

УДК 662.641.033:662.638

**А. Н. Александрова**, магистрант (БГТУ); **Н. И. Тимошик**, студент (БГТУ);  
**И. А. Хмызов**, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);  
**Т. В. Соловьева**, доктор технических наук, профессор (БГТУ)

### ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО СОСТАВА НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ТОРФОБРИКЕТОВ

Статья рассматривает исследования по установлению влияния композиционного состава торфобрикетов, содержащих древесину лиственных пород (ольхи и березы), на их зольность, плотность и прочность. По полученным экспериментальным данным построены диаграммы Шеффе, наглядно иллюстрирующие влияние композиционного состава на каждый из показателей качества торфобрикетов. Решена компромиссная задача по поиску оптимального соотношения компонентов (торфа, ольхи и березы 64/26/10% соответственно) в составе торфобрикетов.

The paper dwells upon investigations of establishing the influence of peat briquette composition containing deciduous tree (alder and birch) wood on its ash content, density and strength. The obtained experimental data allowed to construct the Scheffe diagram, graphically illustrating the effect of the composition on each parameter of peat briquette quality. The compromise task of establishing an optimal ratio of components (peat, alder and birch 64/26/10% respectively) in peat briquettes was solved.

**Введение.** Современный период развития цивилизации характеризуется явным истощением невозобновляемых ресурсов энергии и нанесением ущерба окружающей среде при их переработке. В связи с этим особую актуальность приобретает использование биотоплива, способного заменить традиционные топливные источники. Большую роль играет и экологическая чистота новых энергетических теплоносителей. Торф – реальный ресурс для производства высококалорийного и экологически чистого топлива. Торфобрикеты составляют достойную альтернативу традиционным видам топлива, таким как мазут и уголь. Торфяной брикет имеет достаточно устойчивый органический состав и содержание вредных примесей в нем минимально. Дымовые газы при сгорании брикетов практически не содержат экологически вредных веществ, а торфяная зола аналогична древесной, что позволяет использовать ее как эффективное калийное удобрение. Торфобрикеты используются для сжигания в городских ко-

тельных, водонагревательных котлах, а также для разного рода бытового назначения [1].

В связи с истощением торфяных запасов технологии получения энергии из торфа в последние годы развиваются и совершенствуются. Особый интерес в технологии торфобрикетов вызывает вовлечение в их композицию древесины, что позволяет заменить часть торфа менее ликвидной древесной биомассой. Известно, что топливные материалы, полученные из и с добавлением древесины хвойных пород, обладают довольно высокой транспортной прочностью и теплотворной способностью вследствие наличия в ней смолистых веществ. Древесина же лиственных пород не находит широкого применения в качестве компонента топливных пеллет и брикетов.

Процесс получения торфобрикетов традиционно состоит из следующих основных стадий: измельчение, сортировка, сушка торфа, прессование сушенки, охлаждение брикетов. Технологическая линия представлена на рис. 1.

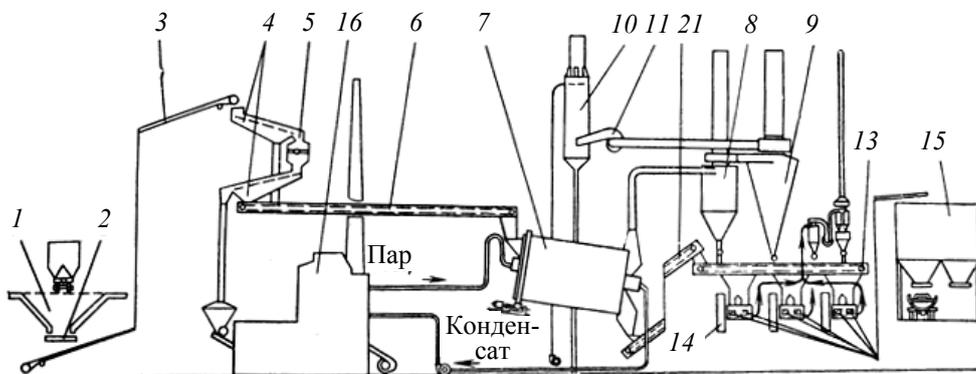


Рис. 1. Технологическая схема производства торфобрикетов:

1 – приемный бункер; 2 – питатель; 3, 6, 12, 13 – конвейеры; 4 – грохоты; 5 – дробилка; 7 – сушилка; 8, 9 – циклоны; 10 – скруббер; 11 – вентилятор; 14 – пресс; 15 – склад готовой продукции; 16 – котельная

Производство топливных брикетов из торфа и древесных частиц (опилок) включает аналогичные стадии (от приемного бункера до бункера готовой продукции), проходя которые, торф и опилки тщательно перемешиваются, что способствует получению изотропной продукции, которая характеризуется равномерным распределением древесных частиц в объеме торфобрикета. Тщательному перемешиванию торфа и опилок также способствует установленный в приемном бункере усреднитель, представляющий собой вал с лопастями, который, вращаясь, тщательно перемешивает исходное сырье. Такой вариант применим в случае, если торф и древесина имеют приблизительно одинаковые влажность и фракционный состав. Другим вариантом технологической схемы производства торфяных брикетов, содержащих древесину, может являться прохождение компонентами двух отдельных линий подготовки сырья, а затем их смешение непосредственно перед прессованием.

Как показал проведенный анализ патентной и научной литературы, известны способы получения торфобрикетов, содержащих в своей композиции различные добавки: уголь, горючие сланцы, лигнин, древесные опилки, мазут и иные продукты нефтепереработки, талловый пек, сапрпель, отходы сельскохозяйственного производства и однолетние растения (костра льна, солома, трава, опавшие листья, навоз), органические отходы кожевенного производства, осадок от очистки сточных вод [2]. В любом случае исходное сырье для производства брикетов проходит те же стадии, что и торф. Согласно требованиям СТБ 1919–2008 «Брикеты топливные на основе торфа. Технические условия» доля древесины в композиции торфобрикетов не должна превышать 30%, а доля сельскохозяйственных отходов – 10%, так как с превышением этих дозировок будет снижаться прочность и теплотворная способность торфобрикетов из-за низкой плотности древесины.

Исходя из выше сказанного, целью исследования явилось определение оптимального соотношения торфа и древесины в композиции, а также проверка возможности увеличения содержания древесины в композиции торфобрикетов более 30% с сохранением стабильно высоких значений показателей качества.

**Основная часть.** В работе представлены результаты проведения исследования по получению торфобрикетов, содержащих в своей композиции древесные отходы лиственных пород (ольхи черной (лат. *Álnus glutinósa*) и березы повислой (лат. *Bétula péndula*)) в виде опилок. Данные породы древесины выбраны

как наименее ликвидные, недорогостоящие и широко районированные в Республике Беларусь. При этом, как известно, древесина березы обладает высокой теплотворной способностью, а древесина ольхи характеризуется высокими прочностными свойствами, что предопределило их включение в композицию торфобрикетов. Настоящие исследования направлены на увеличение доли таких добавок с получением высококалорийной продукции. При этом решается проблема комплексной переработки растительной биомассы, что является целесообразным для энергетической базы Республики Беларусь. Древесной составляющей могут послужить отходы обрезки аллей, санитарной обрезки садов, отходы от стрижки кустовых насаждений, ветви и сучья от профилактического ухода за лесом и от просеки лесных дорог, а также отходы фанерного (шпонрванина, карандаши) и иных деревообрабатывающих производств.

Для установления содержания торфа и древесины в исходной композиции варьировали их соотношения в соответствии с симплекс-решетчатым планом (планом Шеффе), который дает возможность получить удобные для анализа диаграммы «состав – свойство» и соответствующие уравнения регрессии. Массовую долю торфа в композиции брикетов обозначили за  $x_1$ , ольхи –  $x_2$ , березы –  $x_3$ . Расположение экспериментальных точек в факторном пространстве представлено на рис. 2.

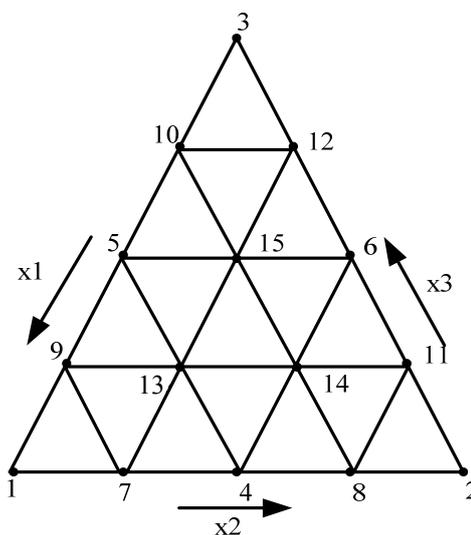


Рис. 2. Расположение экспериментальных точек в факторном пространстве плана четвертого порядка

Реализация выбранного плана эксперимента проводилась в соответствии с координатами экспериментальных точек, представленными в табл. 1.

Таблица 1  
Матрица эксперимента

Номер опыта	x1	x2	x3
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	0,5	0,5	0
5	0,5	0	0,5
6	0	0,5	0,5
7	0,75	0,25	0
8	0,25	0,75	0
9	0,75	0	0,25
10	0,25	0	0,75
11	0	0,75	0,25
12	0	0,25	0,75
13	0,5	0,25	0,25
14	0,25	0,5	0,25
15	0,25	0,25	0,5

Полученные образцы брикетов исследовали на основные показатели качества – зольность, плотность и прочность, характеризующие их физико-механические свойства. Зольность, %, обозначили за  $y_1$ , плотность,  $\text{г/см}^3$ , –  $y_2$ , предел прочности при изгибе, МПа, –  $y_3$ . Результаты испытаний лабораторных образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Показатели качества лабораторных образцов в зависимости от их композиционного состава

Номер опыта	$y_1$	$y_2$	$y_3$
1	3,09	1,6875	3,03
2	0,76	1,3906	9,18
3	0,21	1,5417	4,12
4	1,36	1,5000	14,36
5	1,14	1,5347	7,58
6	0,36	1,3720	3,40
7	2,2	1,8154	11,74
8	2,2	1,3478	9,14
9	2,84	1,8198	5,72
10	2,01	1,8241	6,05
11	0,09	1,3852	11,91
12	0,8	1,3788	4,90
13	2,28	1,1468	1,35
14	2,33	1,1855	3,01
15	2,16	1,1756	1,56

На основании результатов эксперимента с применением пакета STATISTICA получены аналитические зависимости исследуемых показателей качества торфобрикетов от соотношения компонентов в исходной композиции.

Расчетное значение каждого показателя качества проводили по аппроксимирующему полиному для уравнения четвертого порядка, который имеет вид [4]:

$$y = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j}^3 c_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{1 \leq i < j}^3 h_{ij} x_i x_j (x_i - x_j)^2 + b_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + b_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + b_{1233} x_1 x_2 x_3^2. \quad (1)$$

Расчет коэффициентов уравнения регрессии ( $b_i$ ,  $c_{ij}$ ,  $h_{ij}$ ) выполняли с помощью электронных таблиц MS Excel. Для установления оптимальных значений показателей качества торфобрикетов получены соответствующие уравнения регрессии, с использованием которых построены поверхности отклика влияния композиционного состава на зольность, плотность, прочность, представленные на рис. 3–5 соответственно. Для каждого показателя качества была решена задача оптимизации по определению оптимального соотношения компонентов в составе торфобрикета.

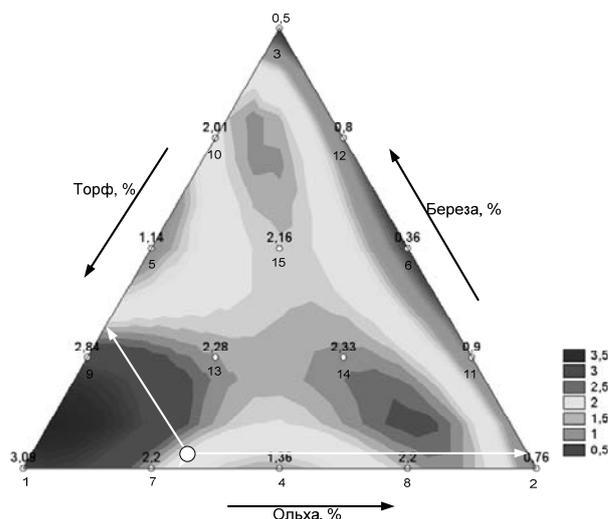


Рис. 3. Зависимость зольности от композиционного состава брикетов

Из решения задачи оптимизации наилучшим значением зольности торфобрикетов является 1,94% при соотношении торфа, ольхи и березы 60/35/5% соответственно. Добавление древесины в композицию торфобрикета в количестве до 40% снижает зольность готовой продукции примерно на 10%.

Оптимальная плотность торфобрикетов должна составлять  $(1350 \pm 50) \text{ кг/м}^3$ , так как увеличение плотности приведет к перерасходу исходного сырья и утяжелению готовой продукции, а уменьшение плотности не будет способствовать увеличению прочности. Из решения задачи оптимизации наилучшим соотношением торфа, ольхи и березы является 65/14/21% соответственно, что способствует получению

готовых торфобрикетов с оптимальной плотностью. Данное соотношение не строгое, и доля каждого компонента может варьироваться в пределах  $\pm 5\%$ .

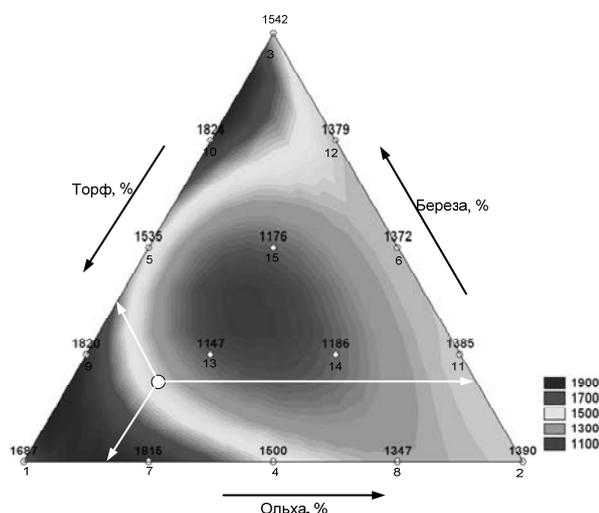


Рис. 4. Зависимость плотности от композиционного состава брикетов

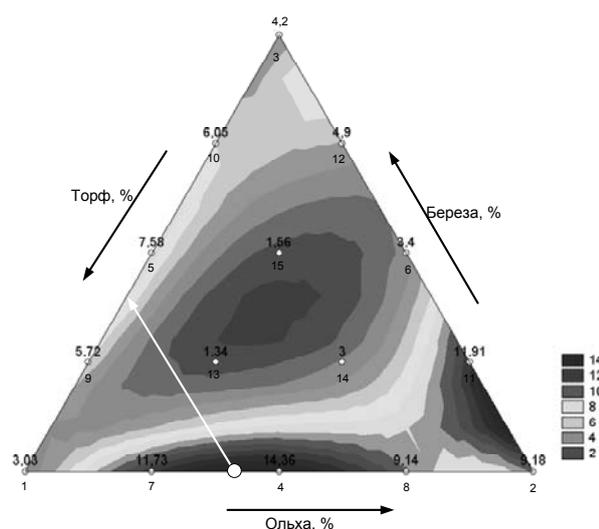


Рис. 5. Зависимость прочности от композиционного состава брикетов

Наилучшим достигнутым значением прочности является величина около 14 МПа. Из решения задачи оптимизации для обеспечения

такой прочности оптимальным соотношением торфа, ольхи и березы является 65/30/5% соответственно.

Из решения компромиссной задачи оптимизации наилучшими показателями качества: зольность – 2%, плотность – 1350 кг/м<sup>3</sup>, прочность – 14 МПа) – обладают торфобрикеты, содержащие в своей композиции 64% торфа, 26% ольхи и 10% березы. Наличие лиственной древесины в составе торфобрикета в количестве до 36% положительно влияет на значения показателя зольности, и при этом прочностные характеристики брикета находятся в пределах требований СТБ 1919–2008 [3].

**Заключение.** Исходя из анализа патентной и научной литературы, было выбрано направление исследования производства торфобрикетов, содержащих в своей композиции древесину лиственных пород (ольхи и березы). Полученные данные решения компромиссной задачи оптимизации для определения наилучшего компонентного состава показывают, что содержание древесины лиственных пород в композиции торфобрикетов может быть увеличено до 36%. При этом наблюдается снижение зольности торфобрикетов на 10%, а прочность и плотность имеют высокие значения, которые соответствуют требованиям СТБ 1919–2008 [3].

### Литература

1. Справочник по торфу / под ред. канд. техн. наук А. В. Лазарева и д-ра техн. наук С. С. Корчунова. – М.: Недра, 1982. – 760 с.
2. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 328 с.
3. Брикеты топливные на основе торфа. Технические условия: СТБ 1919–2008. – Введ. 01.07.09. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. – 12 с.
4. Пен, Р. З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства / Р. З. Пен. – Красноярск: Красноярский гос. ун-т, 1982. – 192 с.

Поступила 05.03.2013