

УДК 620.9-027.236(045)(476)

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА И ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Березовский Н.И., Лесун Б.В. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В настоящее время наблюдается интерес к собственным природным ресурсам, где значительное место отводится торфяному фонду. В статье рассмотрены варианты энергоэффективного использования органоматериалов и структура потребления торфяного топлива в Республике Беларусь. Также приведены основные физико-технические и химические характеристики основных видов торфа, которые могут использоваться в производстве пористых строительных материалов. Приведено обоснование технологических параметров и физико-механических свойств сырья, применяемого в процессах при изготовлении пористых строительных материалов. Вводятся понятия критериев полноты и комплексности использования ресурсов.

Введение

Горно-химическая отрасль при комплексном использовании минеральных ресурсов обеспечит максимальное извлечение полезных компонентов, содержащихся в горно-химических рудах, утилизацию вмещающих пород и отходов производства для удовлетворения потребностей других отраслей народного хозяйства, а также пополнит минерально-сырьевую базу отрасли за счет попутного извлечения других полезных компонентов, улучшит свои технико-экономические показатели. В настоящее время интерес наблюдается к собственным природным ресурсам, где значительное место отводится торфяному фонду. Торфяные месторождения в настоящее время востребованы как топливный ресурс, как значительный объем сельскохозяйственных угодий и как важнейший объект природоохранного использования. Новые задачи требуют для своего решения системных обращений к торфяному фонду. При этих запросах возникают трудности в формировании набора показателей, т.к. не вся необходимая информация может быть получена из имеющихся материалов [1].

Торфяная отрасль ориентирована на развитие новых инновационных производств по «альтернативным направлениям использования торфа и продукции на его основе». Эффективным вариантом использования торфа следует считать такой, который обеспечивает максимальную экономическую выгоду от использования потенциальной ценности полезного ископаемого при ограничении негативного воздействия на составляющие окружающей среды при этом использовании [2].

Особую группу нетрадиционных видов минерального сырья составляют отходы, образующиеся при добыче и переработке полезных ископаемых. Их следует рассматривать как существенные, но малововлеченные в развитие экономики ресурсы, использование которых позволило бы одновременно решать сырьевую и экологическую задачи.

В последнее время возникают новые потребности в торфяном топливе: строительство мини-ТЭЦ, потребность цементной промышленности и т.п. В программе «Торф» [3] запланирована ежегодная добыча торфа до 3 млн т на нужды сельского хозяйства для утилизации жидкого навоза крупных животноводческих ферм с получением компостов для пахотных полей. Кроме того, при анализе хода выполнения этой программы Президиум Совета Министров ориентировал причастные к этим ресурсам ми-

нистерства и ведомства на доработку программы, предусматривающую развитие новых инновационных производств по «альтернативным» направлениям использования торфа и продукции на его основе, т.е. на процессах комплексного освоения [3].

В ГНУ «Природопользования НАН Беларуси» накоплен многолетний опыт по различным направлениям использования торфа. Созданы производства по выпуску разнообразной продукции и материалов на основе торфа. Это широкий класс органических и органоминеральных удобрений, мелиоративных и удобрительных смесей, грунтов, биостимуляторов, ростовых веществ, кормовых добавок и другой продукции для сельского хозяйства, сорбционных материалов, торфощелочных реагентов, литейных и антиадгезионных составов для промышленных производств, восков, лекарственных средств, предметов бытовой химии, косметики и других продуктов [1-3].

Следует отметить, что опробованные на практике такие производства относятся к ресурсосберегающим, а предварительные технико-экономические расчеты свидетельствуют об их рентабельности. Социально-экономическое значение такого направления использования торфа заключается в расширении ассортимента товаров для населения, в экономном использовании торфа, возможном импортозамещении.

Оценка вариантов энергоэффективного использования органогенных материалов

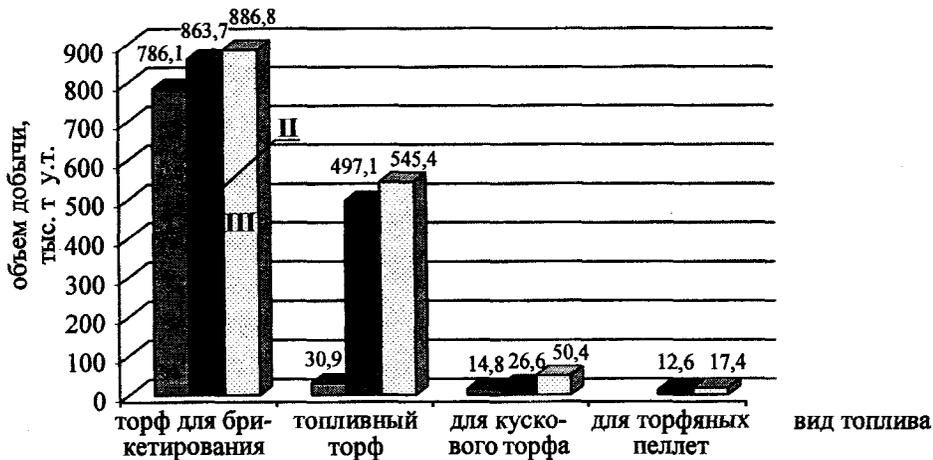
Важным требованием к исходному сырью для многих производств комплексного использования торфа является обеспечение функционального состава. Это достигается как технологиями добычи, так и подготовкой добытого сырья (дроблением, гранулированием). Ряд производств критичен к технологическим показателям исходной продукции, в особенности к условиям хранения.

Республика Беларусь обладает большими запасами древесины и торфа, которые относят к местным видам топлива (МВТ), где в качестве местного коммунально-бытового топлива используется фрезерный торф, кусковой торф и топливные брикеты. Потребителями топливного торфа являются тепловые электростанции, коммунально-бытовые потребители печного топлива, торфобрикетные заводы, поселковые котельные торфопредприятия. Анализ потребления торфяного топлива в Республике Беларусь (рисунок 1) показывает, что наибольшим спросом пользуется брикет. Так, по статистическим данным, в балансе использования торфа в энергетических целях в стране доля топлива, отпущенного населению, составляет 55,3 %, из них 65,9 % – брикеты. Полностью обеспечивая потребности внутреннего рынка, предприятия торфяной отрасли осуществляют также поставку брикетов на экспорт.



Рисунок 1. – Структура потребления торфяного топлива в Республике Беларусь

Прогноз объемов добычи торфа в Республике Беларусь на период до 2020 г. представлен на рисунке 2.



I – 2010 год; II – 2015 год; III – 2020 год

Рисунок 2. – Прогноз объемов добычи торфа в Республике Беларусь на период до 2020 г.

Согласно Государственной программе «Торф» в Беларуси предусмотрен рост объемов потребления торфа на энергетические цели, где намечено повысить производительность и снизить энергоемкость производства продукции из торфа [3].

Следует отметить, что использованием торфа и древесных отходов в различных областях строительной промышленности занимались многие ученые и организации. Часть из описанной выше продукции в настоящее время производится в регионах республики и используется во многих хозяйствах. На другие виды продукции у разработчиков имеется документация, которая необходима для организации производств.

В Республике Беларусь выявлены угленосные отложения различного возраста [4, 5]. Однако из-за их маломощности промышленная добыча угля пока не организована. Торф по сравнению с бурым углем наиболее молодой вид ископаемого минерального топлива, залежи его формируются и в современную эпоху. Теплота сгорания рабочей массы торфа колеблется в широких пределах в зависимости от влажности, массы и ее зольности (таблица 1).

Таблица 1. – Средний состав торфа, теплота сгорания при его различной влажности

Влажность	Состав рабочей массы, %					Зольность	Теплота сгорания, ккал/кг
	C_p	H_p	S_p	O_p	N_p		
20	41,1	4,3	0,2	23,8	1,8	8,8	3610
40	30,9	3,2	0,2	17,8	1,3	6,6	2560
50	25,7	2,7	0,1	14,9	1,1	5,5	2030

Следует отметить, что с увеличением влажности торфа значительно уменьшается содержание углерода, что приводит к изменению теплоты сгорания.

Фрезерный торф как сырье для брикетирования и компостирования характеризуется показателями: влажностью, зольностью, различным видом, степенью разложения залежи, фракционным составом и теплотой сгорания. На современном технологическом оборудовании брикетных заводов представляется возможным брикетировать фрезерный торф всех типов. Наиболее же эффективно перерабатывать торф средней и повышенной степени разложения. Оптимальная влажность, при которой обеспечивает-

ся наиболее низкая себестоимость заводского передела, составляет 40-50 %. Предел зольности фрезерного торфа для брикетирования установлен с учетом того, что зола является балластным компонентом, снижающим теплоту сгорания топлива. Для торфо-брикетных предприятий норма предельной зольности фрезерного торфа устанавливается в зависимости от естественной зольности залежи по данным паспортизации, но не более 23 %.

Наиболее успешно перерабатывается в брикеты торф равномерного фракционного состава, состоящий из частей размером до 8 мм. Из такого торфа получается сушенка с минимальной влагоразмерностью по фракциям, что обеспечивает получение наиболее прочных брикетов. Измельчение способствует повышению плотности и влагоустойчивости. Одним из основных требований к фрезерному торфу как сырью для брикетирования является постоянство показателей его качества.

В таблицах 2-7 приведены основные физико-технические и химические характеристики основных видов торфа, которые могут использоваться при производстве пористых строительных материалов (ПСМ).

Таблица 2. – Технические свойства низинных торфов

Показатели	Средние значения по группам торфа		
	древесная	травяная	моховая
Степень разложения R , %	45	29	21
Зольность на сухое вещество A^c , %	9,6	6,7	6,5
Влажность W , %	87	91	92
Теплота сгорания Q^2 , кДж/кг	23,20	23,36	22,69

Таблица 3. – Полная влагоемкость низинных торфов, кг/кг

Показатели	Средние значения по группам торфа		
	древесная	травяная	моховая
Полная влагоемкость, кг/кг средняя	8,5	12,5	11,4

Таблица 4. – Показатели элементного и группового химического составов органической массы низинного торфа, %

Элементный и групповой химический составы, %	Средние значения по группам торфа		
	древесная	травяная	моховая
Элементный состав			
Углерод С	58,4	57,8	36,7
Водород Н	5,7	5,9	3,7
Азот N	2,7	2,7	2,2
Сера S	0,7	0,4	0,6
Кислород O	32,5	33,2	34,8
Групповой состав			
Битумы (Б)	3,7	4,4	3,9
Легкогидролизные вещества (ЛГ)	20,9	26,4	29,3
Редуцирующие вещества (РВ)	9,1	14,8	17,1
Гуминовые кислоты (ГК)	41,6	38,9	36,1
Фульвокислоты (ФК)	17,4	14,3	16,5
Целлюлоза (Ц)	1,5	2,4	4,0
Лигнин (Л)	13,9	12,7	9,2

Здесь следует отметить, что в технологии получения ПСМ выгоднее использовать древесную и травяную группу торфа, которые содержат больше углерода и имеют высокую теплоту сгорания при агломерации.

Таблица 5. – Состав зольной части низинных торфов

Показатель	Средние значения по группам торфа		
	древесная	травяная	моховая
Средние значения зольной части, % (абсолютно сухого вещества) по разным месторождениям РБ, в зависимости от условий образования торфа	2,7	1,3	2,1
	3,4	2,2	2,3
	1,2	1,0	0,9
	0,8	0,5	0,6

Таблица 6. – Характеристика химического состава низинного торфа, % на сухое вещество

Показатель	Год	Химический состав					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅
% на сухое вещество	1980	20,3	4,2	0,5	2,5	1,2	0,3
	2011	44,24	6,63	13,28	23,52	6,60	1,34

Таблица 7. – Групповые компоненты и элементный состав, % на органическое вещество

Показатель	Групповые компоненты и элементный состав								
	Б	ЛГ	Гуминовые вещества	Трудногидролизуемые вещества	Негидролизуемый остаток	С	Н	N	S+O
% на органическое вещество	3,9	37,7	25,2	8,9	28,5	52,1	6,3	4,3	36,8

Физико-механические свойства сырья, применяемого в технологических процессах

Аглопоритовый щебень, песок, керамический блок, кирпич относятся к искусственным пористым материалам, получаемым в результате термической обработки шихт из алюмосиликатных материалов природного происхождения и отходов промышленности. Применяют их в качестве заполнителей при изготовлении теплоизоляционных и конструкционных строительных материалов, бетонов, а также в качестве утепляющих засыпок. Структурно-механические свойства сырьевых материалов определяют соответствующие методы их подготовки к термической обработке. Для выбора метода подготовки шихты основные исходные сырьевые материалы условно разделяют на следующие три группы: 1 – сухие плотные или зернистые материалы: природные глинистые и углесодержащие сланцы, получаемые при добыче и обогащении угля, и топливные кусковые шлаки; 2 – рыхлые природные глинистые породы и отходы промышленности: глины, суглинки, супеси, лессы, а также глинистые углесодержащие отходы добычи и обогащения угля; 3 – сухие пылевидные или зернистые материалы: золы от сжигания углей и газогенераторные золы.

Природные глинистые породы применяют в производстве аглопорита, хотя с экономической точки зрения для этой цели целесообразны отходы промышленности. Добавки выбирают с учетом наличия местных сырьевых ресурсов и характеристик основных компонентов шихты. При избыточном количестве топлива в топливосодержащем сырье в шихту вводят возврат (до 20 %), а также горелую или глинистую породу, а при недостатке топлива – уголь или углесодержащую добавку. Введение в шихту древесных опилок (до 10 %) и лигнина (до 25 % по объему) увеличивает пористость и ускоряет процессы горения топлива и спекания. Добавка сухой золы ТЭС снижает влажность обводненных глин и снижает расход топлива за счет содержащихся в ней прокаленных материалов и несгоревшего углерода. Содержание топлива в шихте при использовании глинистых пород обычно 6-8, шахтных пород – 8-10, золы ТЭС – 10-12 % по массе. Предельный размер гранул шихты не должен превышать 10-12 мм, а размер составных ее частей: исходного сырья – 5 мм, угля – 3 мм, твердых добавок от 5 мм (плотных) до 10 мм (пористых).

По своему химическому составу вскрышные породы месторождения «Ольшанка» раньше использовались для производства аглопорита с добавками местного топлива, которое может создавать необходимую теплоту (до 4200 ккал/кг) сгорания в зоне агломерационной машины на основе торфа. В лабораторных условиях ранее использовались фрезерный торф, гранулы, сапрпель, древесные опилки и лигнин, которые являются отходами в топливной, деревообрабатывающей и гидролизной промышленности [6].

Структурно-механические свойства сырьевых материалов определяют соответствующие методы их подготовки к термической обработке. Основная технологическая операция при производстве аглопорита – это спекание шихты на решетке агломерационной машины непрерывного действия, где теплота сгорания топлива должна быть выше 4000 ккал/кг. Спеканию подвергаются малопластичные глинистые породы, которые при обжиге не вспучиваются. Некоторые вскрышные породы горных предприятий Республики Беларусь отвечают этим требованиям. За счет горения угля, который вводится в шихту, развивается температура до 1300 К. Это приводит к спеканию шихты в пористую остеклованную массу. Следует отметить, что протекающие процессы тепло-массопереноса не заканчиваются в зонах сушки и нагрева, а накладываются друг на друга по всей длине ленты и развиваются параллельно.

В Республике Беларусь в настоящее время выпускают в основном кирпич керамический, песок и щебень аглопоритовые, песок перлитовый, плиты теплоизоляционные. Аглопорит используется в качестве заполнителя легких бетонов и теплоизоляционных засыпок. Для получения этих материалов и изделий требуется добыть, переработать большое количество минерального сырья, материалов и топлива. Поэтому необходимы своевременная разработка, эффективное использование наиболее совершенных, высокопроизводительных и экономичных машин и оборудования.

Сырье для производства аглопорита характеризуется равномерной микроструктурой. Глинистое вещество его имеет полиминеральный состав и представляет собой неоднородную смесь гидрослюда и каолита. Сырье месторождения «Фанипольское» относится к группе сырья со средним содержанием включений; по размеру включений – к группе с крупными, мелкими и средними включениями; по виду включений – к группе с включениями железистых и кварцевых минералов; по содержанию тонкодисперсных фракций – к группе грубодисперсного глинистого сырья; по пластичности – к группе непластичного глинистого сырья; по огнеупорности – к группе тугоплавкого сырья (таблица 8) [7].

Таблица 8. – Химический состав глинистого сырья месторождений «Фанипольское» и «Фаниполь»

Наименование месторождения	Содержание оксидов, %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	ППП
«Фанипольское»	76,03	10,57	0,48	2,16	2,80	1,00	3,70
«Фаниполь»	80,30	6,30	0,34	2,42	3,54	1,60	2,50

Число пластичности сырья от 0 до 12, огнеупорность 1400-1460 °С, карьерная влажность 18-23 %. В таблице 9 приведен зерновой состав глинистого сырья месторождений «Фанипольское» и «Фаниполь».

Таблица 9. – Зерновой состав глинистого сырья месторождений «Фанипольское» и «Фаниполь»

Наименование месторождения	Размер частиц, мм					
	более 0,25	0,23-0,01	менее 0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001
	Содержание фракций, %					
«Фаниполь»	6,04	71,43	22,53	5,84	7,69	9,01
«Фанипольское»	1,20	63,85	32,95	9,63	11,50	11,80

Основные технологические параметры производства аглопорита разрабатывались применительно к агломерационной машине СМ-961, где высота спекаемого слоя составляла 300 мм, разрежение при зажигании – 60 мм вод. ст., при спекании – 200 мм вод. ст., выгрузка спека осуществлялась в основном через 45 мин. Верхний предел крупности гранул торфа 7-10 мм, наличие мелочи менее 1 мм нежелательно (увеличивается выход возврата, уменьшается вертикальная скорость спекания шихты). Для стабилизации процесса спекания шихты с частичной заменой угля «АШ» торфом необходимо обеспечить дополнительный нагрев поверхности зажигаемого слоя шихты в сравнении с шихтой общепринятой (суглинок – возврат – уголь «АШ»). Применение импортозамещающей технологии позволит улучшить некоторые показатели по утилизации и использованию МВТ и вторичных энергоресурсов, где расчет можно производить через критерии, связывающие полноту и комплексность использования местных ресурсов.

Полнота и комплексность использования ресурсов

В настоящее время остро стоит проблема экономии, снижения и рационального использования сырья, топлива, электро- и теплоэнергии, снижения материальных затрат. Рациональное освоение этого природного ресурса, означает полное ресурсосберегающее использование потенциальной ценности этого сырья с получением широкого набора различных продуктов, не имеющих аналогов при переработке других видов природных ресурсов.

Полнота и комплексность использования ресурсов может быть оценена с помощью ряда критериев.

1. Критерий рациональности K_p

$$K_p = \frac{Q_x}{Q_n} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где Q_u – количество ресурсов, использованных в производстве;

Q_n – количество ресурсов, изъятых из природной среды.

2. Критерий комплексности K_k

$$K_k = \frac{II_n}{II_c} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где II_n – ценность продукции, фактически произведенной из минерального сырья;

II_c – суммарная ценность компонентов в сырье.

3. Критерий безотходности K_b

$$K_b = \frac{M_y}{M_o} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где M_y – масса утилизируемых отходов;

M_o – масса отходов, выделившихся в процессе производства.

Комплексность использования сырья можно также охарактеризовать критерием использования:

$$K_{исп} = N_p / N_T, \quad (4)$$

где N_p – число реализуемых вариантов использования сырья;

N_T – число теоретически возможных вариантов использования.

Выводы

Установлено, что структура потребления торфа в настоящее время в основном сводится к производству брикетов и производству сельскохозяйственной продукции, малая доля торфа используется для производства кускового торфа, паллет и экспорта, а в производстве ПСМ не используется.

1. В последнее время найдены новые направления использования фрезерного торфа и дробленных торфяных брикетов в энергетике вместо импортного газа.

2. Установлено, что использование МВТ и вторичных энергетических ресурсов в производстве ПСМ позволит улучшить показатели рациональности, комплексности, безотходности и снизить энергозатраты на производство единицы продукции.

3. Показано, что с увеличением влажности торфа значительно уменьшается содержание углерода, что приводит к изменению теплоты сгорания, а также следует отметить, что в технологии получения ПСМ выгоднее использовать древесную и травяную группу торфа, которые содержат больше углерода и имеют высокую теплоту сгорания при агломерации.

4. Проведенные нами лабораторные и полупромышленные исследования выявили основные направления использования торфа, угля и сапропелей в производстве аглопорита. При этом лабораторные испытания проводились на суглинках месторождений «Ольшанка», «Фанипольское», «Гайдуковка» и торфе ОАО «ТБЗ Усяж», ОАО «ТБЗ Старобинский».

5. Определены составы сырьевой смеси, физико-механические свойства торфа, химический состав суглинков, а также качественные показатели готовой продукции по зерновому составу и прочности, позволяющие уменьшить до 10 % энергозатраты при производстве ПСМ, а также улучшить критерии рациональности, комплексности и безотходности.

Список цитированных источников

1. **Карабанов, А.К.** Институту природопользования национальной академии наук Беларуси – 80 лет: основные направления и важнейшие результаты научно-исследовательской деятельности за последнее десятилетие / А.К. Карабанов, Г.А. Камышенко // Природопользование. – 2012. – Выпуск 22. – С. 5-17.
2. Государственная научно-техническая программа: «Природные ресурсы и окружающая среда»: первые результаты / И.И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – 2012. – Выпуск 22. – С. 188-195.
3. Торф – государственная программа на 2008-2011 годы и на период до 2020 года. – Минск, 2008. – 140 с.
4. **Березовский, Н.И.** Добыча и переработка горных пород. Осадочные горные породы / Н.И. Березовский, Б.А. Богатов. – Минск: БНТУ, 2005. – 138 с.
5. **Березовский, Н.И.** Природные ресурсы и их использование / Н.И. Березовский, Е.К. Костюкевич. – Минск: БНТУ, 2005. – 188 с.
6. **Березовский, Н.И.** Разработка энергоэффективных технологий / Н.И. Березовский. – Минск: БИП-С Плюс, 2006. – 219 с.
7. Использование местных видов топлива (МВТ) и ВТЭР в производстве пористых строительных материалов: монография / Н.И. Березовский [и др.]. – Минск: БИП, 2014. – 120 с.

Berezovsky N.I., Lesun B.V.

Efficient use of local fuels and secondary energy resources

Currently, there is an interest in local natural resources, where considerable place is devoted to peat deposits. The article considers the options for effective use of energy from organic materials and structure of consumption of peat fuel in the Republic of Belarus. The basic physical, technical and chemical characteristics of the main types of peat that can be used in production of porous building materials are also described. Substantiation of technological parameters and physical and mechanical properties of raw materials that are used in technological processes in production of open-textured building materials is given. The concepts of criteria of completeness and comprehensiveness of the use of resources have been introduced.

Поступила в редакцию 13.05.2016 г.