

В рамках програмы "Торф" (Республика Беларусь), розроблена фізіка-матэматычная модель агломерацыі сировінной сумішы з выкарыстаннем місцевых відів палива, позначені напярэмкі, неабходны для рэалізацыі плану збольшэння выкарыстання торфу в энергетычных цілях. Розроблена матэматычныя моделі за вызначэннем каэфіцыента валагаводнасці. Вызначена залежнасці міцнасці аглопориту від яго шчыльнасці пры дадаванні падрыхненых брыкетів і турсі

Ключовыя слова: торф'яны брыкеты, агломерацыя, усереднення, збагачэння, модель, аглопорит, вторинны энергоресурсы

В рамках программы "Торф" (Республика Беларусь), разработана физико-математическая модель агломерации сырьевой смеси с использованием местных видов топлива, обозначены направления, необходимые для реализации плана увеличения использования торфа в энергетических целях. Разработаны математические модели по определению коэффициента влагопроводности. Определены зависимости прочности аглопорита от его плотности при добавлении дробленых брикетов и опилок

Ключевые слова: торфяные брикеты, агломерация, усреднение, обогащение, модель, аглопорит, вторичные энергоресурсы

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

Б. В. Лесун

Начальник регионального центра
Белорусский национальный технический
университет, ИИФОиМО
пр. Независимости, 65,
г. Минск, Республика Беларусь, 220013
E-mail: boris.lesun@bntu.by

1. Введение

В рамках работы, которая проводится в Республике Беларусь по реализации Государственной программы "Торф" [1], разработана физико-математическая модель агломерации сырьевой смеси с использованием местных видов топлива, обозначены направления, необходимые для реализации плана увеличения использования торфа в энергетических целях. Использование местного топлива с низкой теплотворной способностью [2] требует разработки новых способов по обогащению, усреднению, определению оптимальных сырьевых составов и режимов технологической обработки с целью более эффективного их сжигания в слое шихты при ее обжиге. Это позволит снизить зависимость экономики от импорта дорогостоящих топлив и уменьшить себестоимость процессов. Для этих целей были исследованы физико-механические свойства сырья и топливных брикетов, элементный состав торфа. В процессе усреднения был определен фракционный состав топлива на основе топливных брикетов после первого и второго дробления. Разработаны математические модели по определению коэффициента влагопроводности. Рассмотрено влияние различного содержания в смеси суглинков, торфяной крошки и угля на прочность аглопорита. Определены зависимости прочности аглопорита от его плотности при добавлении дробленых брикетов и опилок в получившейся опытной партии.

2. Литературный обзор и постановка задачи

Для производства строительных материалов необходимы дешевые материалы и изделия из местного сырья. Анализ теплотехнических характеристик торфа, используя публикации по теме и собственные опыты [3–5], позволяет допустить использование торфа как технологического топлива при производстве аглопорита. Теплота сгорания рабочей массы торфа колеблется в широких пределах в зависимости от влажности массы и ее зольности [6–8]. В процессе исследования получения аглопоритового щебня и песка с использованием фрезерного торфа определен оптимальный состав шихты по результатам предварительных исследований [9]. Необходимо отметить, что оптимальная влажность сырьевой смеси зависит от вида применяемого торфа.

Исследуем возможность расширения интервала пригодности сырья для использования в получении промышленных продуктов.

Можно использовать лом брикетов, который образуется при прессовании фрезерного торфа и подаче брикетов на кулеры, и по своим качествам не соответствует республиканским стандартам, но может использоваться как добавка в аглопорит и керамический кирпич. В табл. 1, 2 приведены физико-механические свойства торфа, брикетов и их теплотворная способность.

Таблица 1

Данные по определению элементного состава торфа (ОАО «ТБЗ Усяж», Беларусь), %

Номер пробы, п / п	Элементный состав				
	C ^r	H ^r	O ^r	S ^r	N ^r
1	58,9	5,6	32,2	0,13	3,0
2	58,9	5,6	31,2	0,4	3,8
3	58,4	5,9	31,7	0,4	4,2
4	58,3	5,9	31,7	0,4	4,0
5	58,1	6,0	31,4	0,4	4,4
6	58,5	5,8	31,7	0,4	3,6
7	57,2	7,0	31,5	0,4	3,9
8	58,3	5,9	31,7	0,4	3,7
9	58,8	5,7	31,6	0,3	3,6
10	58,5	5,7	31,3	0,4	4,1
11	59,1	5,6	31,8	0,3	3,2
12	57,6	5,8	32,6	0,4	3,6
13	58,9	6,4	31,1	0,4	3,5
14	58,8	6,0	30,4	0,4	3,2
15	59,2	5,4	31,9	0,4	4,0
16	58,0	6,0	32,0	0,4	3,6

Таблица 2

Физико-механические свойства сырья и топливных брикетов (ОАО «ТБЗ Усяж», Беларусь)

Номер пробы, п / п	Влажность сырья, %	Насыпной вес, кг/м ³	Влажность брикета, %	Зольность брикета, %	Механическая прочность, %
1	52,0	430	20,0	22,0	95,6
2	48,6	494	19,0	22,5	95,1
3	50,4	458	20,2	23,0	94,9
4	50,3	461	20,1	22,5	95,4
5	51,0	460	20,0	23,0	95,0
6	52,1	444	20,5	22,0	95,4
7	53,9	411	21,0	21,5	95,0
8	52,3	427	20,0	22,1	95,1
9	53,0	430	20,0	21,0	95,0
10	53,1	431	20,0	22,0	95,4
11	54,4	404	20,0	22,5	95,2
12	53,5	419	20,0	21,8	95,2
13	52,8	431	20,0	22,5	95,0
14	54,3	398	20,0	22,5	95,6
15	53,3	419	20,0	22,5	95,4

3. Обогащение исходного материала посредством дробления и усреднения

В технологии получения дробленых торфяных брикетов использовалась валковая дробилка для первой и второй стадии дробления (табл. 3).

Торфодробилка предназначена для измельчения и дробления торфяного топливного брикета марки БТ-7 (рис. 1) сухим методом в технических циклах производства.

Торфодробилка состоит из рамы 1, представляющей собой сварную конструкцию из листовой и профильной стали, подшипниковых корпусов 8, внутри которых вращаются в противоположных направлениях вал-

ки 2. Валки являются рабочим органом, измельчающим брикеты. Размер фракции после дробления зависит от расстояния между валками, которое регулируется упорными винтами. Валки сжимаются до требуемого расстояния пружинами. При попадании в дробилку посторонних предметов, более твердых чем брикеты, валки раздвигаются на максимальный размер. При этом срабатывает конечный выключатель и привод торфодробилки останавливается. Электродвигатель 7 создает крутящий момент, который через муфту 6 передается на редуктор 5. Первый валок связан с шестерней редуктора непосредственно, а второй через паразитную шестерню 4. Это обеспечивает вращение валков для продавливания торфобрикета сверху вниз. Для увеличения срока службы валков их рабочая часть выполнена из износостойких сменных накладок (брони) 3. Для проверки надёжности крепления броней и подтяжки болтов в верхней части корпуса имеется четыре лючка 9. Внутри входного фланца имеется торцевая броня над валками. Каждый раз после регулировки расстояния между валками необходимо корректировать её положение. Доступ к креплению этой брони осуществляется через крышки в торцевых стенках корпуса.

Таблица 3

Основные технические данные торфодробилки

№ п. п.	Наименование показателя	Значение
1	Размеры загрузочного окна, мм	1010x408
2	Производительность, м ³ /ч	до 25
3	Мощность электродвигателя, кВт	7,5
4	Габаритные размеры, мм	2640x990x1063
5	Смазка, применяемая для подшипниковых узлов и зубчатой передачи	Литол – 24 ГОСТ 21150-87
6	Масса, кг	3170
7	Частота вращения валков, об/мин	22
8	Расстояние между валками, мм	до 420

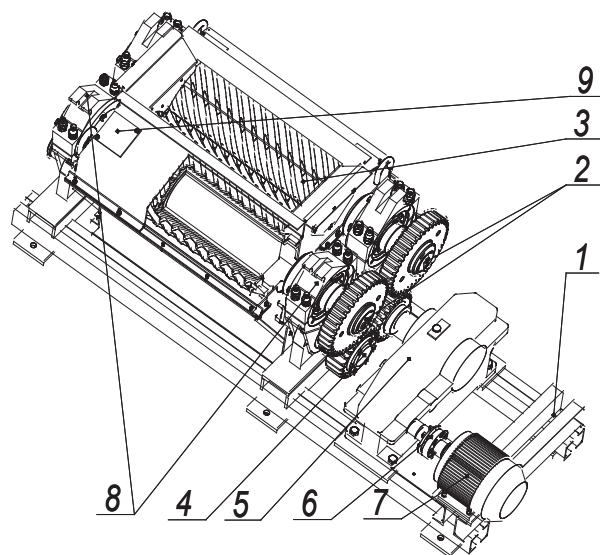


Рис. 1. Основные узлы агрегата торфодробилки

Показатели качества брикетов:

- механическая прочность не менее 94 % по СТБ 1919-2001,
- плотность до 1200 кг/м³,
- размеры: длина 180 мм, ширина 70 мм, высота от 40 мм до 70 мм.

После установки минимального зазора между валками, был произведен контрольный анализ на фракционный состав топлива на основе торфа.

В процессе отсева были получены следующие результаты (табл. 4–7).

Таблица 4

Данные фракционного состава после первого дробления

№ п / п	Размер фракции, мм	Масса, кг	%
2	40÷50	1,48	12,5
3	25÷40	2,5	21,1
4	13÷25	2,6	21,9
5	10÷13	1,1	9,3
6	6÷10	1,5	12,6
7	Меньше 6	1,7	14,3
8	Итого	11,86	100

Таблица 5

Определение фракционного состава топлива на основе торфяных брикетов ОАО «ТБЗ Усяж»

№ п. п.	Размер фракции, мм	1-е дробление, % среднее из 3 проб		2-е дробление, % среднее из 3 проб	
		1	25–40	9,8	5,0
2	13–25	19,4	17,1	17,1	17,1
3	10–13	9,8	7,1	7,1	7,1
4	6–10	13,9	11,3	11,3	11,3
5	1–6	30,4	32,7	32,7	32,7
6	Менее 6	16,7	26,8	26,8	26,8

Таблица 6

Определения фракционного состава топлива на основе топливных брикетов после первого дробления

Размер фракции, мм	ОАО «ТБЗ Старобинский» (участок «Слуцкий»)		ОАО «ТБЗ Несвиж»		ОАО «ТБЗ Сергеевичский»		% среднее
	кг	%	кг	%	кг	%	
13÷25	2,64	29,3	4,24	52,6	1,74	24,0	35,3
10÷13	1,2	13,3	1,02	12,7	3,32	45,9	23,9
6÷10	1,4	15,5	0,94	11,7	0,7	9,6	12,2
1÷6	2,45	27,2	0,78	9,6	1,2	16,6	17,8
меньше 1	0,72	8,0	0,08	1,0	0,24	3,3	4,1
ИТОГО:	9,01	100	8,06	100	7,24	100	100

Как видим, топливо после второго этапа дробления значительно ближе по своим размерам к среднему значению, что является необходимым условием для его использования. Так же необходимо усреднить топливо и по другим характеристикам.

Наиболее удачными способами усреднения по зольности и влажности являются вариант «слоевой», реализуемый в штабелях, а также технология

с разгрузкой от бункеров, где среднее значения по зольности составляет 16,8 %, а по влажности 22,8 %. Модель применяемого способа усреднения строится быстрее и проще, если преобразование или ряд Фурье применяется непосредственно к функции качества продукции [4].

Таблица 7

Определение фракционного состава топлива на основе топливных брикетов после 2-го дробления

Размер фракции, мм	№ пробы						% среднее
	ОАО «ТБЗ Старобинский» (участок «Слуцкий»)		ОАО «ТБЗ Несвиж»		ОАО «ТБЗ Сергеевичский»		
	кг	%	кг	%	кг	%	
25÷40	0,14	1,5	0,34	3,6	0,28	3,2	2,8
13÷25	1,74	18,8	2,38	25,4	1,6	18,5	20,9
10÷13	0,96	10,4	0,84	9,0	0,82	9,5	9,6
6÷10	1,28	13,9	1,32	14,0	1,4	16,1	14,6
1÷6	3,32	35,9	3,0	32,0	2,9	33,4	33,8
меньше 1	1,8	19,5	1,5	16,0	1,67	19,3	18,3
ИТОГО:	9,24	100	9,38	100	8,67	100	100

При смешивании торфа с различным влагосодержанием важно перед его обработкой знать концентрацию влаги в смеси, от этого зависит время сушки, энергоёмкость процесса брикетирования. Концентрация влаги смеси можно определить по формуле

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n m_{bi}}{\sum_{i=1}^n m_{ci}}, \quad (1)$$

где m_{bi} – количество влаги в i -ой компоненте смеси; m_{ci} – количество i -ой компоненты при смешивании, n – число компонент.

На основании теории массопереноса количество влаги, перешедшей от одной компоненты смеси к другой Δm_b , может быть вычислена по закону

$$\Delta m_{bi} = c_{mi} m_{ci} (\theta_{i+1} - \theta_i), i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где c_{mi} – удельная влагоемкость i -ой компоненты; θ_i – потенциал массопереноса i -ой компоненты.

Известно [4], что удельная влагоемкость есть величина постоянная при $\theta > 100^\circ \text{M}$.

Потенциал массопереноса на изометрических поверхностях есть функция удельного влагосодержания

$$p = \frac{m_b}{m_c}. \quad \text{На основании экспериментальных данных}$$

получена функциональная зависимость $\theta(p)$ для температуры окружающей среды $T = 25^\circ \text{C}$ для фрезерного торфа

$$\theta(p) = 178 + 0,945u. \quad (3)$$

На основании линейной зависимости легко вычисляются значения потенциалов массопереноса компо-

нентов смешиваемого торфа и, следовательно, количество дрейфующей влаги $\Delta m_{в}$. Усреднение происходит за счет взаимной передачи влаги между партиями торфа с различным влагосодержанием.

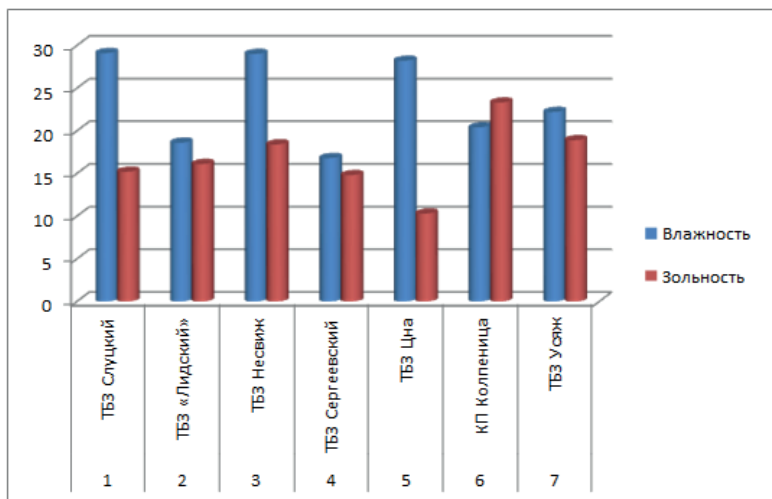


Рис. 2. Показатели влажности торфяных брикетов для измельчения

Анализ этого процесса во времени t аналогичен процессу распространения тепла по закону

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a_m \nabla^2 p, \tag{4}$$

где a_m – коэффициент теплопроводности материала ($a_m = \frac{\lambda_m}{c_m \rho}$, λ_m – коэффициент теплопроводности, ρ – плотность вещества). Оператор ∇^2 в зависимости от формы объекта, может быть записан для линейного случая, плоского или пространственного в виде

$$\nabla^2 p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \nabla^2 u = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}, \nabla^2 u = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}. \tag{5}$$

4. Результаты экспериментальных исследований прочности аглопоритового щебня и их обсуждение

Для производства аглопорита использовались промышленные отходы – суглинки, полученные при добыче песка и песчано-гравийной смеси на месторождении «Ольшанка», с добавками местного топлива на основе торфа, лома топливных брикетов, древесных опилок. Их параметры следующие: SiO_2 – 77,0 – 80,8 %; $Al_2O_3 + TiO_2$ – 9,1 – 9,6 %; Fe_2O_3 – 2,4 – 2,8 %; $MgO + CaO$ – 1,5 – 4,4 %; $Na_2O + K_2O$ – 3,5 – 3,8 %; потери при прокаливании – 1,0 – 3,9 %

Уровни факторов и интервалы варьирования предварительных опытов представлены в табл. 8: торфяная крошка – 2–3 %, суглинки – 87–89 %, уголь – 7–8 %.

По методике, основанной на однородности дисперсии, определенной по критерию Кохрена, проводилось математическое планирование эксперимента.

В табл. 9 указаны x_1, x_2, x_3 – математические значения факторов; X_1, X_2, X_3 – физическое значение факторов (соответствует С, Т, У). Введение в шихту тор-

фяной крошки показало, что прочность полученного аглопоритового щебня и его плотность соответствуют требованиям ГОСТ 9757-90 «Гравий, щебень и песок искусственные пористые».

Таблица 8

Уровни факторов и интервалы их варьирования

№	Факторы	Суглинки-С		Торфяная крошка Т		Уголь-У	
		$X_1, \%$	x_1	$X_2, \%$	x_2	$X_3, \%$	x_3
1	Основной уровень $X=0$	88	0	2,5	0	7,5	0
2	Интервал варьирования	1		0,5		0,5	
3	Верхний уровень $X=+1$	89	+1	3	+1	8	+1
4	Нижний уровень $X=-1$	87	-1	2	-1	7	-1

Таблица 9

Результаты опытов по определению прочности аглопоритового щебня при сдавливании в цилиндре

Серии опытов	Уровни факторов			Параметр оптимизации, МПа
	X_1	X_2	X_3	П
1	–	–	–	1,18
2	+	+	+	1,94
3	–	+	+	2,27
4	+	–	–	1,80

Полный факторный эксперимент для четырех факторов состоит из числа опытов которое можно найти по формуле $N = 2^n$, где N – число опытов; n – число факторов.

Для уменьшения количества опытов была применена полуреплика типа 2^{n-1} , которая сохраняет способность математически характеризовать изучаемый процесс, где генерирующие соотношение $X_4 = -X_3 X_2 X_1$ и определяющий контраст $I = -X_1 X_2 X_3 X_4$. В такой схеме линейные коэффициенты в уравнении регрессии смешаны с коэффициентами тройного взаимодействия, т. е.

$$b_0 \rightarrow \beta_0 - \beta_{1234}; b_1 \rightarrow \beta_1 - \beta_{234};$$

$$b_2 \rightarrow \beta_2 - \beta_{134}; b_3 \rightarrow \beta_3 - \beta_{124};$$

$$b_4 \rightarrow \beta_4 - \beta_{123}; b_{12} \rightarrow \beta_{12} - \beta_{34};$$

$$b_{13} \rightarrow \beta_{13} - \beta_{24}; b_{14} \rightarrow \beta_{14} - \beta_{23}.$$

Предполагается, что коэффициенты $\beta_{234}, \beta_{134}, \beta_{124}, \beta_{123}$ малы и несущественно исказят линейные коэффициенты b_1, b_2, b_3, b_4 .

Для исключения влияния ошибок, вызванных внешними условиями, проводилась рандомизация, то есть по таблице случайных чисел выбиралась последовательность опытов.

Однородность дисперсий определялась по критерию Кохрена:

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}, \quad (6)$$

где G_p – расчетное значение критерия Кохрена.

Если выполняется условие $G_p \leq G_T$, то опыты воспроизводимы, а оценки дисперсий – однородные.

Если же $G_p > G_T$, то выявляют и устраняют источник нестабильности экспериментов или используют более точный метод и средства измерения.

Дисперсия воспроизводимости рассчитывалась по формуле:

$$S_b^2 = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^n (y_{jk} - y_j)^2}{N(n' - 1)}, \quad (7)$$

где n' – число параллельных опытов.

После проведения эксперимента дробной реплики и полного факторного эксперимента определялись коэффициенты регрессии:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{y}_j}{N}, \quad (8)$$

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{y}_j \cdot x_{ji}}{N}, \quad (9)$$

$$b_{lm} = \frac{\sum_{j=1}^N x_{jl} \cdot x_{jm} \cdot \bar{y}_j}{N}, (l \neq m), \quad (10)$$

где j – номер опыта; i, l, m – номера факторов.

Значимость этих коэффициентов определяется следующим образом:

$$\Delta b = \pm t_{N(n-1)} \cdot S_j, \quad (11)$$

где $t_{N(n-1)}$ – значение критерия Стьюдента; – дисперсия коэффициентов.

$$S_j^2 = \frac{S_b^2}{N \cdot n}. \quad (12)$$

После получения уравнения регрессии его проверяют по критерию Фишера на адекватность, то есть способность достаточно хорошо описывать поверхность отклика:

$$S_{ag}^2 = \frac{n \sum (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2}{N - k}, \quad (13)$$

где \bar{y}_j, \hat{y}_j – среднее экспериментальное и расчётное значения параметра оптимизации в j -м опыте; k – число рассчитанных коэффициентов в уравнении регрессии, включая и свободный член.

$$F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_b^2}, \quad (14)$$

где F_p – расчётное значение критерия Фишера.

Уравнение регрессии считается адекватным, так как полученное значение $F_p < F_T$, значения коэффициентов регрессии: $b_0=1,79, b_1=0,29, b_2=1,23, b_3=0,30$.

Для серии опытов по определению прочности аглопоритового щебня уравнение регрессии будет выглядеть следующим образом:

$$P = 1,79 + 1,29x_1 + 1,23x_2 + 0,30x_3. \quad (15)$$

Зависимость прочности аглопоритового щебня от его плотности при добавлении отходов торфяного производства и вскрышных пород показана на рис. 3. Результаты серии опытов по определению прочности аглопоритового щебня с введением опилок показаны на рис. 4.

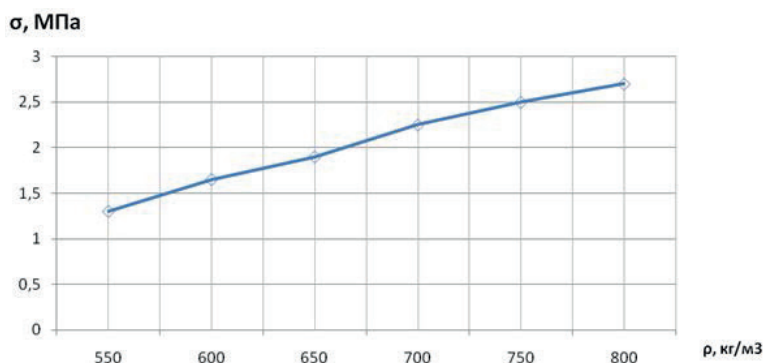


Рис. 3. Зависимость прочности аглопорита от его плотности с добавкой брикетов дроблёных

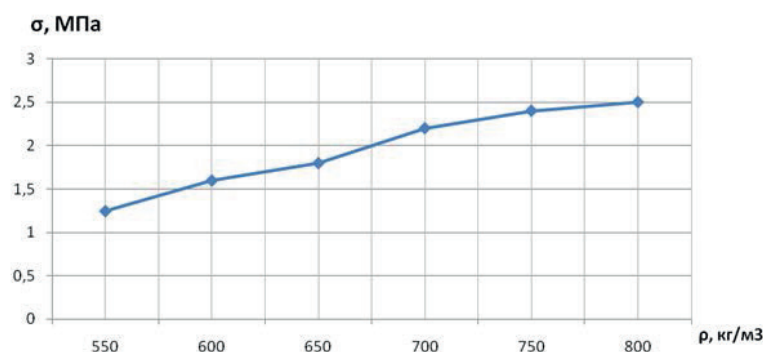


Рис. 4. Зависимость прочности аглопорита от его плотности с добавкой опилок

Обработкой экспериментальных данных методом наименьших квадратов получены математические модели, характеризующие зависимость прочности аглопорита от его плотности:

$$\sigma = 3,79 \times \ln(\rho) - 22,58 (R^2 = 0,99). \quad (16)$$

Большое значение имеет изучение качественных показателей аглопорита, спекаемого с различными видами технологического топлива. Полученные на Минском Заводе Строительных Материалов аглопоритовый щебень и песок с применением фрезерного торфа и древесных опилок [10] практически по всем качественным показателям близки показателям продукции с использованием обычной шихты и согласно стандарту по показателям насыпной плотности относят: к марке 600 (фракция 20–40 мм и 10–20 мм), к марке 700 (фракция 5–10 мм); к маркам 1000–1100 (фракция менее 5 мм); по показателям прочности аглопоритовый щебень относится: к марке 75 (фракция 20–40 мм и 10–20 мм); к марке 200–250 (фракция 5–10 мм). Был получен патент на изобретение Республики Беларусь № А20111621 от 30.11.2011 «Состав сырьевой смеси».

Практический интерес в технологии производства аглопоритового щебня и песка представляет использование увеличения крупности частиц (фракционного состава) торфа до 10 мм с целью повышения его массы.

5. Выводы

Исследованные варианты использования местных видов топлива и вторичных энергоресурсов на основе фрезерного торфа, продуктов его переработки и древесных опилок в технологии получения аглопорита, позволили разработать рациональный процесс агломерации сырьевой смеси, процессы сушки и обжига материалов для производства пористых строительных материалов. Разработанная адекватная математиче-

ская модель зависимости прочности аглопорита от его плотности с различными видами выгорающих добавок (торф и древесные опилки) позволила сформулировать основные рекомендации для совершенствования технологии получения пористых строительных материалов на основе аглопорита. Благодаря этому появилась возможность приблизиться к решению актуальной задачи разработки энергосберегающей и экологически безопасной технологии получения аглопорита, широко применяемого в промышленности в качестве теплоизоляционного материала, а также других строительных материалов с использованием местных видов топлив, ВТЭР и отходов промышленности (вскрышные породы, недожог сырьевой смеси). Для достижения этих целей следует развивать производства, имеющие высокую долю местных ресурсов, а также более глубокую их переработку.

Проведенные исследования показали возможность применения некоторых видов фрезерного торфа, а также измельченных топливных брикетов в валковых дробилках топливных брикетов. Это позволяет уменьшить себестоимость продукции и энергозатраты при производстве 1 т товарной продукции. Поэтому использование топлива с малой теплотворной способностью требует разработки способов более эффективного его обогащения. Внедрение научных разработок в производство на ОАО «Минский завод строительных материалов» позволило получить экономический эффект более 100 миллионов бел. руб. (прибл. 10 000 долларов США) при выпуске опытной партии аглопорита за счёт разницы цен составляющих сырьевой смеси и уменьшения энергозатрат при их агломерации и улучшения экологической обстановки.

Литература

1. Торф – государственная программа на 2008-2011 годы и на период до 2020 года [Текст] / Минск, 2008. – 140 с.
2. Березовский, Н. И. Разработка инновационных технологий [Текст]: монография / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Б. В. Лесун. – Минск: БИП, 2013. – 84 с.
3. Березовский, Н. И. Обогащение и комплексное использование минеральных ресурсов [Текст]: монография / Н. И. Березовский, С. Н. Березовский, Б. В. Лесун. – Минск: БИП, 2012. – 91 с.
4. Березовский, С. Н. Оценка гранулометрического состава гравийно-песчаных месторождений Республики Беларусь и исследования теоретического распределения высоты уступов [Текст] / С. Н. Березовский, Б. В. Лесун // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 56–66.
5. Лиштван, И. И. Физические свойства торфа и торфяных залежей [Текст] / Е. Т. Базин, В. И. Косов. – Минск: Наука и техника, 1985. – 240 с.
6. Воронова, Н. П. Комплексное использование местных видов топлива в производстве пористых строительных материалов [Текст] / Н. П. Воронова, Б. В. Лесун // Энергетика – известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2014. – № 4. – С. 83–94.
7. Воронова, Н. П., Некоторые вопросы утилизации сырья при обогащении на горно-перерабатывающих предприятиях Беларуси [Текст] / Н. П. Воронова, С. М. Грибкова, Н. И. Березовский, Б. В. Лесун // Горная механика и машиностроение. – 2013. – № 3. – С. 25–35.
8. Лесун, Б. В. Рациональное использование местных минеральных ресурсов [Текст] / Б. В. Лесун // Горная механика и машиностроение. – 2014. – № 3. – С. 47–55.
9. Лесун, Б. В. Разработка процесса агломерации сырьевой смеси при использовании фрезерного торфа и топливных брикетов [Текст] / Б. В. Лесун // Природопользование. – 2014. – № 26. – С. 209–214.
10. Патент на изобретение Республики Беларусь [Текст] / № А20111621 от 30.11.2011 «Состав сырьевой смеси».