

двуокиси серы, которая при сжигании природного газа вообще не образуется.

По результатам проведенного анализа в работе делается вывод о том, что на ближайшую перспективу использование мазута в качестве котельно-печного топлива, по-видимому, целесообразно ограничить его применением как ре-

зервного топлива. Особо отмечается рациональность сжигания мазута вместе с водой в виде мелкодисперсной водо-мазутной эмульсии, низшая теплота сгорания которой на 5...10 % выше по сравнению с чистым топливом. В этом случае ценовые и экологические показатели оказываются существенно лучшими при меньшем удельном расходе топлива.

УДК 622.794

Корінчук Д.М., Михайлик В.А., Корінчук К.О.

Інститут технічної теплофізики НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ БРИКЕТІВ НА ТОРФ'ЯНІЙ ОСНОВІ З ВИКОРИСТАННЯМ ОРГАНІЧНИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Наведено результати досліджень впливу технологічних факторів брикетування на структурно-механічні властивості композиційного торфопалива.

Представлены результаты исследований влияния технологических факторов брикетирования на структурно-механические свойства композиционного торфотоплива.

The results of researches of influence briquetting technological factors on composition peat fuel structural-mechanical properties are presented.

По даним Міністерства екології й природних ресурсів кількість накопичених твердих побутових відходів (ТПВ) в Україні становить приблизно 25 млрд. т., а площа, яку вони займають, – більше 170 тис. га [1].

За офіційними даними щорічно утворюється близько 11 млн. т. ТПВ [1,2]. Біля 32 % ТПВ складає сировина рослинного походження та деревина, 6 % текстилю та паперових відходів. У Києві щорічно виробляється 1,2 млн. т. ТПВ, з них на частку органічних побутових відходів (ОПВ) припадає біля 70 % усієї маси. Ця біомаса при енергетичному використанні може забезпечити виробку біля $3 \cdot 10^6$ Гкал тепла [2-5]. Використання її для виготовлення паливних брикетів забезпечить біля 700 тис. т. у. п. на рік з врахуванням витрат на сушіння біля 55 тис. т. у.п.

Брикетування ОПВ ускладнене через різноманітність властивостей сировини. Фактори брикетування для кожного виду сировини відрізняються, що приводить до необхідності

відпрацювання їх в самому виробництві. Процес цей довгостроковий, та не завжди вдалий.

В статті розглянуті можливості брикетування композиційних сумішей з використанням наповнювачів: текстильного, паперового та деревинного.

Використання в'язучого спрощує задачу відпрацювання технологічних факторів. Для цього доцільніше використовувати паливо, в тому числі і торф.

Одним з найважливіших якісних показників [6,7] твердого палива є міцність. Показник характеризує експлуатаційні властивості, транспортабельність брикетів.

Технологічні фактори брикетування композиційних сумішей – параметри, що пов'язані з процесом брикетування і безпосередньо впливають на міцність.

Досліджувався вплив наступних факторів:

- Тиск брикетування;
- Вологість сировини;

- Фракційний склад;
- Співвідношення наповнювач + в'язуче;
- Температура сировини та матриці.

Необхідна міцність торф'яних брикетів досягається, в основному, за рахунок застосування великих тисків пресування. У процесі пресування відбувається ущільнення матеріалу, супроводжуване контактуванням часток і виникненням сил молекулярного прилипання між ними. Робота пресування витрачається на ущільнення вихідної сировини, деформацію й руйнування часток, на створення контактуючої поверхні й на подолання сил тертя між частками, а також 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 майже двофазного стану, коли в спресованому брикеті присутні тільки абсолютно суха речовина й вода із затисненим повітрям. Тиск, необхідний для одержання практично двофазної системи, можна назвати оптимальним. При цьому тиску досягається одержання брикетів найбільшої в даних умовах міцності.

Вологість сировини впливає як на нижчу теплоту горіння палива так і на міцність. Зі збільшенням вологості зменшується як міцність брикетів, так і теплота згорання. Відомо, що особливу роль відіграє адсорбційна волога. З аналізу особливих властивостей адсорбційної води, що відрізняє її від звичайної рідкої води, найбільш важливим, з погляду процесу брикетування композиційних сумішей, варто визнати властивість викликати контракцію (стиснення) системи. Суха сировина у процесі сорбції водяної пари збільшує свій об'єм, однак її об'єм виявляється менше суми об'ємів сухої сировини та поглиненої води. Різниця між цією сумою об'ємів характеризує величину стиску системи. Відомо [6], що процес адсорбції водяної пари супроводжується виділенням тепла. При цьому виявляється, що відношення величини стиску системи до сумарної теплоти набухання є величиною постійною. Звідси можна припустити, що теплота набрякання відповідає зробленій механічній роботі з контракції системи. Здатність адсорбційної води викликати стискання системи дає підставу висунути положення, що за рахунок дії адсорбційних сил відбувається стискання часток сировини ще до їхнього надходження в прес. При цьому спостерігається, як би, підпресування торфу, що у протилежному випадку варто було б

робити за допомогою преса. Чим сильніше буде стиснутий матеріал адсорбційними силами, тим менше зусилля буде потрібно прикласти до нього при пресуванні в пресі.

Використання наповнювача та його кількісний вміст впливає на зольність, міцність та теплоту горіння палива. Фракційний склад наповнювача впливає на міцність брикетів[8-11].

Метою дослідження є визначення оптимальних значень та ступеня впливу вказаних вище факторів на міцність твердого палива.

Теоретичні передумови підвищення міцності композиційних брикетів

Найбільш повною, теоретично обґрунтованою й експериментально підтвердженою є молекулярна гіпотеза брикетування торфу, заснована на термодинамічній теорії прилипання. За даною гіпотезою, запропонованою для торфу В.М. Наумовичем [6], величина сил молекулярної взаємодії залежить в основному від природи і величини контактуючих поверхонь часток матеріалу. Звертається увага на відсутність кінетики прилипання торф'яних шарів, на незалежність сил молекулярного прилипання від тиску, тривалості контакту і температури.

Дослідження показали, що волога сушонки розділяється на об'ємну рідку фазу і воду граничних фаз – адсорбційну. Роль останньої, що знаходиться в квазітвердому стані, полягає в попередньому стиску, контракції торф'яних часток за рахунок дії адсорбційних сил.

Відповідно до молекулярної гіпотези, вологовміст, тиск пресування, швидкість деформації і температура розглядаються як фактори, що роблять тільки непрямий вплив на сили зчеплення часток матеріалу при пресуванні. Ця обставина багато в чому ускладнює її розуміння. Однак саме відсутність кінетики прилипання торф'яних шарів пояснює одержання брикету в пресах різних типів, з різними значеннями перерахованих параметрів, і вказує на можливість здійснення «доцільного» або найбільш ефективного процесу пресування торфу й інших матеріалів.

За фізичними властивостями наповнювач багато в чому схожий з торфом, але за механічними показниками відрізняється від нього підвищеною міцністю та пружністю[12]. Як торф, так і наповнювач є природним полімером, тому брикет в цьому випадку може розглядатися як композиційний полімер з неорієнтованими вклю-

ченнями, що володіє всіма його властивостями. Механічна міцність композиційних полімерів залежить від оптимального співвідношення компонентів, що складають композицію [12-16]. Тому можна очікувати, що отримання максимально міцних брикетів залежить від оптимального співвідношення торфу та наповнювача. Підвищення міцності можна очікувати, як за рахунок механічних явищ – утворення армуючого каркасу, так і внаслідок молекулярних явищ на основі електромагнітної природи молекулярного злипання.

При руйнуванні брикету спостерігалось збільшення площі розлому, як це видно з рис. 1, що підтвердило дію армування.

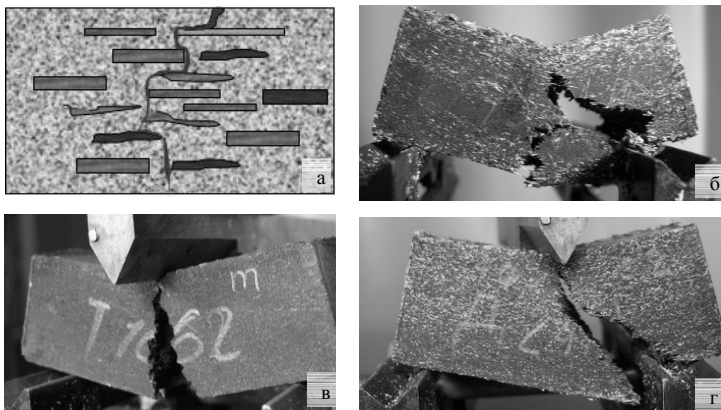


Рис. 1. Фізична модель процесу руйнування композиційного брикету з армуючою дією наповнювача:

а – фізична модель руйнування, б, г – руйнування торфодеревинних брикетів, в – руйнування торф'яних брикетів.

Разом з тим, при пресуванні суміші матеріалів з різними деформаційними властивостями, деформація часток відбувається по іншому, чим при деформації однорідних сумішей. Відбувається втискування твердіших часток в більш пластичні. В результаті збільшується площа контакту, площа молекулярної взаємодії. Якщо припустити, що рослинні частки мають форму циліндра з довжиною, яка значно перевищує переріз, то наближено можна розрахувати збільшення площі контакту [17], яка в 1,4...2 рази більша ніж при брикетуванні однокомпонентних сумішей.

Дослідження процесу брикетування. Опис експериментального стенду

Дослідження режимів брикетування якісно різної сировини та визначення характеристик по міцності проводилося на експериментальному стенді (рис. 2). Експериментальний стенд представляє собою розривну машину типу МР100, адаптовану для проведення брикетування.

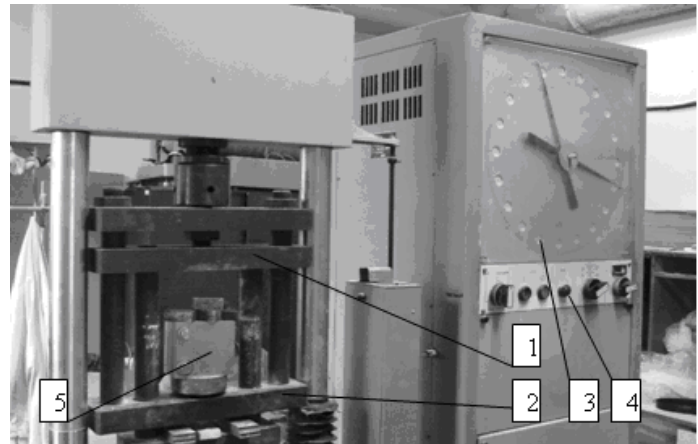


Рис. 2. Експериментальний стенд дослідження процесу брикетування:

**1 – рухома плита; 2 – опірна плита;
3 – вимірювач сили преса; 4 – пульт керування;
5 – пристрій для брикетування.**

Вимірювач сили 3 з'єднується з механічним приводом верхньої рухомої плити 1 трубопроводом, що утворює замкнену гідравлічну систему. Максимальне зусилля пресування складає 100 кН. Точність визначення сили брикетування складає 0,2 кН. Вимірювач сили складається з гідравлічного силувимірюючого циліндра та важільно-маятникової системи. Має дві стрілки, що показують локальний та максимальний тиск за період дослідження.

Пристрій для брикетування являє собою розбірну матрицю та пуансон, для пресування сировини в брикети з розмірами 20x50 мм. Висота брикету залежить від об'єму вихідної суміші.

Брикетування торфу відбувалось наступним чином: вмикався стенд, зважена на електронних вагах АД-500 попередньо підготовлена суміш торфу та наповнювача відповідного масового співвідношення засипалася в підігріту до заданої температури матрицю, матриця встановлювалася в центральній частині нерухомої плити, на пульті керування задавалася швидкість руху рухомої плити 0,01 м/хв., встановлювався пуансон та

проводилося пресування суміші. Пуансон входив в матрицю та стискував суміш, що там знаходилася. Тиск, що розвивався під час пресування, відмічався положенням стрілки вимірювача сили. При досягненні заданого зусилля знімалося навантаження. Рухомі плита підіймалась у верхнє положення. Для звільнення отриманого брикету матрицю ставили на підставки, після чого відбувалося виштовхування брикету пуансоном. У всіх отриманих брикетів визначалась міцність.

Методика дослідження міцності брикетів розроблена на базі рекомендацій [17,18].

Дослідження параметрів що впливають на міцність брикетів

Планування експерименту пов'язане з вивченням залежності критеріїв оптимізації від величини керуючих параметрів. Тому після постановки завдання загальний вид моделі об'єкта дослідження спрощується: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$ [19].

Для торфодеревинної суміші було застосовано ротатабельне центральне композиційне планування другого порядку, що дозволило вирішувати задачу оптимізації [20].

Умови проведення дослідів та фактори варіювання наведені в табл. 1.

Табл. 1. Дослідні фактори в дійсних значеннях

Назва фактору	Позначення		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	дійсне	кодове	-	0	+	
Тиск	P, МПа	X_1	60	80	100	20
Вологість	φ , %	X_2	10	20	30	10
Склад сировини	χ , %	X_3	25	50	75	35
Фракція наповнювача	$d_{сер}$	X_4	3	6	9	3
Температура сировини	T, °C	X_5	50	75	100	25

Обробка експериментальних даних проведена за методикою [19]. Дисперсія точки експерименту знаходилась в межах 0,026...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.

Адекватність моделі перевірено за критерієм Фішера. Оцінка дисперсії адекватності моделі складає 0,045, значення критерію Фішера та критичне значення для рівня значимості 5 % при ступенях свободи 64 та 15 відповідно становлять 1,8 та 1,85, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Рівняння квадратичної регресії з відповідними фізичними змінними має наступний вигляд:

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

Для наповнювачів текстиль та папір скорочено кількість факторів по результатам дослідження торфодеревинних брикетів. Вплив температури та дисперсного складу виявився незначним, тому включено (табл. 2) лише три фактори.

Табл. 2. Дослідні фактори для наповнювачів папір та текстиль

Назва фактору	Позначення		Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	дійсне	кодове	-	0	+	
Тиск	P, МПа	X_1	60	80	95	20
Вологість	φ , %	X_2	10	15	20	10
Склад сировини	χ , %	X_3	20	35	50	35

Для брикетів з наповнювачем з відходів паперу отримане рівняння в натуральних значеннях параметрів варіювання:

$$\begin{aligned} \sigma = f(P, \chi, \varphi) = & -15,0 + 0,1 \cdot \chi + \\ & + 0,25 \cdot P + 0,83 \cdot \varphi - 6 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot \varphi - \\ & - 2,18 \cdot 10^{-3} \cdot \chi^2 - 1 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi^2 - 8 \cdot 10^{-4} \cdot P^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Для брикетів з наповнювачем з відходів текстилю отримане рівняння в натуральних значеннях параметрів варіювання:

$$\sigma = f(P, \chi, \varphi) = -12,5 + 0,1 \cdot \chi + 0,22 \cdot P + 0,8 \cdot \varphi - 4,7 \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot \varphi - 2 \cdot 10^{-3} \cdot \chi \cdot \varphi - 6,7 \cdot 10^{-4} \cdot \chi \cdot P - 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot \chi^2 - 1,24 \cdot 10^{-2} \cdot \varphi^2 - 9 \cdot 10^{-4} \cdot P^2.$$

Аналіз показує, що міцність брикетів в діапазоні варіювання параметрів незначно залежить від виду наповнювача та його індивідуальних механічних властивостей.

Побудовано поверхні відклику для тисків $P = 100$ МПа (рис. 3-5).

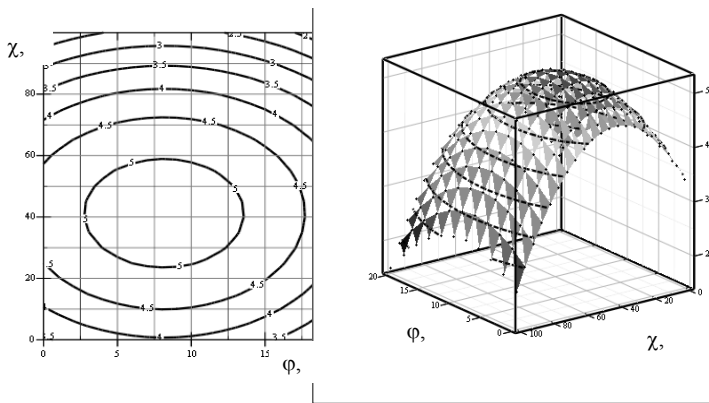


Рис. 3. Графічне зображення 2D та 3D поверхні відклику міцності торфодеревинних брикетів $P=100$ МПа; $d=3,3$ мм; $t=60$ °С.

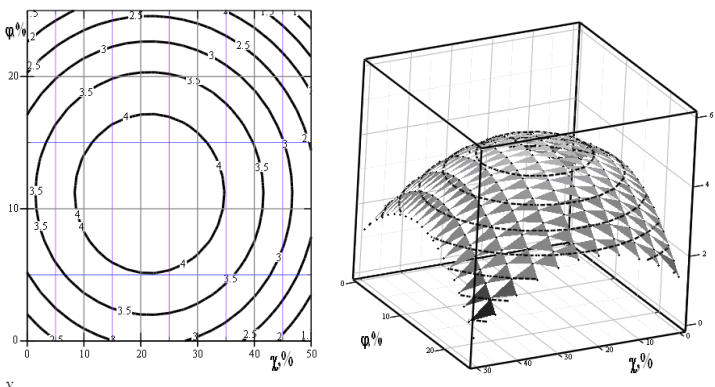


Рис. 4. Графічне зображення 2D та 3D поверхні відклику міцності брикетів з наповнювачем з відходів паперу $P=100$ МПа.

Причиною зміни міцності брикетів при різній концентрації наповнювача є зміна структури самого брикету, що чітко спостерігається по його зламу (рис. 1). Перехід структури з дрібнофракційної у крупнофракційну супроводжується зміною характеру руйнуван-

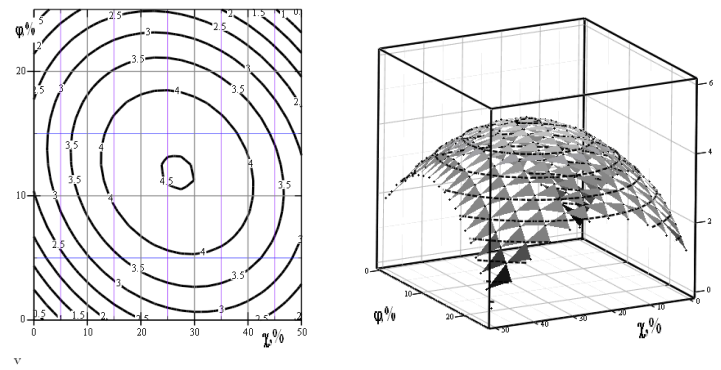


Рис. 5. Графічне зображення 2D та 3D поверхні відклику міцності брикетів з наповнювачем з відходів текстилю $P=100$ МПа.

ня брикетів під навантаженням. Якщо торф'яні брикети при випробуванні на згин миттєво руйнувались без збереження зв'язку між його елементами, то руйнування композиційних брикетів носило пластичний характер. При цьому елементи, що руйнуються, зберігають зв'язок і продовжують деформуватися при зростанні навантаження. Характер руйнування композиційних брикетів вказує на перевагу пластичних деформацій над пружними. Залежність міцності композиційних брикетів з наповнювачем з відходів текстилю за характером зміни збігається з залежністю для торфодеревинних брикетів. Це пояснюється схожістю структури наповнювачів. Торфопаперові брикети виявили сильну залежність від складу та вологості сировини. Через плоску форму часток наповнювача вони схильні до сегрегації, що веде до зменшення площі контакту складових брикета та до зменшення міцності.

Висновки

Показано, що для отримання якісних брикетів необхідно наповнювач приводити до форми, що забезпечує збільшення поверхні контакту (волокно).

Встановлено, що основними факторами за ступенем значимості коефіцієнтів брикетів є вміст наповнювача, тиск пресування, вологість сировини. Рациональний вміст наповнювача з умов міцності до 40 %, тиск пресування 100 МПа, вологість суміші 10...12 %.

Встановлено, що залежності міцності брикетів з використанням будь-якого з перерахованих вище наповнювачів при вмісті до 40 % не залежить від типу наповнювача.

Наведені залежності (1)-(3) можуть бути використані в торфобрикетному виробництві на стадіях проектування, налагодження та контролю якості виробництва композиційних брикетів та гранул.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Парфенюк А.С., Антонюк С.И., Топоров А.А.* Альтернативное решение проблемы твердых отходов в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 36-41.

2. Економіка природокористування і охорони довкілля: Збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції по управлінню відходами "Техноресурс – 2000". – РВПС України НАН України 2000. – 200с.

3. *Вольчин И.А., Майстренко А.Ю., Потапов А.А.* Твердые бытовые отходы как топливо для получения энергии // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 8. – С. 2-7.

4. Проблемы сбора, переработки и утилизации отходов: Сборник научных статей. – Одеса: ОЦН ТЭИ. – 2001. – 427с.

5. *Парфенюк А.С, Антонюк С.И.* Получение твердого топлива из смесей углеродистых промышленных и бытовых отходов // Кокс и химия. – 2001.– №5 – С. 44-47.

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

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

8. *Аннеков В.Ф.* Висококалорійні паливні брикети з відходів деревини та залишків сировини рослинного походження// Світ меблів і деревини. –1999. – № 3-4. – С.24-26.

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

10. *Наумович В.М., Морозов А.Н.* Состояние и перспективы использования древесных включений торфа в народном хозяйстве. –М.:

ЦБНТИ Минтоппром РСФСР.– 1988.–46 с.

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

12. *Архангельский В.Д.* Брикетирование древесных опилок. М.: Гослесбумиздат.– 1960.– 56 с.

13. *Парфенюк А.С, Антонюк С.И.* Получение твердого топлива из смесей углеродистых промышленных и бытовых отходов//Кокс и химия. – 2001.– №5– С. 44-47.

14. *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. – 164с.

15. *Антонюк С. И.* Обоснование технологии компаундирования твердых углеродистых отходов для экологично чистой термической переработки в камерных печах: Дис. канд. техн. наук: 21.06.01 // Донецкий национальный технический ун-т. – Донецк.– 2004. – 198с.

16. *Соколов Н.А.* Исследование процесса структурообразования торфяных брикетов и его расчет. Ареф. дис. канд. техн. наук: Калинин. – 1966.– 26 с.

17. *Снежкін Ю.Ф, Корінчук Д.М., Воробйов Л.Й., Хавін О.О.* Розробка енергоефективного палива на торф'яній основі. Промышленная теплотехника, т. 28, № 2, 2006.– С. 41-46.

18. *Базин Е.Т.* Технический анализ торфа .– М.: Недра, 1992. – 430с.

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

20. *Янцевич А. А., Александров Ю.А.* Планирование эксперимента: Учеб. пособие для студ. экон. и техн. спец. вузов // Народная украинская академия. – Х.: Издательство НУА, 2004. – 208с.