

де $n = \varepsilon + 1$ – ефективний порядок реакції; t – час проходження реакції; k – константа швидкості реакції.

Кількість теплоти, що виділяється за відрізок часу t проходження реакції, дорівнює:

$$G_t = \int_0^t q_{\text{дж}} dt, \quad (24)$$

звідки $q_{\text{дж}} = \frac{dG_t}{dt} = \frac{d}{dt} [\Delta i (1 - \exp(-kt^{(\varepsilon+1)}))]. \quad (25)$

Диференціюючи рівняння (25), отримуємо залежність інтенсивності тепловиділення внутрішнього джерела теплоти $q_{\text{дж}}$ від часу у вигляді експоненціальної функції:

$$q_{\text{дж}} = q_0 t^\varepsilon \exp(-kt^{(\varepsilon+1)}), \quad (26)$$

де $q_0 = k(\varepsilon + 1)\Delta i$ – постійна величина для конкретної хімічної реакції, яка дорівнює добутку константи швидкості реакції k , теплового ефекту реакції Δi та величини ефективного порядку реакції $n = \varepsilon + 1$.

На жаль, при математичному моделюванні процесу теплопереносу в середині реактора переестерифікації на основі створеної математичної моделі (рівняння (18) та (19)) використання виразу (26) на даний час є проблематичним, оскільки відсутні дані стосовно порядку реакції переестерифікації та константи її швидкості. В подальшо-

му при експериментальному визначенні зазначених даних можливо отримати розв'язки рівнянь (18) та (19) при умові (26).

Висновки. 1. Показано, що математичне моделювання процесу теплопереносу в реакторі переестерифікації періодичної дії можливо здійснювати на основі рівняння теплопровідності з внутрішніми джерелами енергії.

2. Отримано формулу для визначення зміни у часі величини інтенсивності тепловиділення внутрішнього джерела теплоти реакції переестерифікації рослинних олій у біодизпаливо.

3. Запропоновано математичну модель теплопереносу в реакторі переестерифікації рослинних олій періодичної дії, яка відрізняється від існуючих наявністю спеціально отриманого аналітичного виразу для визначення зміни у часі інтенсивності тепловиділення внутрішнього джерела теплоти.

1. Чечёткин А.В., Занемовец Н.А. Теплотехника. – М.: Высшая школа, 1986. – 243 с.
2. Зарубин В.С. Инженерные методы решения задач теплопроводности. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 326 с.
3. Забарний Г.М., Кудря С.О., Новаківський С.В. Гідрогазодинаміка. – К.: VIVA-принт, 2008. – 251 с.
4. Смирнов Н.Н., Волжинский А.И. Химические реакторы в примерах и задачах. – Ленинград.: Химия, 1977. – 257 с.
5. Сороко В.Е., Вечная С.В., Попова Н.И. Основы химической технологии. – Ленинград.: Химия, 1986. – 295 с.

УДК 662.641

Д.М.Корінчук, канд.техн.наук (Ін-т технічної теплофізики НАН України, Київ)

Розробка та аналіз математичної моделі прогнозування міцності брикетів при пресуванні композиційних сумішей з використанням торфу як в'язучого

Проведено аналіз існуючих математичних моделей прогнозування властивостей брикетів. Обґрунтовано фактори, які впливають на механічну міцність композиційних брикетів. Розроблено та проаналізовано математичну модель.

Выполнен анализ существующих математических моделей прогнозирования свойств брикетов. Обоснованы факторы, влияющие на механическую прочность композиционных брикетов. Разработана и проанализирована математическая модель.

© Д.М.Корінчук, 2012

Широко як альтернативна енергетична високий вміст вання, траншевання конк станням рос ми паливами трування ен рішення цієї вання. Брик вообробного номанітність брикетування няються, що цювання ци Процес цей д Викорис відпрацюван го доцільніш числі й торф. Викорис ки та соняшн торф'яних бр виробки торф гоефективніс Якість бр тичної склад нічні показн опір руйнува характеризує ня і зберіганн **Вибір та кторів.** Техно позиційних су з процесом бр вають на якіс ня впливу наст

- тиск бри
- вологіст
- фракційн
- співвідн
- температ

Тиск брик них факторів. кетів досягаєть го тиску пресу Відновлювана енер

Широкому використанню рослинної біомаси як альтернативного палива перешкоджає низька енергетична щільність, висока полідисперсність, високий вміст смол, низька здатність до брикетування, транспортне плече до 30 км. Для підвищення конкурентоспроможності палива з використанням рослинної біомаси на рівні з традиційними паливами необхідно вирішити задачу концентрування енергії. Перспективним напрямком вирішення цієї задачі є брикетування та гранулювання. Брикетування відходів сільського та деревообробного господарства ускладнене через різноманітність властивостей сировини. Фактори брикетування для кожного виду сировини відрізняються, що приводить до необхідності відпрацювання цих факторів на самому виробництві. Процес цей довгостроковий та не завжди вдалий.

Використання в'язучого [1] спрощує задачу відпрацювання технологічних факторів. Для цього доцільніше використовувати паливо, в тому числі й торф.

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

Якість брикетованого палива, окрім енергетичної складової, визначають і структурно механічні показники, такі як механічна міцність чи опір руйнуванню на згин [2–4], значення яких характеризує здатність палива до транспортування і зберігання та визначає умови спалювання.

Вибір та обґрунтування технологічних факторів. Технологічні фактори брикетування композиційних сумішей – це параметри, що пов'язані з процесом брикетування і безпосередньо впливають на якісні показники. Проведено дослідження впливу наступних факторів:

- тиск брикетування, P ;
- вологість сировини, W ;
- фракційний склад, d ;
- співвідношення "наповнювач – в'язуче", χ ;
- температура сировини та матриці, T .

Тиск брикетування є одним із найвпливовіших факторів. Необхідна міцність торф'яних брикетів досягається в основному за рахунок великого тиску пресування. У процесі пресування відбу-

вається ущільнення матеріалу, що супроводжується утворенням великої кількості контактів між частками і виникненням сил міжмолекулярної взаємодії між ними.

Робота пресування витрачається на ущільнення вихідної сировини, деформацію і руйнування частинок, на створення контактуючої поверхні та на подолання сил тертя між частинками і брикету об стінку прес-форми. Ущільнення матеріалу і перетворення його в брикет супроводжується зменшенням газової фази в сировині. У процесі брикетування сировина як трифазна система до кінця пресування досягає квазидвофазного стану, коли в спресованому брикеті присутні тільки абсолютно суха речовина та вода із затисненим повітрям. Мінімальний тиск, необхідний для одержання практично двофазної системи, можна назвати оптимальним. При цьому тиску досягається одержання брикетів найбільшої в даних умовах міцності.

Вологість сировини впливає на теплоту згоряння палива і на його міцність. При збільшенні вологості зменшуються показники міцності брикетів і теплота згоряння. Відомо, що особливу роль відіграє адсорбційно зв'язана волога. З аналізу особливих властивостей адсорбованої води, що відрізняє її від звичайної вільної води, найбільш важливим, з погляду процесу брикетування композиційних сумішей, варто визнати властивість викликати контракцію (стиснення) системи. Суха сировина у процесі адсорбції водяної пари збільшує свій об'єм, однак її об'єм виявляється меншим від суми об'ємів сухої речовини та поглиненої води. Різниця між цією сумою об'ємів характеризує величину стиску системи. Відомо [2], що процес адсорбції водяної пари супроводжується виділенням теплоти. При цьому виявляється, що відношення величини стиску системи до сумарної теплоти набухання є сталою величиною. Можна припустити, що теплота набрякання відповідає виконаній механічній роботі з контракції системи.

Здатність адсорбційної води викликати стискання системи дає підставу висунути положення, що за рахунок дії адсорбційних сил відбувається стискання частинок сировини ще до їхнього надходження у прес. При цьому спостерігається якби

підпресування торфу, що у протилежному випадку варто було б робити за допомогою пресу. Чим сильніше буде стиснутий матеріал адсорбційними силами, тим менше зусилля буде потрібно прикласти до нього при ущільненні в пресі.

Використання наповнювача рослинного чи деревинного походження впливає на зольність, міцність та теплоту згоряння палива. Фракційний склад наповнювача впливає на міцність брикетів [5–8].

Застосування методів математичного моделювання процесу брикетування і гранулоутворення дозволяє аналізувати вплив розглянутих факторів на якість отриманого палива при виборі пресового обладнання з асортименту, представленого на ринку.

Огляд моделей та методик визначення міцнісних властивостей брикетів і гранул. У роботі [9] розроблено модель процесу брикетування торфодеревинних брикетів шляхом математичного планування багатофакторного експерименту згідно методу Бокса-Уілсона. Модель пов'язує міцність брикетів на згин, що є одним із важливих і статистично ефективних якісних показників. Встановлено, що основними факторами, які визначають якість торфодеревинних брикетів, є такі: вміст наповнювача, тиск, вологість матеріалу, розмір частинок, час, температура.

Модель була запропонована для використання при розробці рекомендацій щодо оптимізації процесу отримання торфодеревинних брикетів та обґрунтування технологічних режимів їх виробництва. Отримане рівняння регресії неповного полінома 2-го порядку описувало зону оптимального складу, але через лінійність не давало можливості визначення оптимуму і могло застосовуватися лише для якісного визначення впливу різних факторів.

Автором рекомендовані оптимальні значення параметрів: вологість у межах 12%, вміст наповнювача не повинен перевищувати 50%, тиск брикетування 110 МПа. Встановлено, що введення рослинної сировини в сушильний тракт разом із торфом не веде до погіршення кінетики сушіння та властивостей висушеного продукту. Також зазначено, що спостерігалось зменшення водопоглинання торфодеревинних брикетів.

У роботі [10] запропоновано модель для визначення властивостей брикетів із соломи з в'язучим (глина або гній). Визначено шляхом

трифакторного експерименту за планом Бокса залежності ступеня розширення від ступеня ущільнення та питомої щільності сировини, а також залежність енергетичної щільності від складу та вологості матеріалу. Методика поєднує енергетичні та структурно-механічні властивості та може бути застосована для комплексного прогнозу якісних показників твердого палива.

Використання подібної методики попередньо потребує досліджень теплоти згоряння палива і теплоємності як складових для визначення теплоти згоряння композиції.

У роботі [11] використано симплекс-метод планування експерименту для отримання моделі, що дозволяє визначити механічні властивості трикомпонентних термолізних брикетів із використанням побутових відходів, шлаків вугледобутку та кислій смолки. Отримана модель може застосовуватися для оптимізації щільності та міцності брикетів у залежності від складу.

Огляд існуючих моделей показав відсутність комплексної моделі, яка б пов'язувала наведені вище фактори виготовлення брикетів із механічними властивостями.

Метою дослідження є розробка математичної моделі "міцність композиційних брикетів – параметри пресування" для визначення ступеня впливу вказаних вище факторів на якісні показники палива. Для виявлення цих залежностей застосовано планування експерименту 2-го порядку.

Методика дослідження міцності брикетів. Для визначення тимчасового опору згину брикетів на нерухому плиті (рис. 1) накладали металеву плиту з двома паралельними призми, відстань між якими регулюється. На призми встановлювали зразок, поверх якого строго посередині відносно нижніх призми і паралельно їм було встановлено верхню призму, що передає навантаження.

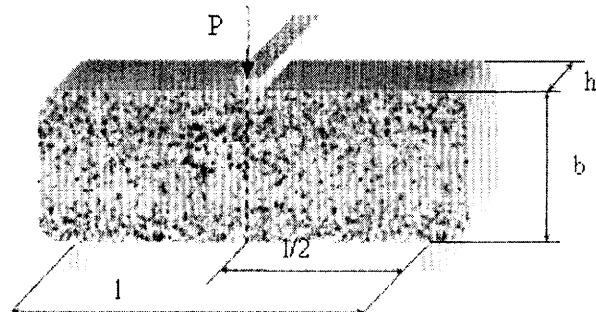


Рис. 1. Схема пристрою для визначення границі міцності на згин дослідних брикетів.

Ширину й висоту зразка, потрібні для розрахунку, знаходять у місці зламу шляхом усереднення вимірів у п'яти точках перерізу. Відстань між нижніми призмами встановлюють 0,7l довжини брикету. Збільшують навантаження. Закінчення експерименту визначає момент, коли стрілка вимірювача сили починає рухатися проти годинникової стрілки, відповідно, навантаження не має опору. Навантаження на момент руйнування визначають по другій стрілці вимірювача сили, яка вказує максимальне навантаження за період проведення експерименту.

Тимчасовий опір згину брикетів (далі по тексту – міцність) виражається формулою:

$$\sigma = \frac{M_{32}}{W_{32}}, \quad (1)$$

де M_{32} – найбільший згинальний момент, що дорівнює $\frac{Pl}{4}$; W_{32} – момент опору, $W_{32} = \frac{h \cdot b^2}{6}$.

Тоді міцність брикетів визначається так:

$$\sigma = \frac{3Pl}{2hb^2}, \quad (2)$$

де b, h, l – відповідно ширина, висота і довжина (відстані між призмами); P – руйнівне навантаження.

За кінцевий результат приймали середнє арифметичне з трьох вимірювань. Брикет розташовували завжди однаково, керуючись зовнішніми ознаками. Межа міцності залежить від положення брикету, оскільки структура верхньої частини відрізняється від структури нижньої частини через сегрегацію частинок торфу та наповнювача при наповненні матриці перед брикетуванням.

Експериментальне дослідження параметрів, що впливають на міцність композиційних брикетів. Планування експерименту дозволяє вивчити залежності критеріїв оптимізації від величини керуючих параметрів, тому після постановки задачі загальний вигляд моделі об'єкта дослідження спрощується: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ [12–14].

З метою виявлення границь та інтервалів варіювання залежності $\sigma = f(P, \chi, W, T, d)$ проведено ряд однофакторних експериментів. Це дозволило скоротити кількість досліджень. Дослідження залежності $\sigma = f(P)$ (рис. 2) при вологості 10% для торфу та деревини показали, що на

ділянці $P=90 \div 110$ МПа для торфу приріст міцнос-

ті $\frac{\Delta\sigma}{\Delta P}$ зменшується з 0,1 до 0,035, а для деревини від 0,025 до 0,01, що свідчить про недоцільність збільшення тиску пресування вище 100 МПа.

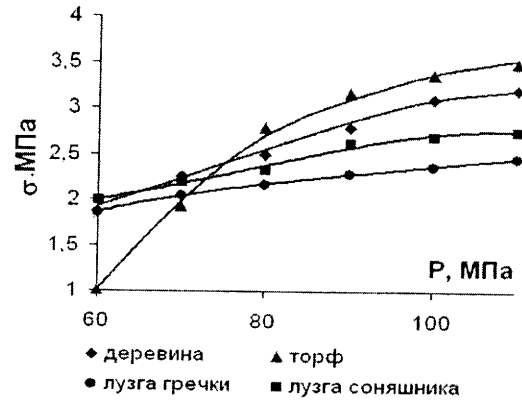


Рис. 2. Залежність міцності брикетів на згин від тиску пресування.

Дослідження залежності $\sigma = f(W)$ при тиску пресування 100 МПа (рис. 3) показало, що як при пресуванні торфу, так і наповнювачів має місце пік, який відповідає оптимальній вологості. Для торфу максимальна міцність отримана в діапазоні вологості 10÷15%, для деревини 5÷10% і складала відповідно 3,2-3,5 та 3-3,5 МПа. Спостерігалось, що деревинні брикети саморуйнувалися при вологості вище 20-25% (рис. 4) внаслідок дифузійного руху вільної води в межах зразка. Найвність піка викликана впливом зв'язаної води, а саме: явищем контракції "вода – тверде тіло". Під час брикетування композицій встановлено, що міцність композиційних брикетів з наповнювачем, розмір частинок якого становить до 10 мм, збільшується. При виготовленні брикетів, що містять крупніші частинки, структура мала значну неоднорідність і розшаровувалася через збереження пружних властивостей у крупних частинках. Вплив температури компонентів суміші на процес брикетування, виходячи з дослідних даних та апріорних відомостей [15], незначний і не перевищує 10% приросту σ в межах 20÷100°C. Збільшення температури спричиняє термічний розклад торфу та утворення газів, що призводить до руйнування брикетів. У межах 20÷100°C у наповнювача спостерігається перехід пружних деформацій у пластичні. Це приводить до зменшення роботи пресування.

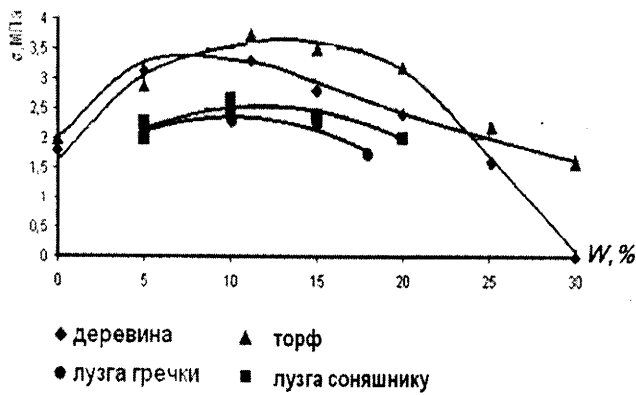


Рис. 3. Залежність міцності на згин брикетів від вологості при тиску пресування 100 МПа.

Планування 2-го порядку використовують на практиці в тих випадках, коли лінійного наближення недостатньо для математичного опису об'єкту досліджень із потрібною точністю, а тому виникає необхідність у побудові моделей у вигляді поліномів другого ступеня. При описанні поверхні відклику рівнянням 2-го порядку не можна обмежитися варіюванням факторів тільки на двох рівнях, тому що це не дозволяє одержати потрібну інформацію про об'єкт досліджень. У зв'язку з цим переходять до планування, що пов'язане з варіюванням факторів на трьох або п'яти рівнях і є раціональним з урахуванням загальноприйнятих критеріїв оптимальності планів. Найчастіше корисними і досить ефективними є ротатабельні плани 2-го порядку (плани Боксу) [12–14].

Ротатабельність плану сприяє тому, що рух від центра експерименту в усіх напрямках є рівнозначним. При ротатабельному плануванні 2-го порядку добудовують план повного факторного експерименту (ПФЕ), або його регулярну репліку до плану 2-го порядку додаванням до "ядра" певної кількості "зоряних" і нульових точок. Матрицю ПФЕ рекомендують використовувати в якості "ядра" рота табельного плану 2-го порядку при

кількості факторів $k < 5$. "Зоряні" точки будують на осях координат, визначаючи величину "зоряного" плеча (відстані від нульової точки до "зоряної" по осі координат), при цьому беруть до уваги умови ротатабельності (для "ядра" у вигляді плану ПФЕ).

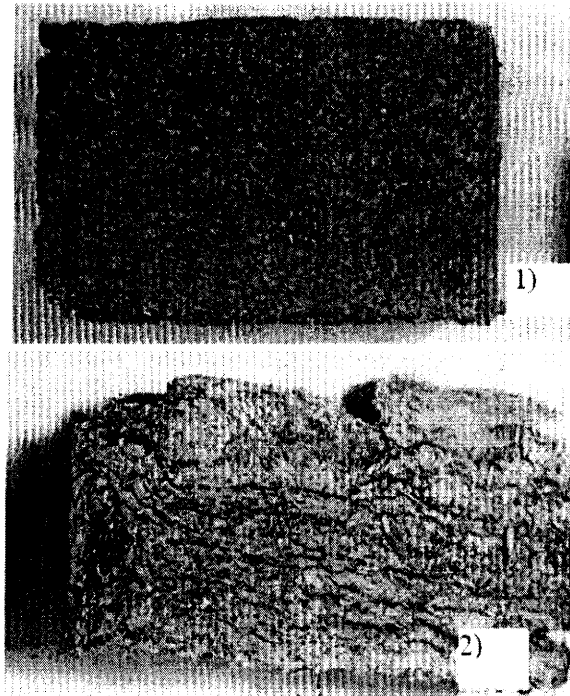


Рис. 4. Вплив надлишкової вологості на міцність деревинних брикетів: 1 – вологість 18%; 2 – вологість 23%.

Умови проведення дослідів та фактори варіювання наведені в таблиці 1.

Обробку експериментальних даних було проведено за методикою [14]. Дисперсія точки експерименту знаходилася в межах $0,026 \div 0,21$. Для перевірки однорідності використовувався критерій Кохрена, що базується на розподілі відношення максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій. Для рівня значимості 5% табличне значення критерію Кохрена складає 0,198, розрахункове значення складає 0,146, що свідчить про однорідність дисперсії та відтворюваність результатів.

Таблиця 1. Дослідні фактори в дійсних значеннях

Назва фактора	Позначення		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	дійсне	кодове	-	0	+	
Тиск	P , МПа	X_1	60	80	100	20
Вологість	W , %	X_2	10	20	30	10
Склад сировини	χ , %	X_3	25	50	75	25
Фракція наповнювача	$d_{сер}$	X_4	3	6	9	3
Температура сировини	T , °C	X_5	50	75	100	25

Коефіцієнти регресії визначалися за наступними формулами [14]:

$$b_0 = 0,15909 \sum_{i=1}^{32} Y_i - 0,03409 \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^{26} X_{ki}^2 Y_i; \quad (3)$$

$$b_k = 0,4167 \sum_{i=1}^{26} X_{ki} Y_i; \quad (4)$$

$$b_{kj} = 0,06250 \sum_{i=1}^{26} X_{ki} X_{ji} Y_i; \quad (5)$$

$$b_{kk} = 0,03125 \sum_{i=1}^{26} X_{ki}^2 Y_i + 0,00284 \sum_{k=1}^5 \sum_{i=1}^{26} X_{ki}^2 Y_i - 0,03409 \sum_{i=1}^{32} Y_i, \quad (6)$$

де Y – значення функції (в нашому випадку міцність брикетів, МПа); k, i, j – індекси, що враховують кількість факторів, кількість дослідів за планом та сумісну дію факторів відповідно.

У математичну модель включено тільки значимі коефіцієнти регресії. Значимість коефіцієнтів розраховано за критерієм Стьюдента, критичне значення якого для рівня значимості 5% при числі ступенів свободи 64 складає 2,003. Отримано рівняння регресії для деревинного наповнювача:

$$\begin{aligned} \sigma = & 4,58 - 0,645 \cdot X_1 + 0,627 \cdot X_2 - \\ & - 0,711 \cdot X_3 - 0,114 \cdot X_4 - \\ & - 0,411 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,438 \cdot X_1 \cdot X_3 - \\ & - 0,31 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,36 \cdot X_4 \cdot X_5 - \\ & - 0,81 \cdot X_1^2 - 0,612 \cdot X_2^2 - 0,8 \cdot X_3^2 - \\ & - 0,471 \cdot X_4^2 - 0,15 \cdot X_5^2; \end{aligned} \quad (7)$$

для наповнювача із лузги соняшнику:

$$\begin{aligned} \sigma = & 4,1 - 0,46 \cdot X_1 + 0,48 \cdot X_2 - \\ & - 0,56 \cdot X_3 - 0,46 \cdot X_4 - \\ & - 0,4 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,42 \cdot X_1 \cdot X_3 + \\ & + 0,25 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,21 \cdot X_1 \cdot X_4 - \\ & - 0,26 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,68 \cdot X_1^2 - \\ & - 0,514 \cdot X_2^2 - 0,61 \cdot X_3^2 - 0,73 \cdot X_4^2; \end{aligned} \quad (8)$$

для наповнювача із лузги гречки:

$$\begin{aligned} \sigma = & 3,88 - 0,5 \cdot X_1 + 0,39 \cdot X_2 - \\ & - 0,5 \cdot X_3 - 0,9 \cdot X_4 - \\ & - 0,32 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,39 \cdot X_1 \cdot X_3 + \\ & + 0,275 \cdot X_4 \cdot X_5 + 0,21 \cdot X_1 \cdot X_4 - \\ & - 0,29 \cdot X_2 \cdot X_4 - 0,88 \cdot X_1^2 - \\ & - 0,34 \cdot X_2^2 - 0,51 \cdot X_3^2 - 1,1 \cdot X_4^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Адекватність моделі перевірено за критерієм Фішера. Оцінка дисперсії адекватності моделі склала 0,045-0,2, значення критерію Фішера та критичне значення для рівня значимості 5% при ступенях свободи 64 та 15 для наповнювачів із лузги соняшнику, гречки та деревини відповідно становлять 0,8; 1,66; 1,8; 1,85, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Рівняння квадратичної регресії з відповідними фізичними змінними для деревинного наповнювача має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma = f(P, \chi, W, T, d) = & -16,3 - \\ & - 2,746 \cdot 10^{-2} \cdot \chi + 0,956 \cdot d + \\ & + 6,88 \cdot 10^{-3} \cdot T + 0,35 \cdot P + 0,336 \cdot W + \\ & + 5,776 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \chi - \\ & - 5,17 \cdot 10^{-3} \cdot d \cdot P - 2,054 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot \varphi + \\ & + 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot d \cdot W - \\ & - 7,53 \cdot 10^{-4} \cdot \chi^2 - 8,08 \cdot 10^{-3} \cdot W^2 - \\ & - 2,38 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 1,53 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 - 8,925 \cdot 10^{-2} \cdot d^2; \end{aligned} \quad (10)$$

для наповнювача із лузги соняшнику:

$$\begin{aligned} \sigma = f(P, \chi, W, T, d) = & -11,2 + \\ & + 9,32 \cdot 10^{-2} \cdot \chi + 0,35 \cdot d + \\ & + 3,68 \cdot 10^{-2} \cdot T + 0,3 \cdot P + 0,197W + \\ & + 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \chi - 5,2 \cdot 10^{-4} \cdot \chi \cdot P + \\ & + 8,4 \cdot 10^{-4} \cdot \chi \cdot W - 2,0 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot W + \\ & + 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot d \cdot W + 8,4 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot W - \\ & - 1,168 \cdot 10^{-3} \cdot \chi^2 - 6,8 \cdot 10^{-3} \cdot W^2 - \\ & - 2,38 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 1,29 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 - \\ & - 6,78 \cdot 10^{-2} \cdot d^2; \end{aligned} \quad (11)$$

для наповнювача із лузги гречки:

$$\begin{aligned} \sigma = f(P, \chi, W, T, d) = & -8,6 + \\ & +0,134 \cdot \chi + 0,25 \cdot d - 4,0 \cdot 10^{-2} \cdot T + \\ & +0,22 \cdot P + 0,234W + 4,4 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot \chi - \\ & -5,8 \cdot 10^{-4} \cdot \chi \cdot P + 10^{-3} \cdot \chi \cdot W - \\ & -1,6 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot W + 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot d \cdot W + \\ & +9,1 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot W - 1,76 \cdot 10^{-3} \cdot \chi^2 - \\ & -8,8 \cdot 10^{-3} \cdot W^2 - 8,5 \cdot 10^{-4} \cdot P^2 - \\ & -5,67 \cdot 10^{-2} \cdot d^2. \end{aligned} \quad (12)$$

Висновки. Аналіз коефіцієнтів математичної моделі, що описує зміну міцності композиційних брикетів, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Лінійна частина рівняння містить чотири складових, із них вплив тиску, вмісту наповнювача та вологості в межах моделі рівнозначні; вплив дисперсного складу зростає втричі для суміші "торф – лузга соняшника" та ще вдвічі для суміші "торф – лузга гречки"; вплив температури, відповідно, найменший.

2. Визначено, що для торфодеревинної суміші X_1 змінює кінцевий результат на 14%, X_2 – на 14%, X_3 – на 15,5%, X_4 – на 2,5%; для суміші "торф – лузга соняшника" X_1 змінює кінцевий результат на 11%, X_2 – на 12%, X_3 – на 13,5%, X_4 – на 11%; для суміші "торф – лузга гречки" X_1 змінює кінцевий результат на – 13%, X_2 – на 10%, X_3 – на 13%, X_4 – на 23%.

3. Квадратична частина містить чотири складових, що свідчить про параболічний характер впливу факторів на функцію.

4. Квадратична частина сприяє значному зменшенню функції; питома вага фактора X_2 зменшується, а фактора X_4 збільшується в послідовності: "торф – деревина", "торф – лузга соняшника", "торф – лузга гречки".

5. Швидкість зміни кінцевого результату для суміші "торф – деревина" за фактором X_1 складає 17,7%, X_2 – 13%, X_3 – 17,7%, X_4 – 10%, X_5 – 3%; для суміші "торф – лузга соняшника" X_1 – 16%, X_2 – 12%, X_3 – 14,8%, X_4 – 17%; для суміші "торф – лузга гречки" X_1 – 22%, X_2 – 8%, X_3 – 13%, X_4 – 29%.

6. Сумісний вплив параметрів відтворюється в кожній моделі. Аномальним є незалежність міцності від взаємодії факторів $X_1 \times X_4$ для торфодеревинних сумішей. Можливо, це викликано значно розвиненою поверхнею деревинних відходів порівняно з іншими відходами.

Запропоновані залежності дозволяють прогнозувати можливість та якісні показники композиційного твердого палива на стадіях проектування технології, підбору обладнання, відпрацювання робочих режимів та проводити оптимізаційні математичні дослідження для різних типів виробництв.

1. *Копаница, Н.О., Калашикова М.А.* Исследование вяжущих свойств низинных торфов при производстве теплоизоляционных материалов // Вестник ТГАСУ.– 2007.– №1. – С. 210 – 212.

2. *Наумович В.М.* Теоретические основы процесса брикетирования торфа. – Минск: АН БССР, 1960. – 208 с.

3. *Марук Н.П.* Структурообразование в торфоугольных композициях при получении топливных брикетов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 06.17.01 – Минск, 1988. – 24 с.

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

5. *Анненков В.Ф.* Висококалорійні паливні брикети з відходів деревини та сировини рослинного походження // Світ меблів і деревини. – 2002. – № 4. – С. 24–27.

6. *Архангельский Ю.Л.* Использование измельченных древесных отходов в торфобрикетном производстве // Торфяная промышленность. – 1990. – № 7. – С. 22–24.

7. *Наумович В.М.* Состояние и перспективы использования древесных включений торфа в народном хозяйстве. – ЦБНТИ Минтопрома РСФСР, 1988 – 46 с.

8. Інтенсифікація процесу сушіння торфу і розробка технології одержання паливних брикетів підвищеної калорійності.// Звіт про науково-дослідну роботу №0103U005706. – К.: 2004. – 81 с.

9. *Архангельский Ю.Л.* Исследование процесса получения торфодревесных брикетов: автореф. дис. на здобуття наук.ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.17 "Машины и агрегаты торфоразработок" – Калинин: 1973. – 35 с.

10. *Бакарджиев Р.А.* Обоснование конструктивных параметров и режимов работы пресс-брикетировщика для утилизации растительных материалов: Дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Таврическая гос. агротехническая академия. – Мелитополь, 1997. – 164 с.

11. *Антонюк С.И.* Обоснование технологии компаундирования твердых углеродистых отходов для экологично чистой термической переработки в камерных печах: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / С. И. Антонюк. – Донецк, 2004. – 198 с.

12. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов: методические указания. РДМУ 109 – 77. – М., 1978. – 62 с.

13. *Зайдель А.Н.* Элементарные оценки ошибок измерений. – [2-е изд.] – Л., "Наука", Ленинградское отд., – 1967. – 87 с.

14. *Яцевич А. А. Александров Ю.А.* Планирование эксперимента: Учеб. пособие для студ. экон. и техн. спец. вузов – Х. : Издательство НУА, 2004. – 208 с

15. *Ляштан И. И.* Влияние основных физических характеристик торфа на управление работой сушилок брикетных заводов // Торфяная промышленность. – 1978. – № 1. – С. 6-9.