

УДК 622.812:658.26-027.236(476)

ИННОВАЦИОННЫЕ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БРИКЕТОВ ИЗ ТОРФА

Березовский Н.И. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь), Борисейко В.В. (РУП «Белниитоппроект», г. Минск, Беларусь)

Представлены результаты изучения европейского опыта по переработке сыпучих материалов для производства энергии на международной выставке «HANNOVER MESSE 2012», проработки технологий и оборудования производителей Германии через Белорусскую торгово-промышленную палату. Предложены отечественные инновационные энерго- и ресурсосберегающие технологии получения торфяного топлива.

Введение

В современных условиях рыночных отношений очень актуальны вопросы модернизации предприятий. Традиционно сложившееся мнение о прогрессивных западно-европейских технологиях обязывает изучать их и внедрять на промышленных предприятиях республики. В связи с тем, что во многих европейских странах торф признан не возобновляемым источником энергии, и на законодательном уровне предусмотрены стимулирующие льготы и выплаты производителям энергии только лишь из возобновляемых источников энергии, оборудование и технологии переработки торфа для нужд энергетики не получили широкого развития.

В Республике Беларусь одним из ведущих направлений механической переработки торфа является брикетирование. Торфяные брикеты – удобное и выгодное, в первую очередь, бытовое топливо. Они содержат мало влаги (14-20 %) и обладают высокой теплотой сгорания (до 4500 ккал/кг). Одна тонна брикетов заменяет 2,5-3 м³ дров или 1,6 т бурого угля. Использование 1 га торфяной залежи на добычу фрезерного торфа и выработку брикетов позволяет сохранить до 30 га леса [1]. В последнее время набирает обороты использование торфяного топлива в промышленности.

Результаты изучения европейского опыта

Для торфяной отрасли Республики Беларусь представляют интерес технологии и оборудование основных европейских стран по переработке сыпучих материалов (возобновляемые источники энергии – биомасса из кукурузы, соломы, опавших листьев, древесных опилок и др.), для их дальнейшего сжигания и получения тепла и энергии, а также получение биогаза из биомассы, фекалий крупного рогатого скота и куриного помета. Предлагаемые технологии представлены в виде комплексных системных решений: сбор, доставка, хранение, подготовка, переработка и различные направления использования энергии.

Технологии и оборудование для получения топлива из биомассы очень близки к технологиям получения торфяных брикетов и пеллет, используемых в торфяной отрасли Республики Беларусь. Отличительной особенностью некоторых комплексов является применение закрытых систем подачи сырья на подготовку, сушку (варку опавших листьев, разработка компании SUNCOAL), прессование. При этом, в бункерах-накопителях используются подвижные конвейеры с гидроцилиндрами (SUNCOAL), широкое применение получил пневмотранспорт с нагнетающими или всасывающими системами (разработка компании NESTRO). Все системы технологического транспорта оснащены рукавными фильтрами (разработчики: TSF-FILTER, PIONIER, NESTRO,

СИМАТЕК), позволяющими повторно применять отфильтрованное сырье, что значительно улучшает культуру производства, увеличивает выход товарной продукции и сводит до минимума выбросы в окружающую среду.

Термокороба с электроподогревом (разработчик компания ELPO) обеспечивают подачу влажной (до 50 %) биомассы вне зданий и сооружений при температуре до -15°C , устойчивую работу при температуре до -10°C , более мощный нагрев электричеством становится экономически невыгодным. Для исключения промерзания в климатических условиях Беларуси (до -30°C) при передаче пневмотранспортом вне зданий и сооружений увлажненной биомассы от модуля к модулю целесообразнее применять обогрев основных рукавов или коробов приточными рукавами с подачей теплого воздуха от основного теплогенератора (разработка NESTRO).

В системных комплексах, используемых европейскими производителями, очень высок уровень автоматизации всего технологического процесса. В технологии производства брикетов, пеллет важен контроль влажности исходного сырья перед прессованием. Определенный интерес представляют приборы измерения данного параметра, основанные на датчике контроля количества выбрасываемой влаги в атмосферу (разработчик Rittal-Das Systems). Разница общей массы и массы испаренной влаги дает показания оставшейся влаги в сырье. Автоматизация процесса подачи количества сырья производится через весы, работающие в потоке, частотно-регулируемыми приводами (разработка компании SIEMENS). Датчики контроля влажности в потоке могут крепиться на кронштейнах над ленточным транспортером, либо на днище наклонных коробов (разработка компании FEMAG).

На существующих брикетных заводах РБ применяются наиболее экономичные, простые и, соответственно, надежные ленточные конвейеры, по которым торф влажностью до 50 % возможно транспортировать под углом наклона не более 22° . Чтобы поднять на высоту, обеспечивающую последующее дробление и сепарацию торфа, требуются сооружения наклонной галереи, иногда соизмеримые с длиной всего корпуса брикетного цеха. Данный аспект значительно улучшается путем применения облегченных высокопрочных транспортерных прорезиненных лент с отлитыми скребками, позволяющими работать под углом наклона конвейера до 60° (разработчик компания Bode Belting).

Результаты исследований

В условиях жесточайшей конкуренции на рынке энергоносителей проектировщики РУП «Белниитоппроект» совместно с учеными кафедры «Горные машины» факультета горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета работают над оптимизацией технологических процессов добычи и переработки торфа с учетом разработок европейских компаний.

Однако приобретение оборудования европейского производителя влияет на снижение положительного сальдо Республики Беларусь. Значительное снижение себестоимости торфяных брикетов, в первую очередь, возможно путем изменения традиционной технологии добычи торфа скреперами. Так, например, применение пневматической уборки торфяной крошки относится к периоду возникновения поверхностно-послойного способа добычи фрезерного торфа и основано на исследованиях ведущего ученого в области торфяной механики С.Г. Солопова [2]. Применение валового учета добычи фрезерного торфа в тоннах привело к незаслуженному исключению из практики пневматической уборки.

При пневматической уборке торфа вследствие отсутствия подфрезеровывания торфяной залежи исключается увлажнение фрезерной крошки. Регулирование скорости

воздуха во входном отверстии сопла и изменение поступательной скорости пневмоуборочной машины позволяют подобрать такой режим работы, при котором обеспечивается выборочная уборка частиц измельченного торфа определенной влажности и крупности. Фракционный состав торфа при пневматической уборке более однороден, в нем почти отсутствуют посторонние включения, а сыпучесть существенно улучшается [3].

Исследования, проведенные в разное время развития торфяной промышленности, показали, что направленное перемещение измельченного торфа под воздействием газового потока может обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса и, что особенно важно, заданное качество продуктов переработки торфяного сырья, а также значительное уменьшение его потерь. Однако указанный способ мало используется при добыче и переработке торфа. Это можно объяснить недостаточной изученностью процесса, недостатком опыта эксплуатации нового оборудования и отсутствием инженерных методик расчета оптимальных режимов работы различных систем пневмотранспорта торфа. Так, например, в ряде случаев режимы работы пневмоуборочных машин устанавливаются без необходимого обоснования: не всегда учитывается характер изменения размерно-плотностных и аэродинамических свойств измельченного торфа, микропрофиль поверхности поля сушки и рабочие характеристики воздуходушных машин. В итоге это обуславливает низкие цикловые и сезонные сборы торфа [4].

Применяемый ранее для уборки торфа пневматический комбайн КПФ-6,4 имеет расчетную производительность $V_{\max} = 30$ тыс. т фрезерного торфа за сезон, а БПФ-3М – 13 тыс. т (при влажности 40 %, зольности 23 %). Однако, из-за некоторых неровностей поверхности расстила при движении происходила деформация сопел пневмоуборочных машин, что увеличивало эксплуатационные затраты, простои на ремонт и снижало их фактическую производительность до 30 %. Для увеличения производительности и сохранения постоянных параметров пониженной влажности убираемого торфа (в среднем до 24 %), необходимо обеспечить регулировку высоты всасывающих сопел через опорные катки, копирующие поверхность расстила, т.е. усовершенствовать конструкцию комбайна. Это позволит оптимально использовать метеорологические условия сезона и увеличить сезонный сбор торфа с гектара.

В современных условиях бережного отношения к энергоносителям вести учет и сравнение способов добытого топлива только в тоннах не совсем корректно. Государственной программой «Торф» на 2008-2010 годы и на период до 2020 года, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.01.2008 г. № 94, поставлена задача внедрения новых и совершенствование существующих технологий для добычи, переработки и использования торфа.

Для этой цели рассмотрим два способа уборки фрезерного торфа: существующий, наиболее используемый в настоящее время механический скреперный способ машинами типа УМПФ-8, и пневмоуборочный способ самоходными комбайнами КПФ-6,4 с усовершенствованными всасывающими соплами.

Необходимо отметить, что при механической уборке влажность добытого торфа достигает 40-50 %, а при пневмоуборке диапазон влажности составляет 18-30 %.

Для расчета состава твердого топлива с одной массы на другую пользуются множителями (коэффициент влажности K_w , коэффициент зольности K_A). Для упрощения расчетов значение параметра зольности условно примем 14 % [5]:

- при влажности 24 %

$$K_w = \frac{100 - W_p^2}{100 - W_p^1} = \frac{100 - 40}{100 - 24} = 0,789; \quad (1)$$

- при зольности 14 %

$$K_A = \frac{100 - A_p^2}{100 - A_p^1} = \frac{100 - 23}{100 - 14} = 0,895, \quad (2)$$

где W_p^2 – условная влажность торфа, %;

W_p^1 – средняя влажность добытого при пневмоуборке торфа, %;

A_p^2 – максимально допустимая зольность, %;

A_p^1 – средняя зольность торфа, %.

При достижении фактической средней влажности 24 %, средней зольности 14 %, конкретную добычу пневмоуборочным комбайном КПФ-6,4 (в тоннах за сезон) определяем по формуле [5]:

$$B_{\text{конкр}}^{\text{кпф}} = B_{\text{расч}}^{\text{кпф}} K_W K_A. \quad (3)$$

Таким образом,

$$B_{\text{конкр}}^{\text{кпф}} = 30\,000 \times 0,789 \times 0,895 = 21185 \text{ т/сезон.}$$

Добыча торфа механическим способом УМПФ-8 в тоннах за сезон при фактической средней влажности 45 % и зольности 14 % составит:

$$B_{\text{конкр}}^{\text{умпф}} = B_{\text{расч}}^{\text{умпф}} K_W K_A = 25000 \times 1,09 \times 0,895 = 24389 \text{ т/сезон,}$$

$$\text{где } K_W = \frac{100 - W_p^2}{100 - W_p^1} = \frac{100 - 40}{100 - 45} = 1,09.$$

Таким образом, на первый взгляд, производительность одной машины за сезон механическим способом в 1,15 раза выше, чем пневматическим.

На самом деле ситуация выглядит несколько по-иному. Для уточнения реальной объективной картины произведем расчет производительности уборочных машин в тоннах условного топлива.

Низшая рабочая теплота сгорания фрезерного торфа Q_n^p зависит от низшей теплоты сгорания горючей массы, а также от влажности и зольности добываемого топлива и определяется по формуле [5]:

$$Q_n^p = Q_n^g \frac{100 - w - A}{100} - 25w, \text{ кДж/кг,} \quad (4)$$

где Q_n^g – низшая теплота сгорания горючей массы (для торфа 22900 кДж/кг [5]);

w – влажность торфа, %;

A – зольность торфа, %.

Определим теплоту сгорания фрезерного торфа, соответственно, при влажности 45 %, 24 % и условно принятой средней зольности 14 %:

$$Q_n^p = 22900 \frac{100 - 45 - 14}{100} - 25 \times 45 = 8264 \text{ кДж/кг,} \quad (5)$$

$$Q_n^p = 22900 \frac{100 - 24 - 14}{100} - 25 \times 24 = 13598 \text{ кДж/кг.}$$

Для пересчета количества конкретного топлива ($B_{\text{конкр}}$) в условное ($B_{\text{усл}}$) и обратно пользуются тепловым эквивалентом по формуле [5]:

$$\Theta = \frac{Q_n^p}{29309}, \text{ или } \Theta = \frac{Q_n^p}{7000}, \quad (6)$$

где Q_n^p – теплота сгорания конкретного топлива, кДж/кг (или ккал/кг).

При этом

$$B_{\text{усл}} = B_{\text{конкр}} \Theta. \quad (7)$$

Определяем тепловой эквивалент фрезерного торфа, убранного механическим и, соответственно, пневматическим способом:

- при влажности 45 %

$$\Theta = \frac{8264}{29309} = 0,282;$$

$$B_{\text{усл}}^{\text{умпф}} = B_{\text{конкр}} \Theta = 24389 \times 0,282 = 6877 \text{ т у.т.};$$

- при влажности 24 %

$$\Theta = \frac{13598}{29309} = 0,464;$$

$$B_{\text{усл}}^{\text{кпф}} = 21185 \times 0,464 = 9830 \text{ т у.т.}$$

$$K_{\text{опереж}} = \frac{B_{\text{усл}}^{\text{кпф}}}{B_{\text{усл}}^{\text{умпф}}} = \frac{9830}{6877} = 1,43. \quad (8)$$

Таким образом, максимальная производительность в тоннах условного топлива, убранного фрезерного торфа пневматическим способом, в 1,43 раза выше, чем механическим.

Из-за дефицита площадей добычи некоторые предприятия торфяной промышленности Беларуси все чаще вынуждены осваивать мелкоконтурные залежи торфа. Строительство стационарных новых заводов в таких условиях экономически не целесообразно, так как срок окупаемости таких проектов свыше 20 лет. С учетом некоторых наработок применения модульного мини-брикетного завода (РБК «Владимир», Россия), основной особенностью которого является отсутствие капитальных зданий и сооружений, благодаря усовершенствованным пневмоуборочным комбайнам, появляется возможность строительства модульных мини-брикетных заводов без устройства теплогенераторов и сушилок.

При всех равных параметрах теплота сгорания торфяного топлива не зависит от его плотности, а лишь от его влажности и зольности. Для получения сравнительных характеристик определим теплоту сгорания торфяных брикетов при влажности до 20 %, зольности 14 % и годовую производительность в тоннах условного топлива:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 22900 \frac{100 - 20 - 14}{100} - 25 \times 20 = 14614 \text{ Дж/кг},$$

$$\Theta = \frac{14614}{29309} = 0,5.$$

Соответственно, годовая производительность:

$$B_{\text{усл}}^{\text{брик}} = B_{\text{конкр}} \Theta = 20000 \times 0,5 = 10000 \text{ т у.т.}$$

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 22900 \frac{100 - 40 - 14}{100} - 25 \times 40 = 9534 \text{ Дж/кг}.$$

Определяем удельный расход торфа условной 40 % влажности для сжигания в теплогенераторе, используемого на сушку фрезерного торфа до требуемой влажности брикетов, в тоннах условного топлива [5]:

$$G_{\text{усл}}^{\text{сушки}} = G_{\text{конкр}} \Theta = 6658 \times 0,325 = 2164 \text{ т у.т./год},$$

где $G_{\text{конкр}}$ – расход торфа на сушку, т/год, (определено по [6]);

$\Theta = 0,325$ (определено по выражению (6) при влажности 40 %).

Данные расчеты показывают экономию сырьевых запасов торфа, из которых будет дополнительно получен брикет в количестве до 22 % с одного месторождения, что увеличит, соответственно, срок эксплуатации завода и значительно снизит себестоимость продукции.

При механическом способе уборки торфа для обеспечения максимальной производительности брикетного завода мощностью 20 тыс. т, необходимо добыть и обеспечить перевозку на завод $M^{40} = 36,4$ тыс. т фрезерного торфа (40 % влажности) [6]. Определим количество воды (негорючего вещества), испаренной при дополнительной сушке торфа на заводе до влажности 20 % по формуле (1) и (3):

$$M_{\text{воды}} = M^{40} - M^{20} = 36,4 - 27,3 = 9,1 \text{ тыс. т/год},$$

где $M^{20} = M^{40} \times K_w = 36,4 \times 0,75 = 27,3$ – масса фрезерного торфа при влажности 20 %;

$K_w = 0,75$ – переводной коэффициент из 40 % влажности на 20 % по формуле (1).

При этом необходимо отметить, что при пневматическом способе добычи торфа нет необходимости затрачивать энергию на перевозку и испарение этой лишней воды на заводе, так как ее испарение обеспечивается в естественных условиях сушки (18÷30 % влажности) солнечной энергией на полях добычи за счет увеличения циклов сборов тонкими равномерными слоями. Темный цвет торфяной залежи, на которой сфрезерована торфяная крошка тонким слоем, работает по типу солнечных батарей, накапливая тепло и максимально направляя его на удаление влаги из фрезерного торфа.

Следует подчеркнуть, многолетний опыт эксплуатации пневмоуборочных машин показал, что используемые ранее самоходные машины типа КПФ-6,4 металлоемкие и требовали очень ровных поверхностей уборочных карт, а иногда выходили из строя по причине деформации каркасов металлических сопел при движении по неровной поверхности.

Эти недостатки пневматического способа уборки торфа снижали производительность до 30 %, что значительно повлияло на отказ от использования этого способа в больших масштабах.

Для исключения потерь по причине поломок предлагается изменить конструктивно крепление всасывающих сопел самоходного комбайна. Для этого по горизонтали сопла дополнительно оборудуются опорными колесами, соединенными с плавающей сварной конструкцией, прикрепленной шарнирно к раме машины. В итоге соединение сопел с верхними воздуховодами по вертикали посредством резиновой гофры позволит им иметь 4 степени свободы, что полностью исключит отказы из-за деформации и обеспечит номинальную производительность.

Преимущества производства торфобрикетов с уборкой фрезерного торфа из растила в штабели с одновременным фрезерованием залежи в сравнении с традиционным, скреперным способом на примере модульного мини-завода приведены в таблице.

Таблица – Сравнительная характеристика уборки фрезерного торфа для брикетирования на блочно-модульном мини-заводе

Показатели	Уборка фрезерного торфа из валков в штабели прицепной машиной УМПФ-8 (при условной влажности 40 %)	Уборка фрезерного торфа из растила в штабели с одновременным фрезерованием залежи пневматическим комбайном КПФ-6,4
	Модульный мини-завод торфобрикетов с теплогенератором (Россия)	Модульный мини-завод торфобрикетов без теплогенератора
производительность уборочной машины за сезон, т у.т.	6877	9830
годовая производительность завода, тыс. т	20	20
годовая производительность завода, тыс. т у.т.	10	9,28
потребность фрезерного торфа на годовую мощность завода, тыс. т	36,4 (40 % влажности)	21 (24 % влажности) 26,6 (40 % влажности)
расход сырья на сушку, тыс. т/год (40 % влажности)	6,6	0
расход сырья на сушку, тыс. т у.т./год	2,164	0
стоимость оборудования мини-завода, млн. долларов	1,7	1,09
сырьевая база на 10 лет работы, т	364 000 (40 % влажности)	266 000 (40 % влажности)

Заключение

Разработка и внедрение в существующую технологию добычи усовершенствованного самоходного пневмоуборочного комбайна позволит добывать торф пониженной влажности. Фрезерный торф, добытый пневмоуборочными комбайнами, подлежит прессованию в брикеты без дополнительной подсушки. Этот аспект позволит эконо-

мить до 32 % торфа условной влажности 40 %, расходуемого на сжигание в котлах или топках при традиционном скреперном способе добычи и увеличить выход товарной продукции (торфобрикетов) на 22 %. Удаление влаги происходит более эффективно в естественных условиях за счет солнечной энергии.

Из-за дефицита площадей добычи некоторые предприятия торфяной промышленности Беларуси все чаще вынуждены осваивать мелкоконтурные залежи торфа. Строительство стационарных новых заводов в таких условиях экономически не целесообразно, так как срок окупаемости таких проектов свыше 20 лет. С учетом некоторых наработок применения модульного мини-брикетного завода (РБК «Владимир», Россия), основной особенностью которого является отсутствие зданий и сооружений, появляется возможность строительства модульных мини-брикетных заводов без устройства теплогенераторов. В общей стоимости всего модуля производительностью 20 тыс. т брикетов в год, теплогенераторы вместе с барабанными сушилками, блоком безопасности и подготовки теплоносителя составляют около 36 %. Новая схема брикетного производства без устройства сушилок с годовой мощностью 10-30 тыс. т позволит снизить себестоимость и повысить конкурентоспособность на отечественном и зарубежном рынках.

К 2020 году в торфяной промышленности Беларуси в случае пятидесятипроцентной замены парка уборочных машин УМПФ на КПФ, экономия сырья (влажность 40 %) составит около 320 тыс. т, из которого дополнительно можно произвести 240 тыс. т торфяных брикетов в год. Очевидна экономия тепловой и электрической энергии, снижение стоимости оборудования, эксплуатационных затрат, для определения количественных показателей которых требуются дополнительные исследования.

Список использованных источников

1. Торфяная промышленность СССР. – Ленинград: Недра, 1971. – 136 с.
2. По страницам полувековой истории торфяной промышленности (1917-1967 гг.). – Торфяная промышленность. – 1967. – № 2. – С. 41-46.
3. **Кислов, Н.В.** Пневмоуборка торфа из растила / Н.В. Кислов, В.И. Бакшинский. – Минск: Наука и техника, 1983. – 88 с.
4. **Кислов, Н.В.** Пневматический транспорт торфяного производства / Н.В. Кислов. – Минск, 1985. – 80 с.
5. **Юрнев, В.Н.** Теплотехнический справочник Т.1 / В.Н. Юрнев, П.Д. Лебедев. – Москва, 1975. – 116 с.
6. Нормы расхода сырья при производстве брикетов топливных на основе торфа и потерь торфа и торфяной продукции при хранении, погрузке и перевозках. – Министерство энергетики Республики Беларусь. – Минск, 2009. – 10 с.

Berezovski N.I., Boriseiko V.V.

Innovation energy- and resource saving technologies of peat briquettes production

The article presents the results of study of European experience in the sphere of loose material processing for power generation at the international exhibition «HANNOVER MESSE 2012». There are also stated the results of study of technologies and equipment of German manufacturers by Belarusian Chamber of Commerce and Industry. Native innovation energy- and resource saving technologies of peat fuel production are offered.

Поступила в редакцию 26.02.2014 г.