

УДК 662.641

Корінчук Д.М.

Інститут технічної теплофізики НАН України

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО БІОПАЛИВА З ВИКОРИСТАННЯМ ТОРФУ ЯК В'ЯЖУЧОГО

Проведено аналіз та оптимізацію параметрів виготовлення композиційного біопалива. Чисельно визначені оптимальні значення параметрів тиску, вологості, дисперсного складу, вмісту наповнювача та температури для процесів брикету- та гранулоутворення.

Проведен анализ и оптимизация параметров изготовления композиционного биотоплива. Численно определены оптимальные значения параметров давления, влажности, дисперсного состава, содержания наполнителя и температуры для процессов брикету- и гранулообразования.

The parameters of manufacture of composite biofuels theoretically analyzed in the work. The optimum values of parameters of pressure, humidity, dispersion, filler content and temperature for the processes of briquetting and granulation was numerically defined.

**Постановка проблеми.** Одним з найбільш актуальних питань для України є проблема енергетичних ресурсів. Високі та нестійкі ціни на нафту і газ, потреба в більш економічному витрачанні запасів палива, необхідність захисту навколишнього середовища та вирішення проблем кліматичних змін зумовлюють необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, зокрема розширення виробництва біопалива з біомаси.

Рослинна біомаса відноситься до нетрадиційних відновлюваних джерел енергії і є четвертим за значенням видом палива. Широкому використанню біомаси як альтернативного палива перешкоджає низька енергетична щільність, висока полідисперсність, високий вміст смол, низька здатність до брикетування, коротке транспортне плече (до 30 км). Серед відновлюваних джерел енергії, що належать до біомаси, знаходиться і торф. За обсягами видобутку торфу серед країн СНД Україна займає третє місце. Основна проблема галузі – швидке вичерпання торф'яного ресурсу навколо торфопереробних підприємств, що призводить до їх зупинки.

Використання біомаси деревини, лузги гречки та соняшника як наповнювачів у виробництві торф'яних брикетів дозволяє подовжити термін виробки торф'яного ресурсу, підвищити енергоефективність палива.

Недоліком як торфу-сирця, так і рослинної сировини при використанні їх як палива є низька енергощільність. Навіть при достатньо високій теплоті згоряння [1] (рис. 1) паливо має насипну масу в середньому 200...300 кг/м<sup>3</sup> і потребує брикетування.

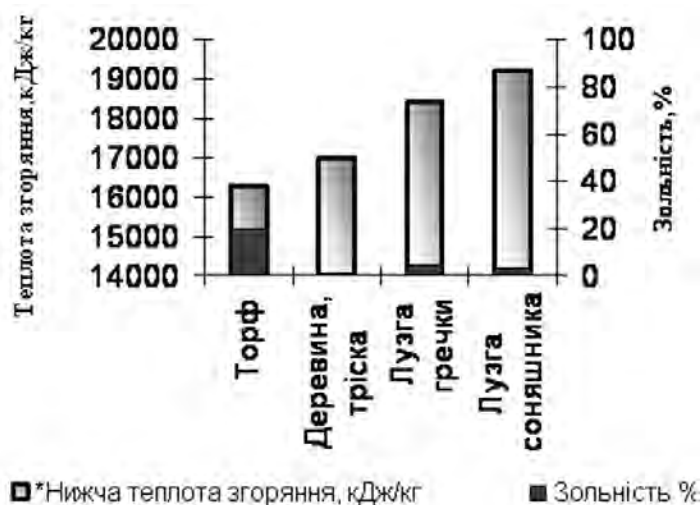


Рис. 1. Теплота згоряння і зольність біомаси.

Брикетування або гранулювання підвищує насипну масу до 850...950 кг/м<sup>3</sup>. Відповідно в 3...4 рази підвищується енергощільність і зменшується вплив транспортних витрат на формування ціни. Паливо з категорії місцевого переходить на рівень палив, що можуть транспортуватися в межах України, конкуруючи з традиційними.

Тоді стає актуальним питання транспортності палива, тобто можливість перевезення на великі відстані, яке визначається його міцністю.

**Метою дослідження** є визначення оптимального складу та параметрів пресування композиційних брикетів із умов високої теплоти згоряння та міцності (транспортності).

Для вирішення поставленої мети було застосовано експериментально-статистичний метод. Суть

методу – в отриманні на основі експериментальних даних, проведених за методикою математичного планування експерименту, адекватної математичної моделі процесу пресування композиційних сумішей з використанням торфу як в'язучого, і подальшим дослідженням моделі на оптимум.

Попередньо були визначені рівняння регресії для процесу пресування композиційних сумішей торф-деревина, торф-лузга соняшника, торф-лузга гречки [1].

Аналіз рівнянь регресії проводився в кодованому вигляді. Встановлено що існує площина оптимізації, і усякий рух до центру цієї площини веде до збільшення параметру міцності. З метою максимізації міцності брикетів  $\sigma$  (де  $\sigma$  – опір руйнуванню брикетів на згин) застосовано метод підйому по градієнту [2].

Алгоритм реалізовано в програмному забезпеченні MATHCAD.

За результатами розрахунків максимальне значення міцності для композиційних торфо-деревинних брикетів склало 5,5 МПа, що майже вдвічі перевищує міцність суто торф'яних брикетів. Значення факторів, що відповідають максимуму функції в розглянутому діапазоні варіювання, занесені до таблиці.

Раніше було встановлено [3] малий вплив на міцність брикетів дисперсного складу суміші та температури в межах діапазону варіювання 0...10 мм та 50...100 °С відповідно. Також відзначалося [3, 4], що значення таких параметрів суміші, як вологість та вміст наповнювача найскладніше витримати сталими на виробництві.

З метою аналізу ступеня впливу факторів брикетування на міцність брикетів та визначення допустимого відхилення цих параметрів від оптимальних побудовані поверхні відклику при оптимальному тиску для наповнювачів рослинного походження (рис. 2) і для торфодеревинних

брикетів при тиску пресування 60, 80, 100, 120 МПа при сталих значеннях температури та дисперсного складу (рис. 2, 3).

Як видно, залежність носить параболічний характер та має пік при вологості  $\varphi = 8...12\%$  та вмісті наповнювача  $\chi = 30...40\%$ . Міцність на згин знаходиться в діапазоні 4,5...5,5 МПа. Відомо, що в торфобрикетному виробництві використовується тиск брикетування 120 МПа, який відрізняється від оптимального. Збільшення тиску брикетування веде до збільшення міцності на 1,2% (рис. 3).

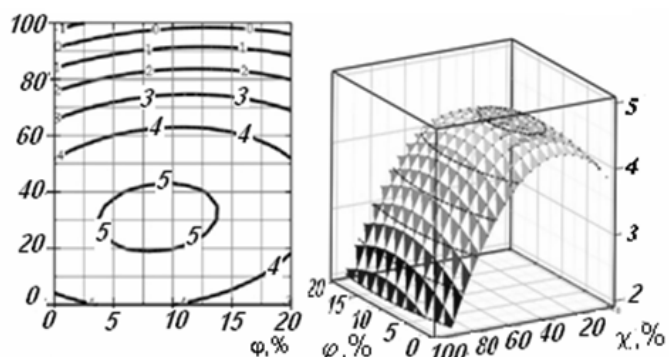
Причиною зміни міцності брикетів при різній концентрації в їхньому об'ємі наповнювача є зміна структури самого брикету, що чітко спостерігається по його зламу (рис. 4).

Перехід структури з дрібнофракційної у крупнофракційну супроводжується зміною характеру руйнування брикетів під навантаженням. У суто торф'яних брикетах під час руйнування на згин спостерігалось миттєве руйнування без збереження зв'язку між його елементами. В композиційних брикетах руйнування носило квазіпластичний характер з поступовим розвиненням тріщин. При цьому окремі куски зразків, що руйнувалися, зберігали зв'язок і продовжували деформуватися при зростанні навантаження та зберігали зв'язок між елементами.

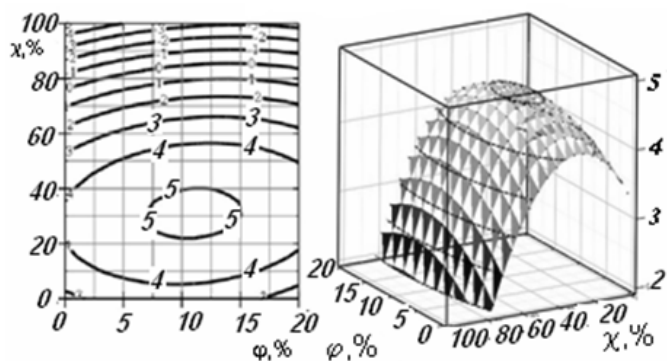
Руйнування композиційних брикетів відбувалось наступним чином. Локальні перенапруги брикетів під навантаженням при іспитах на статичний згин викликають розвиток тріщини в їхній структурі. Розвиток тріщини в брикеті, особливо на початковій стадії, сильно гальмувався деформаційними властивостями наповнювача, який зміцнює структуру брикету. Під навантаженням частинки деревини та рослинних наповнювачів зменшують перенапругу торф'яного матеріалу, сприймаючи руйнівне зусилля.

Таблиця. Значення факторів максимуму функції  $\sigma$

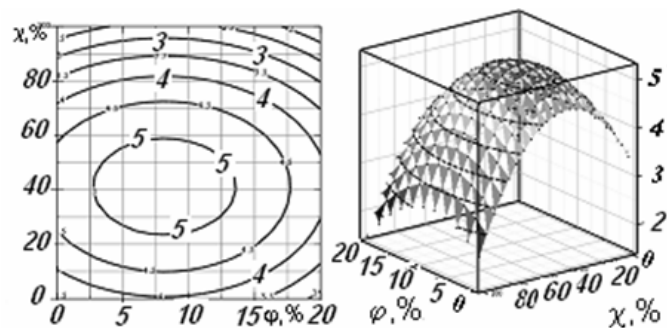
Назва фактору	Значення факторів максимуму функції $\sigma = 5,5$ МПа	
Тиск пресування	$P$ , МПа	100
Вологість сировини	$W$ , %	11,07
Склад сировини (вміст наповнювача)	$c$ , %	42,0
Фракція наповнювача	$d_{\text{сеп}} \cdot 10^3$ , м	3,3
Температура сировини	$T$ , °С	63,65



а)



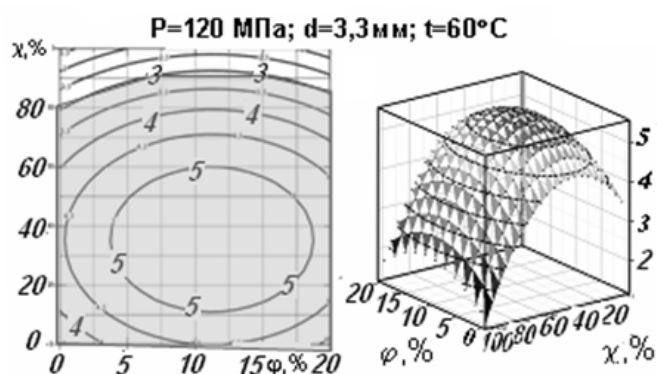
б)



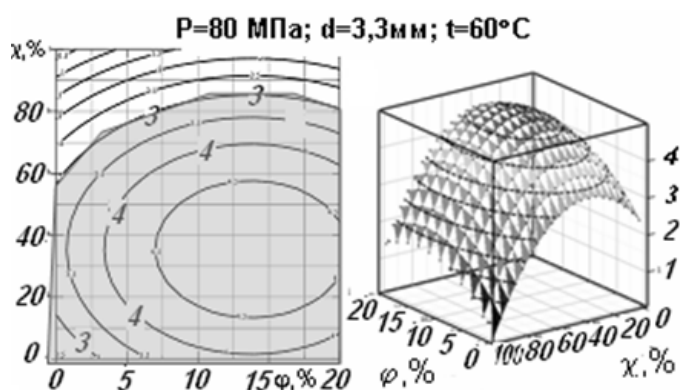
в)

**Рис. 2.** Графічне зображення поверхні відклику спільного впливу вологості композиції й вмісту наповнювача на границю міцності композиційних брикетів  $\sigma$ , МПа при  $P = 100$  МПа;  $d = 3,3$  мм;  $T = 60^\circ\text{C}$ : а – для композиції торф-лузга соняшника; б – для композиції торф-лузга гречки; в – для композиції торф-деревина.

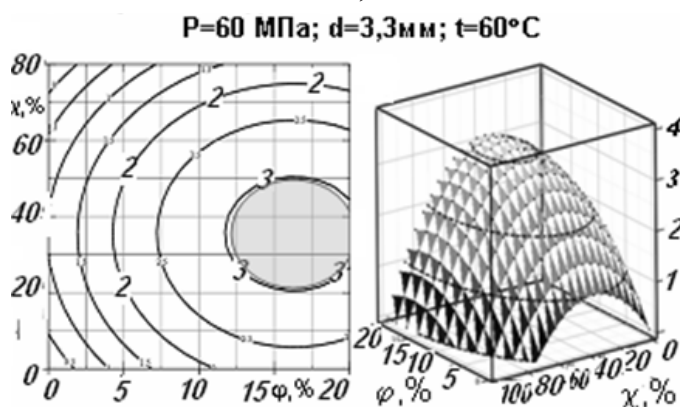
Встановлено, що збільшення кількості наповнювача позитивно впливає на зміцнення брикетів тільки до оптимального вмісту. Подальше збільшення вмісту наповнювача є неефективним через зростання обсягу порожнеч, повітряних



а)



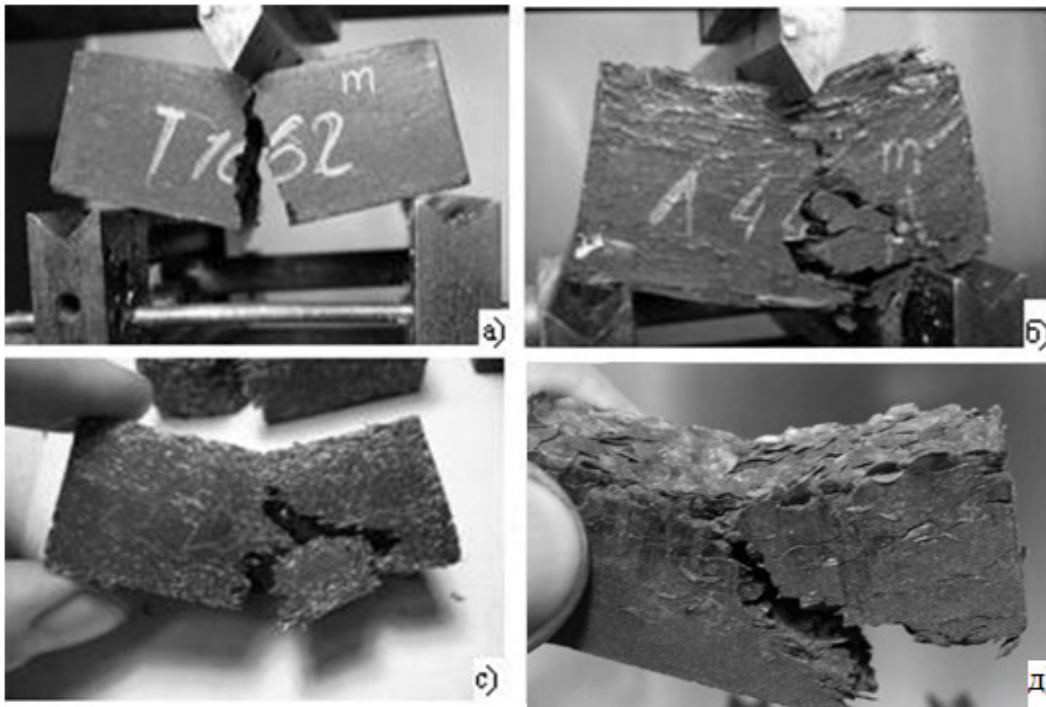
б)



в)

**Рис. 3.** Графічне зображення поверхні відклику спільного впливу вологості композиції й вмісту наповнювача на границю міцності композиційних торфо-деревинних брикетів  $\sigma$ , МПа, при тисках відмінних від оптимального.

проміжків між частинками і пор. Їхня наявність призводить до зменшення площі контакту елементів суміші в процесі пресування і, відповідно, до зменшення поверхні молекулярної взаємодії. З огляду на цю обставину, зниження міцності брикетів при



**Рис. 4. Руйнування торф'яних та композиційних брикетів:**  
**а) торф'яного; б) композиція торф – лузга соняшника;**  
**с) композиція торф – деревина; д) композиція торф – лузга гречки.**

збільшенні вмісту наповнювача понад оптимальний (рис. 2) можна пояснити зменшенням сумарної площі контакту.

Наведене пояснення підтверджується при розгляді поверхні зламу зразків брикетів з наповнювачем. У брикетів з вмістом деревини до 40 %, тобто до оптимального, спостерігалось міцне з'єднання деревних частинок з торф'яними. Такі ж ефекти спостерігались на наповнювачах рослинного походження. Поверхня зламу цих брикетів характеризувалася зломом частинок наповнювача, що свідчить про їх міцний адгезійний зв'язок з торфом.

Зменшення міцності в ряду торф – деревина, торф – лузга соняшника, торф – лузга гречки можна пояснити через відхилення частинок наповнювача від циліндричної форми та зменшення поверхні контакту. Спостерігалась сегрегація неподібнених частинок наповнювача, що приводило до розшарування в брикеті. Уникнути цього ефекту можна шляхом подрібнення наповнювача.

Слід враховувати, що вміст 40 % наповнювача відповідає моменту, коли сили зчеплення в брикеті ще компенсують сили пружності наповнювача, і

при перевищенні його міцнісні властивості брикету можуть бути нестійкими. Тому доцільно використовувати для пресування суміші з відсотковим вмістом наповнювача до 40 %.

Побудовані поверхні відклику для тисків відмінних від оптимального, а саме 120, 80, 60 МПа показали, що при збільшенні тиску понад 100 МПа збільшується поле існування міцних брикетів, при зменшенні оптимум зміщується в сторону збільшення вологості (рис. 3), що слід врахувати в технології гранулювання палива де використовуються менші тиски.

Як видно з рисунку 3, в у випадку зменшення тиску пресування до 60 МПа поле існування міцних брикетів звужується, що накладає високі вимоги до стабілізації параметрів вихідної сировини.

#### **Висновки з даного дослідження**

В діапазоні тиску пресування 80...120 МПа міцні брикети ( $\sigma = 3,5...5,5$  МПа) можуть бути отримані при вологості  $\varphi = 10...12$  % (може досягати 15 %). При зменшенні тиску пресування від 80 до 60 МПа і нижче, що характерно в виробництві паливних гранул, спостерігається зміщення

ЛІТЕРАТУРА

піку міцності брикетів у бік збільшення вологості  $\varphi = 18... 25 \%$ , а діапазон варіювання вмісту наповнювача та середньої вологості звужується до  $\pm 5\%$  від оптимального. З рис. 6 видно, що отримання міцних брикетів при низькому тиску можливе при збільшенні вологості. Слід врахувати, що збільшення вологості сировини веде до зменшення теплоти згоряння композиційних брикетів, тому з припустимого діапазону належить надавати перевагу меншим значенням вологості сировини.

Збільшення вмісту наповнювача до  $40 \%$  у всіх випадках веде до зростання міцності брикетів та збільшення теплоти згоряння. Згідно з проведеним аналізом раціональний вміст наповнювача для процесів брикетування становить до  $40 \%$ ; тиск пресування –  $100 \text{ МПа}$ , вологість складає  $10... 12 \%$  (може досягати  $15\%$ ). Для лінії гранулювання вміст наповнювача становить  $40 \%$ , вологість –  $18... 19 \%$  (може досягати  $25 \%$ ) для отримання гарантовано міцних гранул.

1. *Корінчук Д.М.* Розробка композиційного палива на основі торфу і рослинної біомаси: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.14.06 05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислового теплоенергетика» / Корінчук Дмитро Миколайович. – К., 2010. – 20 с.

2. *Моисеев Н.Н.* Методы оптимизации / Н.Н. Моисеев, Ю.П. Иванилов, Е.М. Столяров – М.: "Наука", 1978.– 212 с.

3. *Корінчук Д.М.* Дослідження впливу технологічних факторів брикетування та параметрів компаундування на якісні показники композиційного торфодеревинного палива / Д.М. Корінчук // Відновлюв. енергетика. – 2009. – №1. – С. 63–70.

4. *Корінчук Д.М.* Дослідження структурно-механічних властивостей композиційних брикетів на торф'яній основі з використанням органічних побутових відходів / Д.М. Корінчук, В.А. Михайлик., К.О. Корінчук // Промышленная теплотехника. – 2009. – Т. 31, № 7. – С. 53 – 58.

*Получено 20.02.2012 г.*