – пеллет и біобрікетів з рослинних біовідходів. Розглянуто вплив на їх якість основних технологічних характеристик: вологості, міцності, хімічного складу та емісії газу. Розглянуто використання методики макроскопічного аналізу для оцінки твердих біопалив з точки зору їх структури та ефективності процесу пресування – у т. ч. і за виходом лігніну.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE QUALITY OF SOLID BIOFUELS

V. Pobedinskyi

Summary

The present paper is devoted to comparative evaluation of the quality of solid biofuels - pellets and bio-briquettes from bio-wastes of vegetable origin. The impact of basic technological characteristics, such as moisture content, density, strength, mechanical ruggedness, chemical composition and emission of harmful gases, on quality of final biofuels is assessed as well. It is observed the use of method of macroscopic analysis for the evaluation of solid biofuels in terms of their structure and efficiency of the pressing process - including yield of lignin.