

ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ, ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ



УДК 620.92:632.638

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ВІТЧИЗНЯНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ТВЕРДОПАЛИВНИХ ВИРОБНИЦТВ

В.О. Дубровін, докт. техн. наук., проф.,
О.І. Єременко, канд. техн. наук
*Національний університет біоресурсів і
природокористування України*

Проаналізовано стан технічного оснащення підприємств по виготовленню твердих біопалив та визначено перспективи розвитку технічних засобів вітчизняного виробництва

Ключові слова: *тверде біопаливо, палети, брикети, гранулятори, брикетні машини, технологічні лінії, розвиток.*

Проблема. Характерними ознаками сучасного стану екології та паливно-енергетичних ресурсів у світі та Україні є тенденції на зменшення техногенних викидів, зокрема вуглекислого газу, промислові викиди якого щорічно сягають до 25 млрд. т [1, 2]. Ефективним шляхом подолання зазначених проблем є застосування нових, альтернативних джерел енергії, в т.ч. твердих видів біопалив з біомаси. Водночас, у різних країнах суттєво відрізняються техніко-технологічне оснащення, функціональні рівні, нормативні бази твердопаливних виробництв, щорічний обсяг продукції яких нині досяг 15 млн. т [3, 4]. Тому поглиблений аналіз, з'ясування стану і перспектив технічного парку понад

© В.О. Дубровін, О.І. Єременко.

Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 97. 2013.

20 тис. вітчизняних підприємств з виробництва біопаливних гранул і брикетів є проблемним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виробництво твердо-біопалива засноване на технології ущільнення біомаси, як правило, рослинного походження. Під впливом високого тиску до 30 МПа руйнується клітинна структура матеріалу, численні порожнечі спресовуються. У такий спосіб здійснюється *гранулювання і брикетування* біосировини. В результаті використання технології щільність матеріалу збільшується до десяти разів від свого первинного стану і становить 900...1400 кг/м³ [1, 3-6]. Пресування не може збільшити кількість тепла на одиницю маси біопалива, але ущільнення підвищує енергоємність твердого біопалива до 15...21 МДж/кг за рахунок створення умов більш ефективного спалювання, наближаючи його до таких видів палива як мазут, буре вугілля та ін. [1, 3-6].

Результати досліджень та передовий досвід свідчать, що для ефективного спалювання відходів органічного походження потрібно мати паливний матеріал у вигляді частинок, майже однакових за розмірами і формою, як біопаливні гранули (палети). Це забезпечує необхідний контакт з киснем повітря для отримання найбільшої тепловіддачі та дає можливість механізації і автоматизації процесів в опалювальних установках [1-6].

За даними компанії California Pellet Mill [4, 5] оптимальна температура гранулювання має бути 88...102°C, тому що забезпечується плавлення лігніну при 90°C і відсутнє утворення водяної пари, що розриває гранули. Речовиною, що пов'язує подрібнений матеріал у паливних виробках, є лігнін – аморфний полімер, який виділяється під дією тиску і температури і міститься у клітинах біомаси [2, 4, 9-11, 15]. Вміст лігніну в деревах хвойних порід становить 28...34 %, листяних порід – 17...27 %, в стебловій частині рослин – 12...16 % [2, 4, 6, 7]. Колір лігніну може бути від яскраво-жовтого до темно-коричневого, щільність його становить 1250...1450 кг/м³ [4, 6].

За спільними українсько-чеськими проектами розроблені та випускаються міні-лінії для гранулювання біомаси ЕКО-БІО-100 (продуктивність – 150 кг/год, питомі енерговитрати – 391 Дж/кг), ЕКО-БІО-1300 (продуктивність – 1300 кг/год, питомі енерговитрати – 450 Дж/кг) [1, 3, 4, 7]. Також функціонує вітчизняна лінія брикетування соломи Р6-ЛБС-100 (продуктивність – 100 кг/год, питомі енерговитрати – 432 Дж/кг).

Найбільший виробник біопаливних гранул в Україні є компанія “Пелет-енерго Україна” (Житомирська обл.). Компанії належить біо-

паливний завод потужністю 50 тис. т продукції в рік, вона є членом Асоціації учасників ринку альтернативних видів палива і енергії України (АПЕУ) [4, 7].

За даними Fuel Alternative [4, 7], за останні три роки на експорт щорічно відправлено близько 350-400 тис. т біопаливних палет і брикетів, вироблених в Україні. Це понад 90% вітчизняного твердопаливного ресурсу. Основні покупці твердого біопалива – Польща, Німеччина, Італія.

Мета досліджень полягає у підвищенні ефективності виробництва твердого біопалива в умовах аграрного та лісового комплексів шляхом визначення напрямів розвитку технічних засобів українського машинобудування.

Результати досліджень. Комплекс типового технологічного обладнання для виготовлення біопаливних гранул наведено на рис. 1. Запропонована технологічна лінія відображає сприятливу для умов господарства технологію виробництва палет, що здійснюється за багатьма техніко-економічними критеріями.

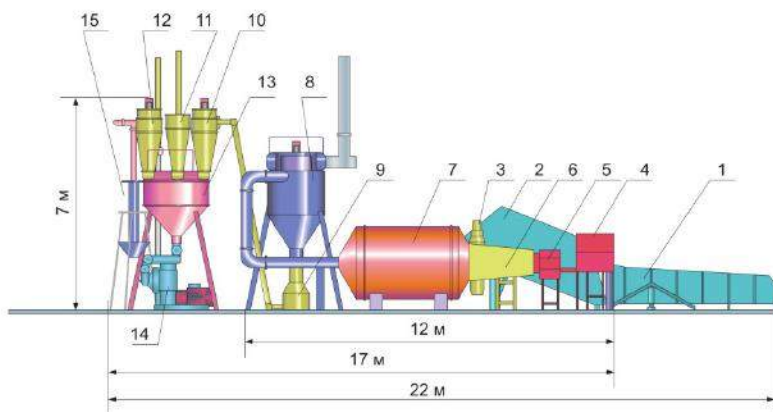


Рис.1. Схема типової технологічної лінії виробництва біопаливних гранул (палет): 1-приймальний пристрій; 2-живильник; 3-транспортер; 4-паливний бункер; 5-камера спалювання; 6-теплогенератор; 7-сушарка; 8-циклон; 9-дробарка; 10-циклон подрібненої маси; 11-циклон додатковий; 12-циклон охолоджувача; 13-бункер-накопичувач гранулятора; 14-прес-гранулятор; 15-охолоджувач палет

Невід'ємною машиною даних технологічних ліній є прес-гранулятори, як правило матричного типу. Спільне українсько-німець-

ке підприємство «Грантех» (грануляційна техніка) розробляє комплекс обладнання для ліній з виробництва гранульованої продукції, в т.ч. біопаливних гранул. Для оцінювання фактичних значень основних параметрів цих твердопаливних грануляторів наведено таблицю 1.

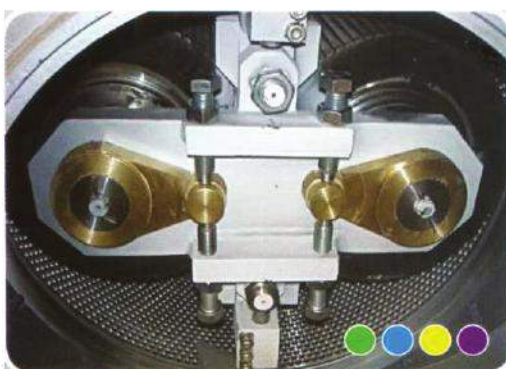
Таблиця 1. Технічні характеристики грануляторів серії «Грантех»

Тип прес-гранулятора	ГТ-360	ГТ-420	ГТ-500	ГТ-520
Внутрішній діаметр матриці, мм	360	420	500	520
Робоча ширина матриці, мм	75-120	90-120	120	142
Діаметр роликів, мм	160	206	240	252
Потужність основного приводу, кВт	22-45	75-90	110	150
Габаритні розміри, мм	2076x	2076x	2065x	2065x
	2050x	2350x	2280x	2280x
	2035	2370	3240	3240

В конструкціях грануляторів цієї фірми (рис. 2) застосовують механізми безперервної дії з кільцевими матрицями і двома роликками, що пресують. Відсутність холостого ходу робочих органів і незмінність їх швидкостей зводять до мінімуму інерційні сили і загальну масу пресового обладнання. Робочі органи і привод мають відносно просту конструкцію, що свідчить про перспективність машин такого типу.



а



б

Рис. 2. Гранулятор з кільцевою матрицею: а – загальний вигляд; б – удосконалений вузол

Результатом науково-дослідних та проектно-конструкторських робіт фірми «Грантех» є удосконалення процесів і конструкцій даних машин, наприклад, кріплення матриці за допомогою бандажних кілець додатково підвищує її міцність, і забезпечує здатність витримувати великі 18...25 МПа навантаження, що знижує вірогідність руйнування матриці; 2-х роликів система, розміщена усередині кільцевої матриці (рис.2, б), забезпечує високий ступінь пресування продукту, рівномірний розподіл навантажень на матрицю, центральну вісь і підшипники головного приводу, а також необхідний робочий об'єм у камері пресування при гранулюванні легковагих продуктів

Серед твердопаливних прес-грануляторів з кільцевою матрицею відомих закордонних фірм найбільшого розповсюдження набули такі машини як СРМ Europe (Нідерланди), Munch (Німеччина), ОГМ-1,5М (Литва), Топгран (Росія) та ін.; серед грануляторів з плоскою матрицею – KANL Group (Німеччина), MGL-200 (Чехія) та ін.

Сімейство грануляторів СРМ відповідає модульній конструкції. Модульний ряд характеризується широким діапазоном розмірів матриць і потужностей приводів. Для визначення потужності і розмірів грануляторів СРМ за вимогами технологічної лінії застосовують схеми і таблиці.

Перші модифіковані прес-гранулятори з кільцевою матрицею називалися ОГМ-1,5 і випускалися у Литві. Технічно модель є аналогом старих моделей СРМ. Реальна продуктивність палет на ОГМ-1,5 не перевищує 1 т/год.

В Україні випускають на теперішній час гранулятори марки ВЕР-1,5 як прототип ОГМ-1,5. У цьому грануляторі регулюють зазор між пресуючими валиками і матрицею (0,2...0,5 мм); довжину гранул - перестановкою нерухомих ножів); частоту обертання матриці - варіатором швидкостей за допомогою клинопасової передачі; осьові зазори підшипників.

При обертанні матриці вальці обертаються в підшипниках за рахунок сил тертя об пресований матеріал, заклинений між вальцями і матрицею і продавлений крізь канали в матриці. Пресування проводиться зі значним нагрівом продукту при проходженні ним каналів-фільсер. У разі забивання преса або заклинювання вальців зростає момент, що обертає, на валу запобіжний штифт зрізується, звільняючи фланець вала, який, повертаючись, натискає штовхач кінцевого вимикача.

У зовнішньої циліндрової поверхні матриці встановлено два ножі для обломлення гранул. Зазор між матрицею і ножем можна регулю-

вати в межах від 4 до 40 мм. Камера пресування закрита кожухом, прикріпленим шарнірними петлями до корпусу. Знизу до кожуха кріпиться лоток із спеціальною заслінкою, що дає можливість перемішати гранули по двох напрямках: у норію або спеціальну тару.

Матриці виготовляються з легованих сталей і проходять термічну обробку, тому вони мають високу поверхневу твердість. Для забезпечення максимальної продуктивності отвору в матрицях вони поліруються. Кожна матриця повинна працювати зі своєю парою роликів, у цьому випадку забезпечується мінімальний знос робочих поверхонь матриці і роликів при максимальній продуктивності.

До недоліків цих грануляторів потрібно віднести високу вартість витратних матеріалів (матриць) у порівнянні з грануляторами з плоскими матрицями. В недавньому минулому, кільцеві матриці були однією із слабких ланок машини. Необхідно також посилювати інші елементи, оскільки для гранулювання деревини потрібне більше в 1,3...1,5 рази зусилля, ніж при гранулюванні кормів.

Компанія «Biofuel Equipment» (м. Нетешин Хмельницької обл.) випускає сучасні високопродуктивні лінії для виробництва біопаливних гранул – палет. Лінії гранулювання мають продуктивність від 1 до 6 т готової продукції за годину. Технічна характеристика та комплектність лінії продуктивністю 2 т/год на базі двох грануляторів ВЕР-1,5 наведена у таблиці 2.

Найпотужніша лінія гранулювання виробляє до 6 т/год палет. Ця лінія додатково обладнана гідравлічним пресом Green-440 для збільшення продуктивності.

Біопаливні брикети - це вироби з поперечним розміром понад 25 мм. Вони можуть мати форму шестигранника з отвором усередині, циліндра або цеглини. Основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і тепловіддачу брикету, є його щільність. Чим щільніше брикет, тим вище показники його якості. Наприклад, при щільності брикетів 650-750 кг/м³ теплотворність їх дорівнює 12-14 МДж/кг; при щільності 1200-1300 кг/м³ – 25-31 МДж/кг [1, 6, 8].

Розділяють брикети за назвою компаній, що випускають брикетне обладнання. Таким чином, виділяють брикети RUF, брикети NESTRO і брикети Pini-Kay. Крім згаданих виробників брикетного обладнання, також відомі фірми, зокрема C.F.Nielsen (Данія), UPM (Литва), Vogma (Швеція), PAWERT-SPM AG (Швейцарія), Gross (Німеччина), DI-PIU (Італія), Пресмаш (Україна), Жаско (Росія) та ін. [1, 3, 4, 6, 8, 9].

Таблиця 2. Техніко-технологічна характеристика лінії гранулювання (гранулятор ВЕР-1,5)

Найменування параметрів	Встановлена потужність, кВт
Живильник-дозатор	11
Транспортер ланцюговий	2,2
Сепаратор для сировини	1,4
Система автоматизованого спалювання САС-2000	3
Сушильний барабан СБ-0,65 (2 шт.)	11
Головний циклон (3 шт.)	55
Шлюзовий затвор головного циклона (дозатор)	2,2
Дробарка молоткова	30
Бункер-дозатор гранулятора механізований (2 шт.)	4,4
Гранулятор ВЕР-1,5 (2 шт.)	154,4
Конвеєр стрічковий 6 м	4,4
Охолоджувач з просіювачем	7,5
Конвеєр стрічковий 4 м	1,5
Встановлена потужність	286,6
Споживана потужність	200,6

Брикетні машини за типом робочих органів класифікують на поршневі, штемпельні (пуансонні) та шнекові (гвинтові) [4, 6]. Серед засобів для брикетування найбільш розповсюджені машини з робочими органами шнекового типу. До брикетних шнекових машин вітчизняного виробництва належать ЕВ-350 Bronto та LB-500 (м. Черкаси), УБТ-300 (м. Київ), МБ-01 (м. Івано-Франківськ), ШПБ-700 (м. Полтава) та ін. Визначальними факторами ефективної роботи цих засобів є раціональне заповнення біомасою міжвиткового простору пресувального шнека, його технологічний та температурний режими. Технічні характеристики відомих пресів для виробництва паливних брикетів з біомаси зведено до таблиці 3

Найкращі показники за питомими капітальними витратами дають шнекові преси. Вузке місце такого засобу - це шнек, який у даний час вимагає заміни, виробивши близько 50 т брикетів. Заміна шнека - проста операція, яка виконується за 10-15 хвилин. Ціна нового

шнека – близько 200 EUR, відновлення використаного - на порядок дешевше. Вже досягнутий ресурс шнеків в 100 т на дубовій тирсі.

Таблиця 3. Порівняльна технічна характеристика брикетних машин

Марка, модель, країна	Показники					
	Продуктивність, кг/год.	Встановлена потужність, кВт	Маса, кг	Найбільша вологість сировини, %	Тип пресувального органу	Питомі енерговитрати, кДж/кг
RUF RB110	110	8	1900	15	Шт	262
BEB-800 (Україна)	800	47,6	4520	14	Шт	304
BRIO 155	60	5,5	660	20	П	330
BP500 (Global Edge)	80	5,5	710	20	П	248
OSCAR (Італія)	150	9,2	1250	20	П	221
TH300 (WEIMA)	80	8	870	18	П	360
GP 350 (Gross)	350	22	2000	18	П	315
B-80 (Пресмаш)	900	37	4530	17	П	287
MODEL 110	110	5,5	1900	15	Шт	180
УБО 2 (Росія)	750	53,2	1150	12	Шн	255
BIOMASSER (Польща)	50	4,2	240	30	Шн	178
МБ-01 (Україна)	480	39,2	980	12	Шн	294
ЕВ 350 (Україна)	350	38	1100	13	Шн	248
ПТЬ-1 (Росія)	400	48,7	2500	12	Шн	438
НОТПРЕСС (Україна)	160	13,2	500	20	Шн	191
УБТ-300 (Україна)	400	46	2200	10	Шн	306

Шт – Штемпельний, П – Поршневий Шн – Шнековий

Вимоги до біосировини в брикетному виробництві менш високі, ніж в палетному. Не потрібний додатковий тонкий помел. Допускаються помітні домішки кори. Крупна стружка, окремі шматочки деревини завдовжки до 20 мм, кора, - все це не заважає роботі пресувального органу. Окрім високої (1100-1200 кг/м³) щільності, брикети, отримані методом шнекового пресування, мають на своїй поверхні міцну кірку.

Комплекс переробки відходів КПВ-1 (України) дає можливість

здійснювати переробку тільки сухих і дрібних (до 7 мм) рослинних решток. Продуктивність лінії по готових брикетах досягає 600 кг/год., вологість біомаси на вході - не більше 12%, встановлена потужність - 57,7 кВт, займана площа - 250 м².

Комплекс переробки відходів КПВ-2 дозволяє здійснювати переробку сирих (вологість більше 12%), дрібних (до 7 мм) рослинних матеріалів з тією ж продуктивністю, що і КПВ-1. Вологість біосировини на вході - не більше 40%, встановлена потужність – 75 кВт, займана площа - також 250 м². Комплект обладнання включає транспортер-завантажувач, бункер-накопичувач, пристосування брикетування, циклон, сушильний барабан з піддуванням, теплогенератор і транспортер-завантажувач.

За результатами порівняльного аналізу брикетних машин українського виробництва варто зазначити перспективність моделей EB-350 Bronto (шнекове пресування) та ВЕВ-800 (ударно-механічна дія), загальний вид яких зображено на рис. 3.



Рис. 3. Загальний вигляд перспективних брикетних машин виробництва України: а - EB-350 Bronto; б - ВЕВ-800

На базі брикетного кривошипного преса ВЕВ-800, що формує брикети за принципом ударної екструзії, компанією «Biofuel Equipment» (м. Нетешин Хмельницької обл.) реалізується за умовами проведення монтажу, пусконаладжувальна технологічна лінія брикетування біомаси, техніко-технологічна характеристика якої наведена у таблиці 4, а схема загального вигляду – на рис. 4.

Таблиця 4. Техніко-технологічна характеристика лінії брикетування (прес ВЕВ-800)

Найменування параметрів	Встановлена потужність, кВт
Живильник-дозатор	11
Транспортер ланцюговий	2,2
Система автоматизованого спалювання САС-800	1,5
Сушильний барабан СБ-0,65	5,5
Головний циклон	18,5
Шлюзовий затвор головного циклона (дозатор)	2,2
Дробарка молоткова	30
Бункер-дозатор механізований	2,2
Брикетний прес ВЕВ-800	47,6
Встановлена потужність	120,7
Споживана потужність	84,5

**Рис. 4.** Схематичне зображення технологічної лінії виробництва брикетів на базі преса ВЕВ-800

Результати маркетингового аналізу та досвід експлуатації технологічних комплексів з виготовлення твердих біопалив в умовах АПК свідчать, що найбільшу ефективність ліній забезпечують підприємства з продуктивністю 0,6-2,0 т/год виробництва палет та 0,4-1,5 т/год виробництва брикетів.

Висновки. 1. Виробництво і використання твердих видів біопалив є перспективним напрямом розвитку альтернативних джерел енергії, як економічно вигідного (рентабельність твердопаливних підприємств становить 15...38 %) та екологічно чистого виду енергії. За прогнозами фахівців щорічний попит на палети і брикети у світі у найближчі десять років збільшиться з 15 до 45 млн. т. Враховуючи значну кіль-

кість побічної продукції (до 30 млн. т/рік) аграрної і лісової галузей України, виробництво твердих біопалив підвищуватиме енергетичний баланс на 6...11 % і поліпшуватиме екологічний стан.

2. Організація та експлуатація твердопаливних виробництв середньої та малої потужності (до 2 т/год) на сьогодні є раціональним техніко-економічним заходом з перспективою будівництва в найближчі десять-п'ятнадцять років заводів, оснащених технологічними лініями продуктивністю до 6 т/год готових паливних виробів. Одна з причин такого поступового розвитку твердопаливної галузі ґрунтується на відсутності потужної техніки як, наприклад фірм СРМ, «Munch» та ін., вітчизняних виробників.

3. Науково-виробничий і конструкторський потенціал українських установ та підприємств, а саме: ВАТ «Пресмаш», СП «Грантех», ТОВ «ЧеркасиЕлеваторМаш», Поліський ремонтний завод (м. Житомир) та ін., має стати техніко-технологічною базою для створення з залученням досвіду провідних закордонних фірм власного технічного парку твердопаливної техніки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад: Науково-методичні рекомендації / [В.О. Дубровін, М.Д. Мельничук, Ю.Ф. Мельник та ін.] – К: НУ-БіП України, 2009. – 122 с.*
2. *Царенко О.М., Олійник Г.М. Захист довкілля в умовах зростаючого техногенного навантаження на природу. – Суми: Слобожанщина, 2002. – 464 с.*
3. *Новітні технології біоенергоконверсії: монографія / [Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.П. Григорюк та ін.] – К.: Аграр Медіа Груп, 2010. – 360 с.*
4. *Перспективи ведучих компаній з розробок технологій та обладнання для виробництва твердого біопалива [електронний ресурс]. Режим доступу до журн.: www.bioresurs.com.ua; www.bioto-plivo.ub.ua; www.pelletsgold.com/; www.ick.ua; www.alterenergy.info; www.biofuel.in.ua/; www.bioresurs.com.ua; www.evrobriket.ru; www.presmash.if.ua; www.briketmal.kiev.ua; www.tk-ines.ru; www.woodpelletline.com/ru; www.ivtech.de; www.jasko.ru; www.weima.com.ua; npk-atek.ru; www.generator-tepla.ru; www.pellets.narod.ru*
5. *Севастьянова С.Н. Биоэнергетика. Древесные (топливные)*

- гранулы / С.Н. Севастьянова // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2009. – №10. – С. 133–138.
6. *Гомонай М.В.* Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография / М.В. Гомонай. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. – 68 с.
 7. *Єременко О.І.* Аналіз стану та тенденції розвитку твердопаливних виробництв / О.І. Єременко, О.В. Паянок, Д.М. Усенко // Науковий збірник «Вісник Степу», Ч. 2. – Кіровоград: КОД, 2012. – С. 234-240.
 8. *Сарана В.В.* Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур та деревини / В.В. Сарана, М.М. Гудзенко, С.М. Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика. – К.: НУБіП України, 2010. – Вип. 144. Ч. 3. – С. 190-198.
 9. *Єременко О.І.* Перспективи розвитку засобів для виготовлення паливних брикетів / О.І. Єременко, О.В. Паянок // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. – Вінниця: ВНАУ, 2012. - № 11. Т.1. – С. 327–331.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ТВЕРДОПАЛИВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Проанализировано состояние технического оснащения предприятий по изготовлению твердых биотоплив и определены перспективы развития технических средств отечественного производства.

Ключевые слова: *твердое биотопливо, паллеты, брикеты, грануляторы, брикетные машины, технологические линии, развитие.*

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF DOMESTIC TECHNIQUE FOR HARD BIOLOGICAL FUEL PRODUCTIONS

The state of technical equipment of enterprises is analyzed on making of hard biological fuel and the prospects of development hardware's of domestic production are certain.

Key words: *hard biological fuel, pellets, briquettes, granular, machines of briquettes, technological lines, development.*