

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

***НАПРЯМИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ:
АКЦЕНТ НА ТВЕРДОМУ БІОПАЛИВІ
ТА ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЙОГО
ВИГОТОВЛЕННЯ***

МОНОГРАФІЯ

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2017**

УДК 658.567:630*33:621.8.036
ББК 31.352+37.130.9
Н27

Авторський колектив:

Олександр Сергійович Полянський, доктор технічних наук – вступ, розділ 3 (п. 3.2), розділ 5 (п. 5.3), розділ 6 (п. 6.2, 6.5), висновки;

Олексій Васильович Дьяконов – розділ 2 (п. 2.5), розділ 3, розділ 4, розділ 5, розділ 6, висновки;

Олена Сергіївна Скрипник, кандидат технічних наук – розділ 2 (п. 2.2);

Герман Вікторович Фесенко, кандидат технічних наук – розділ 2 (п. 2.1, 2.3, 2.4);

Василь Іванович Д'яконов, кандидат технічних наук – розділ 1;

Юрій Володимирович Харченко – розділ 6 (п. 6.6);

Артем Сергійович Торосов, кандидат економічних наук – розділ 6 (п. 6.6);

Вікторія Вікторівна Волощенко, кандидат ветеринарних наук – розділ 3 (п. 3.3)

Рецензенти:

Віктор Федорович Харченко, доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи ХНУМГ ім. О. М. Бекетова;

Борис Володимирович Клименко, доктор технічних наук, професор кафедри електричних апаратів НТУ «Харківський політехнічний інститут»;

Володимир Едуардович Абракітов, кандидат технічних наук, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

*Рекомендовано до друку Вченою радою ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
протокол № 5 від 27 листопада 2015 р.*

Н27 Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник та ін. [за заг. ред. В. І. Д'яконова] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 136 с.

ISBN 978-966-695-411-7

Подано аналіз опублікованих досліджень, наведено завдання й отримані авторами результати у сфері надання енергетичної безпеки України. Розглянуто гнучкі технології отримання та використання твердого біопалива з рослинних відходів.

Рекомендовано для фахівців і науковців, які працюють у галузі проектування альтернативних джерел енергії, вирішення питання національної енергетичної безпеки держави, а також викладачам, аспірантам, студентам вищих навчальних закладів, та всім хто цікавиться питанням організації виробництва.

УДК 658.567:630*33:621.8.036
ББК 31.352+37.130.9

ISBN 978-966-695-411-7

© В. І. Д'яконов та колектив авторів, 2017
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИКИ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	7
1.2 Сучасні проблеми енергетики.....	7
1.2 Напрями розвитку альтернативних джерел енергії.....	9
РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	14
2.1 Вітроенергетика.....	14
2.1.1 Стисла характеристика розвитку вітроенергетичної галузі....	14
2.1.2 Сучасний стан розвитку вітроенергетичної галузі.....	19
2.1.3 Потенціал використання вітроенергетики в Україні.....	20
2.2 Гідроенергетика.....	21
2.2.1 Стисла характеристика розвитку гідроенергетичної галузі....	21
2.2.2 Сучасний стан розвитку гідроенергетичної галузі.....	22
2.2.3 Потенціал використання гідроенергетики в Україні.....	24
2.3 Сонячна енергетика.....	25
2.3.1 Стисла характеристика становлення сонячної енергетики	25
2.3.2 Потенціал використання сонячної енергетики в Україні.....	28
2.4 Геотермальна енергетика.....	28
2.4.1 Стисла характеристика розвитку геотермальної енергетики...28	
2.4.2 Сучасний стан геотермальної енергетики у світі.....	29
2.4.3 Потенціал використання геотермальної енергетики в Україні.....	31
2.5 Біоенергетика.....	32
РОЗДІЛ 3 БІОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ УКРАЇНИ	34
3.1 Проблеми визначення єдиної назви термінів «біомаса», «біопаливо» і «біоенергія».....	34
3.2 Перспективи використання рослинних відходів для виробництва твердого біопалива.....	38
3.2.1 Розрахування відходів деревної біомаси.....	43
3.3 Енергетичні рослини.....	45
3.4 Уживана деревина.....	50
РОЗДІЛ 4 ТВЕРДЕ БІОПАЛИВО	52
4.1 Характерні особливості твердого біопалива.....	52
4.2 Технологія виробництва паливних гранул із рослинних відходів.....	59
4.3 Методи одержання енергії з рослинних відходів.....	62

РОЗДІЛ 5 РІЗНОВИДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЇХНЕ ЗАСТОСУВАННЯ В ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЯХ БРИКЕТУВАННЯ ПОДРІБНЕНИХ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....	72
5.1 Форма і зміст процесів моделювання.....	72
5.2 Теоретичні основи створення засобів математичного, аналогового й фізичного моделювання.....	73
5.2.1 Натурне й напівнатурне вимірювання.....	75
5.2.2 Фізичне моделювання.....	75
5.2.3 Математичні моделі.....	77
5.3 Математичне моделювання брикетування подрібнених рослинних відходів.....	78
5.3.1 Побудова математичної моделі формування брикетів з подрібненої деревини під дією ударного навантаження.....	79
5.3.2 Побудова математичної моделі процесу ущільнення біосуміші під дією ударного навантаження.....	83
РОЗДІЛ 6 ПРАКТИЧНЕ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДОЗМІНИ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ У ТВЕРДЕ ПАЛИВО	89
6.1 Гнучкі технології біообробних процесів.....	89
6.2 Принципи проектування гнучких систем утилізації рослинних відходів.....	94
6.3 Розроблення й дослідження роботи ефективної багатоваріантної гнучкої технології утилізації рослинних відходів.....	100
6.4 Оцінка впливу тривалості інтервалів часу надходження відходів на продуктивність технологічної лінії.....	105
6.5 Вплив дозавантаження обладнання цеху деревною сировиною від рубок догляду за лісом (парком).....	107
6.6 Економічна ефективність та екологічні наслідки промислового виробництва біоенергії.....	109
ВИСНОВКИ.....	118
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	119
ДОДАТКИ.....	131

ВСТУП

Світова спільнота розглядає використання місцевих альтернативних джерел енергії як один із перспективних шляхів вирішення зростаючих проблем енергозабезпечення [12]. Невичерпність ресурсної бази та її екологічна чистота є визначальними перевагами за умов зменшення ресурсів органічного палива та зростаючих темпів забруднення довкілля. Місцева біомаса є одним з найбільш потужних і доступних альтернативних джерел енергії на Землі [82, 83].

Протягом багатьох століть, принаймні на території України, вона була основним джерелом енергії; і на сьогодні біомаса посідає четверте місце у світі як паливо. Вона забезпечує до 15 % загальносвітового виробництва енергії і належить до найдинамічнішого сектору енергетики країн ЄС, США і Канади. Виокремлюють два різновиди біомаси: рослинну, що утворюється на основі фотосинтезу і включає різні види рослин, і тваринного походження, що становить собою відходи життєдіяльності і переробки тварин. Згідно з міжнародною класифікацією, до рослинної біомаси належить і торф [1, 12].

У багатьох розвинених країнах стратегічним питанням національної енергетичної безпеки є зменшення залежності від імпорту енергоносіїв. Україна вважається енергодефіцитною країною, яка щороку споживає близько 200 млн тонн умовних одиниць паливно-енергетичних ресурсів, забезпечуючи потреби щодо енергоспоживання приблизно на 53 %. Однак український ринок біопалива досі не сформований. Про це свідчить відсутність систем сертифікації та стандартизації, що призводить до утворення значного обсягу низькоякісної продукції, повільного розвитку логістики та нестабільності ціноутворення. Вирішити проблеми розвитку внутрішнього ринку можна, наблизивши європейські біопаливні стандарти до реалій вітчизняної економіки [4, 135–137].

Україна, у якій проблеми енергозабезпечення не вирішені і яка прагне в майбутньому стати членом європейської спільноти, повинна будувати свою енергетичну політику з урахуванням цього перспективного напрямку.

Пропонована монографія адресована всім, хто вивчає проблеми енергозбереження, розвитку альтернативних джерел енергії, ресурсної бази регіону, використання новітніх технологій в енергетиці. Матеріали монографії можуть бути використані у практичній господарській діяльності для забезпечення стабільної роботи підприємства, фірми,

особистого домогосподарства, отримання нових знань.

Автори висловлюють подяку академіку Академії безпеки та основ здоров'я, Міжнародної академії наук екології та безпеки життєдіяльності Володимирі Едуардовичу Абракітову та доценту кафедри Світлані Аркадіївні Грязновій за надану допомогу у написанні монографії.

РОЗДІЛ 1 НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИКИ НА СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Сучасні проблеми енергетики

У житті сучасного суспільства найважливішу роль відіграють енергетика, економіка та екологія. Енергетика є визначальною, оскільки вона впливає на розвиток і економіки, і екології. Вона значною мірою обумовлює економічний потенціал держав і добробут населення, а також найбільше впливає на довкілля, екосистеми й біосферу загалом. Будь-які екологічні проблеми (зміна клімату, кислотні опади, загальне забруднення середовища тощо) прямо чи опосередковано пов'язані з виробництвом або використанням енергії.

Енергетична галузь спричиняє не тільки хімічні, але й інші забруднення: теплове, аерозольне, електромагнітне, радіоактивне. Отже, не буде перебільшенням те, що вирішення енергетичних проблем обумовлює вирішення основних екологічних проблем.

Енергетика, як галузь виробництва, розвивається дуже швидкими темпами, тому гарантування енергетичної безпеки та зниження антропогенного впливу енергетики на довкілля – важливе завдання сьогодення.

Розвиток у ХХ ст. «технічної цивілізації» супроводжується стрімким збільшенням енергоспоживання [4]. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, споживання енергії у світі впродовж останніх 30-ти рр. зросло більше ніж на 3 % на рік. Приріст народонаселення (2 % на рік) і темпи економічного розвитку в ХХІ ст. зумовлять збільшення обсягів світового виробництва продукції у 3–5 разів – до 2050 р. і в 10–15 разів – до 2100 р. Але в такому разі енергозабезпечення повинно збільшитися у 3–5 разів. Швидкі темпи розвитку енергетики спричинили появу низки гострих проблем [11, 18].

Найважливішою стала проблема ресурсозабезпеченості енергетичного господарства. З одного боку, сумарні запаси паливних ресурсів на сьогодні досить великі, до того ж щороку відкривають нові поклади викопного палива. Крім того, сучасні технології забезпечують доступ до використання нетрадиційних джерел енергії. Отже, абсолютного дефіциту енергетичних ресурсів на планеті поки що не існує.

З іншого боку, спостерігається відносна ресурсна обмеженість,

зумовлена можливістю швидкого вичерпання найбільш доступних родовищ і переходом до розроблення більш складних, що спричиняє подорожчання енергоносіїв і робить використання більшої частини паливних ресурсів нерентабельним.

Найбільше загострилися проблеми, пов'язані з негативним впливом енергетичної галузі на стан навколишнього середовища [18, 21, 22]. Викиди під час проведення таких робіт становлять 30 % усіх твердих часток, що надходять у атмосферу внаслідок господарської діяльності людини. За цим показником вплив електростанцій і підприємств металургії однаковий порівняно з іншими галузями промисловості він найбільший. Крім того, унаслідок діяльності енергетичної галузі промисловості утворюється до 63 % сірчаного ангідриду і понад 53 % оксидів озону, які надходять у повітря зі стаціонарних джерел забруднення. Вони є основним джерелом кислотних дощів в Україні. Рослини та океан уже не в змозі поглинути таку кількість оксиду вуглецю, що утворюється внаслідок спалювання органічних речовин. Це призводить до поступового збільшення її концентрації в атмосфері, посилюється «парниковий ефект», що спричиняє потепління клімату [18].

Якщо тенденція до зростання споживання енергетики та викидів двоокису вуглецю збережеться, то вже до 2025 року на Землі потеплішає на 2°C, що призведе до глобальних катастрофічних наслідків: переміщення кліматичних зон, зникнення багатьох різновидів рослин, зменшення лісових площ, збільшення пустель, танення льодовиків тощо.

Негативно на екологію України впливає гідроенергетика. Будівництво гідровузлів на Дніпрі призвело до затоплення великих площ. Утворення водосховищ вплинуло на підвищення рівня навколишніх ґрунтових вод, що спричинили інтенсивне руйнування берегів. Існує небезпека руйнування гребель, що може призвести до зникнення таких міст, як Дніпропетровськ, Дніпродзержинськ, Запоріжжя тощо внаслідок їхнього можливого затоплення. Виникає небезпека голоду, хвороб, масових міграцій населення із зон екологічного лиха.

Витрачання викопних видів палива і деревини порушує баланс кисню в атмосфері, оскільки на 1 т органічного палива при цьому витрачається більш ніж 2 т чистого кисню. Збільшення його споживання на техногенні потреби та зменшення відтворення внаслідок вирубування лісів призводить до виникнення небезпеки дефіциту кисню.

Необхідність подолання відсталості країн, що розвиваються, збільшення в них населення потребує швидкого розвитку енергетики, зростання енергоспоживання.

Негативні прояви у сфері енергетики можуть нейтралізувати такі заходи:

- підвищення ефективності використання енергії (за нинішнього рівня розвитку техніки сумарне споживання енергетики можна зменшити на 35–40 %);
- зменшення шкідливих викидів в атмосферу внаслідок запровадження технологій очищення відпрацьованих газів;
- змінення структури паливно-енергетичного балансу шляхом розвитку альтернативної енергетики.

1.2 Напрями розвитку альтернативних джерел енергії

Сучасна енергетика в основному базується на невідновлюваних джерелах енергії, які, маючи обмежені запаси, є вичерпаними і не можуть гарантувати стійкий розвиток світової енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних чинників, що призводить до глобального погіршення стану навколишнього середовища і її кризового стану.

Альтернативна енергетика це сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії.

Альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів.

Основні напрями альтернативної енергетики.

1. Вітроенергетика. Розробка автономних вітрогенераторів.
2. Геліоенергетика. Сонячні водонагрівачі, колектори, фотоелектричні елементи.

3. Альтернативна гідроенергетика. Припливні електростанції, хвильові електростанції, міні-та мікро-ГЕС (встановлюються в основному на малих річках), водоспадні електростанції.
4. Геотермальна енергетика. Теплові електростанції і (принцип відбору високотемпературних ґрунтових вод та використання їх у циклі). Ґрунтові теплообмінники (принцип відбору тепла ґрунту по засобом теплообміну)
5. Космічна енергетика. Отримання електроенергії у фотоелектричних елементах, розташованих на орбіті Землі. Електроенергія буде передаватися на землю у формі мікрохвильового випромінювання.
6. Воднева енергетика і сірководнева енергетика. Водневі двигуни (для отримання механічної енергії). Паливні елементи (для отримання електрики).
7. Розподілене виробництво енергії. Нова тенденція в енергетиці, пов'язана з виробництвом теплової та електричної енергії.
8. Грозова енергетика. Спосіб отримання енергії шляхом затримання і перенаправлення енергії блискавок в електромережу.
9. М'язова сила людини. Хоча м'язова сила є найдавнішим джерелом енергії, і людина завжди прагнула замінити її чимось іншим, в даний час її значення зростає разом із зростанням використання велосипеда.
10. Біопаливо. Отримання біодизеля, метану і синтез-газу, біогазу.

Американський еколог, засновник Інституту всесвітнього спостереження (Worldwatch Institute), президент Інституту політики Землі, Л. Браун зазначає, що для запобігання знищенню довкілля, яке негативно позначається на економіці кожної країни, доцільно використовувати замість викопного палива інші джерела енергії [128, 129]. Дослідження авторського колективу [36, 37] свідчать про те, що вирішенням цієї проблеми є використання альтернативних джерел енергії. Зрозуміло, що енергетична безпека країни загалом є одним із вирішальних чинників її конкурентоспроможності на міжнародному фінансово-економічному рівні. Зважаючи на це, а також враховуючи необхідність збереження екологічної рівноваги, найважливішим завданням є пошук нових ефективних, а головне, відновлювальних джерел енергії. Одним із найперспективніших із цього погляду джерел відновлювальної енергії є енергія біомаси. Енергію відновлюваних джерел, зокрема біомаси, активно використовують у більшості розвинутих країн світу. В окремих країнах частка біомаси в загальному споживанні первинних енергоносіїв значно перевищує середньоєвропейську й, наприклад, у Фінляндії становить більше ніж 25 %,

у Швеції – 20 %. За умови недостатнього забезпечення України власними ресурсами (нафта, газ) саме рослинні відходи стають одним із найбільш доступних і перспективних альтернативних джерел енергоресурсів. Найефективнішим може виявитися комбіноване використання біомаси рослин.

Пряме використання біомаси для одержання енергії є більш екологічно безпечним, ніж, наприклад, вугілля. При спалюванні біомаси виділяється менше ніж 0,2% сірки і від 3 до 5% золи в порівнянні з 2-3 і 10-15% для вугілля, решта переважно вуглекислий газ. Крім того, зола біомаси може повернутися в ґрунт, що забезпечує замкнутість кругообігу біогенних елементів. З точки зору обліку вуглекислого газу біомаса є практично нейтральною, тобто в період росту рослини поглинають сонячну енергію, воду, вуглекислий газ, виділяють кисень і утворюють вуглець в процесі фотосинтезу; під час спалювання процес йде у зворотному напрямку: кисень поглинається, а теплота, вода і вуглекислий газ виділяються. У цьому процесі кількість поглиненого і виділеного вуглекислого газу абсолютно однакова. В процесі утворення 1 кг сухої біомаси (деревини) поглинається 1,83кг CO₂ і стільки ж виділяється при її розкладанні (окисленні, горінні). Що стосується нафти, вугілля і газу, то спостерігається та ж закономірність для CO₂, але час, необхідний для відновлення балансу CO₂, досягає кілька мільйонів років. Середня теплота прямого згоряння біомаси становить 7-9 МДж/кг

В даний час визнано, що всі технології енергетичного використання біомаси не збільшують емісію CO₂, а запобігають їй в обсязі вироблюваної електричної і теплової енергії.

При повітряній газифікації виходить генераторний газ з теплою згоряння близько 4-6 МДж/м³, газифікація з використанням кисню дає газ вищої якості з теплою згоряння 10-18 МДж/м³. Газ, який отримують в результаті газифікації деревини при повітряному окислюванні, містить: азоту – 50-54%, оксиду вуглецю – 20-22%, водню – 12-15%, діоксиду вуглецю – 9-12%, метану – 2-3%. Ще більший ефект виходить при газифікації в киплячому шарі, в циркулюючому киплячому шарі, в потоці, газифікації в двох реакторах киплячого шару та ін.

При піролізі біомаси утворюються несконденсовані гази CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂ H₄, вміст яких залежить від виду біомаси і режиму термічної обробки. Вихід несконденсованого піролізного газу може досягати 70% сухої біомаси, а теплота згоряння – 12,5–13,3 МДж/м³. До складу рідких

продуктів піролізу входять різні речовини: кислоти, спирти, ацетон, формальдегід, вода та ін. Він залежить від виду і якості біомаси та умов процесу; теплота згоряння рідких продуктів досягає 20-25 МДж/кг. Коксовий залишок піролізу має близько 95-97% вуглецю, а вихід його може досягати 25-30% сухої біомаси, теплотворна здатність залишку становить до 35 МДж/кг.

При метановому бродінні отриманий біогаз містить 60-70% метану, 30-40% вуглекислого газу, невелика кількість сірководню, а також суміш водню, аміаку та оксиду азоту, теплота згоряння біомаси становить 22-26 МДж/кг. Залишок, що утворюється в процесі метанового бродіння, містить значну кількість поживних речовин (особливо азоту) і може бути використаний як чудове добриво.

Виробництво і використання рідкого палива з біомаси не тільки сприяє підвищенню енергетичної безпеки держави, але й поліпшенню екологічної ситуації.

Паливний етанол, отриманий з біомаси, як добавка до бензину дозволяє підвищити октанове число і поліпшити експлуатаційні суміші, при вмісті етанолу в бензині до 15% не потрібні зміни конструкцій сучасних двигунів внутрішнього згоряння. Під час роботи на суміші бензину з етанолом вміст CO_2 у вихлопних газах зменшується на 25%, а вуглеводнів і NO_x – на 5%, що є особливо важливим для зниження забруднення навколишнього середовища у великих містах зі значним використанням автомобільного транспорту.

Біодизельне паливо (біодизель) – продукт переробки рослинних олій (ріпакової, соняшникової олії, пальмової). Біодизельне паливо для автомобільного транспорту на основі ріпакової олії має такі переваги у порівнянні з паливом з нафти:

- не має впливу на парниковий ефект, бо ріпак, як і вся біомаса, нейтральний щодо CO_2 ;
- утворює меншу концентрацію шкідливих речовин у вихлопних газах (концентрація CO , вуглеводнів і твердих частинок зменшується на 25-50%, задимленість газів – вдвічі);
- не містить канцерогенних речовин (поліциклічних ароматичних вуглеводів, особливо бензпірену);
- для згоряння вимагає меншу кількість повітря;
- має високу ступінь біологічного розкладання (за 21 день його біологічне розкладання становить близько 90%).

У той же час недоліками біодизельного палива в порівнянні з паливом з нафти є менша теплота згоряння, що призводить до збільшення витрати палива і зниження потужності двигуна на 16%; велика в'язкість ріпакової олії погіршує розпилювання, сумішоутворення і згоряння в дизелі; необхідність частої заміни масляних фільтрів та проведення регламентних робіт на форсунках внаслідок сильного закоксовування отворів розпилювачів.

Збільшення виробництва біомаси покращує мікроклімат завдяки використанню води і рециркуляційних механізмів. Виробництво і застосування компостів з біомаси покращує структуру ґрунту і знижує забруднення вод.

Ряд технологій отримання біогазу на звалищах, з відходів тваринництва, з відходів харчової промисловості, по суті є природоохоронними, так як запобігають забрудненню води, ґрунту і повітря цими відходами.

Питанням розвитку альтернативних джерел енергії присвячено багато наукових праць [102–136]. У ґрунтово-кліматичних умовах України високим накопиченням біомаси характеризується практично всі рослини. Останнім часом джерело біомаси для енергетичних потреб науковці пропонують використовувати морські водорості (макрофіти), собівартість енергії біомаси яких порівняно невисока.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Вітроенергетика

2.1.1 Стисла характеристика розвитку вітроенергетичної галузі

Вітроенергетика – галузь альтернативної енергетики, яка базується на перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну енергію.

Джерелом для вітроенергетики є сонце, оскільки саме воно впливає на утворення вітру. Внаслідок неоднорідності поверхні землі та через те що кут падіння світла в різних широтах в різні пори року неоднаковий атмосфера землі вбирає сонячну радіацію нерівномірно. Щільність повітря змінюється та піднімається догори, в атмосферу, утворюючи потоки. Там, де повітря нагрівається більше, ці потоки піднімаються вище та зосереджуються у зонах низького тиску. Холодне повітря піднімається нижче, утворюючи зони високого тиску. Різниця атмосферного тиску змушує повітря пересуватися від зони високого до зони низького тиску з пропорційною швидкістю. Цей рух повітря і є тим явищем, яке ми називаємо вітром.

Щоб використати вітрову енергію, найоптимальніше враховувати добове та сезонне змінювання вітру, його швидкості залежно від висоти розташування над поверхнею землі, кількість поривів вітру за короткі відрізки часу, а також статистичні дані за певний період, наприклад за останні 20 років.

Енергію вітру людство використовує здавна. Одним з найперших способів використання вітру було вітрило, яке було винайдено в приблизно п'ятому тис. до н. е. У I ст. до н. е. давньогрецький учений Герон Александрійський винайшов вітряк, що керував органом. Вітряні млини для переробки зерна винайдені ще в епоху середньовіччя. Уважають, що перші вітряки були побудовані в Сістані, що розташовувався між сучасним Іраном та Афганістаном, приблизно між IX – VII ст. до н. е. Вони мали вертикальну вісь, від шести до дванадцяти крил з полотна або очерету та використовувалися як млини та помпи для води.

В останні роки людство все більше використовує енергію вітру для одержання електроенергії. Створюються вітряки великої потужності. Вони

встановлюються на місцевості, де дмуть часті й сильні вітри. Кількість і якість таких двигунів зростає щорічно, налагоджене їхнє серійне виробництво.

Місцевості, придатні для розміщення вітроагрегатів, поділяються на декілька класів (згідно з типами рельєфу). Такий поділ (табл. 2.1) демонструє можливості забезпечення енергією вітроустановок в умовних одиницях (10 балів – відсутність нерівностей, тобто нульовий клас поверхні), згідно з методикою європейської практики будівництва вітростанцій.

Таблиця 2.1 – Класифікація вітрового потенціалу місцевостей за особливостями нерівностей

Клас нерівності	Типографія місцевості	Енергопотенціал, кВт·год / м ² ·рік
1	Відкрита місцевість без високої рослинності та лісів	6,8
2	Окремі будинки, відстань між ними – 1000 м	4,6
3	Забудований район, ліси, пересічена місцевість	2,4

Оцінка енергозабезпеченості в балах залежно від особливостей місцевості не завжди однакова. Відомо, що після забудови місцевості або після насадження там дерев аеродинаміка цієї місцевості різко змінюється: збільшується кількість вітрового часу й зростає сила вітру.

Те саме стосується й гірської місцевості. Незважаючи на значні захаращення в окремих місцях, пересіченість місцевості може утворювати щось подібне до каналів, у яких швидкість вітру набагато більша, ніж на відкритій місцевості.

Для кожної місцевості зміна швидкості вітру за висотою (епюра швидкостей вітру) має характерний вигляд (рис. 2.1).

Із рисунка 2.1 зрозуміло, що крім середньорічної швидкості кожна місцевість має свій профіль швидкостей, який обумовлює величину швидкісного напору. Із огляду на це для ефективного уловлювання вітру вираховують оптимальну висоту розташування вітроагрегату над рівнем землі. Як і для середньорічної швидкості, попередньо досліджують ефективну висоту розташування вітроагрегату за різних вітрових навантажень і потужностей самого вітроагрегату.

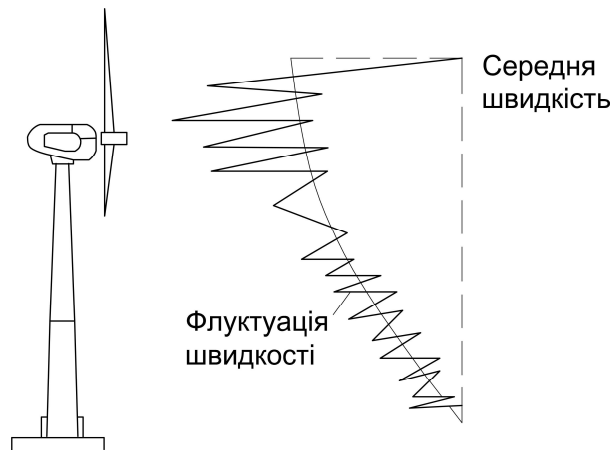


Рисунок 2.1 – Епюра швидкостей вітру

Використовують дві принципово різні конструкції вітроустановок – з горизонтальною і вертикальною віссю обертання. Поширення набули вітроустановки з горизонтальною віссю (рис. 2.2).

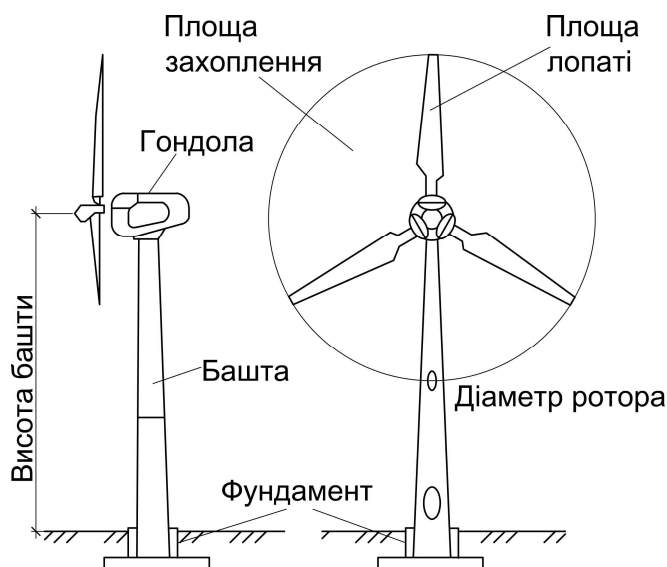


Рисунок 2.2 – Принципова схема вітроустановки

Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопаті), редуктор передачі крутільного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі крутільного моменту утворює вітродвигун.

Унаслідок спеціальної конфігурації вітроприймального пристрою в

повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють крутильний момент. Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяють на класи. Їхні параметри та призначення залежно від зазначених параметрів наведено в таблиці 2.2. Оскільки вітер може змінювати свою силу та напрям, вітрові установки обладнують спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої містять механізми розвертання осі обертання за вітром, нахилені відносно землі лопаті у разі досягнення критичної швидкості вітру; системи автоматичного контролю потужності й аварійного відімкнення для установок великої потужності.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають переваги щодо установок з горизонтальною віссю а саме: зникає необхідність використання пристроїв орієнтованих на вітер, спрощується конструкція та зменшуються гіроскопічні навантаження, які зумовлюють додаткові напруження в лопатях, системі передач та інших елементах установки.

Таблиця 2.2 – Класифікація вітроустановок

Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	15–50	3–10	3–2	Зарядження акумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	100–600	25–44	3–2	Енергетика
Великої потужності	1000–4000	> 45	2	Енергетика

Різновидом вітроустановок з вертикальною віссю є так звана вітрова гребля, у якій сконцентрований повітряний потік спрямовується на установку за допомогою напрямлювачів у вигляді лісосмуг, штучних перегородок у вигляді панелей, надувних конструкцій, солом'яних блоків тощо. Схему вітрової греблі наведено на рисунку 2.3.

Термін окупності вітроенергетичної установки, залежно від місцевості, забезпеченості комунікаціями, потужності установки тощо, становить від 3 до 8 років.

Питомі капітальні витрати для станцій малої потужності становлять 800–1000 ум. од. за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки. Отже, капітальні витрати на

вітроенергетичну станцію, наприклад потужністю 250 кВт (Данія), становлять 40 тис. доларів США, якщо термін окупності – 6,7 року.

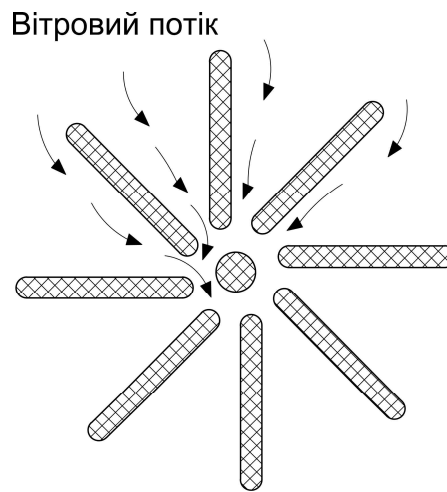


Рисунок 2.3 – Вітрова гребля

Застосування вітроелектричних станцій (ВЕС) має такі особливості.

Паралельна робота з мережею. У такому разі електрична енергія, яку виробляє ВЕС, повинна відповідати вимогам якості електричної енергії у мережі. Мережа, зі свого боку, повинна бути здатна сприйняти потужність від ВЕС (пропускна здатність ЛЕП, наявність відповідних лічильників електроенергії тощо) та вчасно реагувати на зміну її кількості.

Автономна робота ВЕС. Для такої роботи ВЕС необхідно встановити акумуляторні батареї, у яких накопичується електрична енергія, яку виробляє вітроагрегат за сприятливих погодних умов. Наявність акумуляторів значно збільшує загальну вартість системи, тому для прийняття остаточного рішення необхідно здійснити техніко-економічні розрахунки. Автономну ВЕС можна встановити поєднуючи з фотоелектричним модулем.

Пряме перетворення електричної енергії в теплову. Електрична енергія, яку виробляє ВЕС, перетворюється в теплову шляхом нагрівання об'єму води електричними ТЕНами. Отже, акумулятором тепла є вода. Таку схему можна використовувати для попереднього нагрівання води в системі гарячого водопостачання. Основним недоліком вітроенергетичної галузі є несталість та нерегульованість вітрового потоку. Важливою є також проблема економічної ефективності ВЕС [18, 21, 22].

2.1.2 Сучасний стан розвитку вітроенергетичної галузі

Згідно зі звітом Світової вітроенергетичної асоціації, використана потужність енергії вітру у світі на кінець червня 2014 р. становила 336 327 МВт. Із них 17 613 МВт було задано в першій половині 2014 р. Таке зростання було суттєвим у першій половині 2013 р. та у 2012 р., коли було додано 13,9 ГВт та 16,4 ГВт відповідно. Загальна кількість встановленої потужності енергії вітру на середину 2014 р. становила приблизно 4 % світових потреб щодо електроенергії. Протягом шести місяців світова потужність енергії вітру у світі зросла на 5,5 % (після 5 % за такий самий період 2013 р. і 7,3 % – за 2012 р.), та на 13,5 % за рік (середина 2014 р. порівняно з серединою 2013 р.). Для порівняння, річні темпи зростання у 2013 р. були нижчими на 12,8 %.

Швидкий розвиток світових ринків вітроенергетики обумовлюється економічними перевагами енергії вітру та її зростаючою конкурентоспроможністю порівняно з іншими джерелами електроенергії, а також гострою необхідністю використання технологій без шкідливих викидів з метою зменшення наслідків впливу на клімат та уникнення забруднення повітря.

Провідними ринками вітроенергетики у 2014 р. були Китай, Німеччина, Бразилія, Індія та США; п'ять традиційних країн використовують традиційно вітроенергетику: Китай, США, Німеччина, Іспанія та Індія. Разом вони виробляють 72 % світової потужності вітроенергетики. Щодо нових доданих потужностей, частка Великої п'ятірки збільшилася з 57 % до 62 %.

Китайський ринок продемонстрував дуже високу ефективність та додав 7,1 ГВт, що значно більше порівняно з попередніми роками. Загальна потужність вітроенергетичної галузі Китаю у червні 2014 р. досягла 98 ГВт. На сьогодні вона становить 100 ГВт. Німеччина також продемонструвала хороші результати, додавши 1,8 ГВт за першу половину 2014 року. Цей новий рекорд, без сумніву відображав очікувані зміни у законодавстві країни щодо вітроенергетики, що призвело до сповільнення ринку Німеччини.

Бразилія вперше увійшла до групи лідерів як третій за обсягом оновлення вітротурбін з потужностями до 1,3 ГВт, що становило 7 % обсягу продаж нових вітротурбін. Одночасно Бразилія стала безперечним лідером в Латинській Америці.

Індія зберегла друге місце в Азії та п'яте у світі показником нових потужностей вітроенергетики який становить 1,1 ГВт.

Ринок США після розвалу у 2013 р. продемонстрував потужні ознаки відновлення. Обсяги його ринку становили 835 МВт, випереджаючи Канаду (723 МВт), Австралію (699 МВт) та Великобританію, яка наполовину зменшила обсяги свого ринку та досягла у першій половині 2014 р. 649 МВт.

Ринок Іспанії не взяв участі у загальному зростанні вітроенергетичної галузі в 2014 р., оскільки там відбувся фактичний застій, встановлено лише 0,1 МВт нових потужностей у першій половині 2014 р.

У 2013 р. чотири країни використали більше, ніж 1 ГВт кожна у першій половині 2014 р.: Китай (7,1 ГВт нових доданих потужностей), Німеччина (1,8 ГВт), Бразилія (1,3 ГВт) та Індія (1,1 ГВт).

До першої десятки країн, що активно використовували вітрову енергію, увійшли ті, які у першій половині 2014 р. продемонстрували однакові показники, хоча ефективність незначно підвищилася. У п'яти країнах показники були кращими ніж у 2013 р.: Китай, США, Німеччина, Франція та Канада. У п'яти країнах на ринку відбувся спад: Іспанія, Великобританія, Італія, Данія та, у меншою мірою, Індія. Ситуація на ринках Іспанії та Італії була стабільнішою: 0,1 МВт та 30 МВт нових потужностей відповідно. Польща на сьогодні за встановленими потужностями входить до переліку 15-ти перших країн, тоді як Японія вибула з цього списку.

Великобританія та Німеччина, які розміщують вітроелектростанції і на морі, найближчим часом можуть стати лідерами за розвитком.

2.1.3 Потенціал використання вітроенергетики в Україні

Вітроенергетика в Україні начала розвиватися у 1996 року, коли була спроектована Новоазовська ВЕС, проектна потужністю якої становила 50 МВт. У 1997 році почала працювати Трускавецька ВЕС. До 2000 року в Україні працювало вже 134 турбіни та було закладено приблизно 100 фундаментів під турбіни потужністю 100 кВт. У 1998–1999 роках розпочали роботу ще три нові вітроелектричні станції.

Значно пришвидшилося будівництво вітроелектростанцій з 2009 року, коли в Україні було запроваджено «зелений» тариф.

Інститутом відновлюваної енергетики НАН України складено карту

вітроенергетичного потенціалу нашої країни (дод. А). Найбільш привабливими для використання енергії вітру регіонами України є узбережжя Чорного та Азовського морів, гірські райони тимчасово окупованої АР Крим, територія Карпатських гір, Одеська, Херсонська та Миколаївська області.

Станом на 01.01.15 р. встановлена в Україні потужність вітроелектростанцій становила 514 МВт (лише 0,93 % загального обсягу генерувальних потужностей). У 2014 році ці електростанції виробили понад 1171 млн кВт·г електроенергії.

2.2 Гідроенергетика

2.2.1 Стисла характеристика розвитку гідроенергетичної галузі

Гідроенергетика – галузь відновлюваної енергетики, що базується на використанні енергії течії води.

У наш час у світі активізувалося будівництво та використання малих гідроелектростанцій (далі–МГЕС).

Відповідно до чинної класифікації до МГЕС належать гідроелектростанції, потужність яких становить 1–10 МВт, до міні-ГЕС – 200–1000 кВт, до мікроГЕС – не більше 200 кВт.

Перевагами малої гідроенергетики є такі:

- електроенергію виробляють, не використовуючи викопного органічного та ядерного палива;
- значний термін використання та висока надійність експлуатації;
- передбачуваність та забезпеченість режимів роботи;
- висока маневреність і коефіцієнт готовності;
- можливість повної автоматизації процесу експлуатації;
- мінімальний вплив на навколишнє середовище в разі антипатичного вибору місця розташування та дотримання вимог екологічного законодавства;
- мінімальний вплив на ландшафт та незначне відчуження земельних ділянок;
- додаткові можливості для ведення рибного господарства, зрошення, водопостачання.

Водяні турбіни малої та середньої потужності, які використовують у «малій» енергетиці, як і у «великій», поділяються на турбіни з віссю,

розташованою вздовж потоку, та з віссю, розташованою перпендикулярно до потоку.

Для «малої» гідроенергетики найскладнішими з технічного боку є проектування турбоагрегатів для заданого потоку води або, навпаки, створення заданої витрати й швидкості води для певної турбіни.

Проектування та встановлення гідротурбін має свої особливості, за якими вони відрізняються від парових і газових. Парові та газові турбіни працюють у комплексі з відповідним чином спроектованими й підібраними джерелами енергії, які співпадають із номінальною потужністю агрегатів. Під час проектування гідроагрегатів ураховують діапазон оцінювання потужності потоку робочого тіла, унаслідок чого виникають складності проектування та будівництва.

Найбільш трудомістким і складним різновидом робіт у процесі будівництва гідроелектростанцій є спорудження захисних і напірних дамб, а також водоспадних каналів. Зведення цих споруд останніми часом значно спростилося внаслідок використання нових матеріалів і готових виробів.

Незаперечною перевагою гідроелектростанцій є сталість і стабільність їхньої роботи в мережі, на яку не впливають час доби і сезонні зміни. Слід зазначити, що незначну залежність від сезонних змін вдається забезпечити не на всіх гідроелектростанціях. Найбільше піддаються впливу сезонних змін міні-ГЕС Крайнього Півдня та північних регіонів, тому необхідно старанно обирати місце будівництва.

2.2.2 Сучасний стан розвитку гідроенергетичної галузі

На сьогодні використовують понад 800 ГВт гідроенергетичних потужностей, а річний обсяг виробництва електроенергії становить близько 7080 ТВт·год. За оцінкою Міжнародного енергетичного агентства, 5 % світового потенціалу гідроенергетики реалізується через МГЕС. Технічний потенціал «малої» гідроенергетики визначають на рівні 150–200 ГВт. Передбачається, що до 2020 року внаслідок використання потенціалу «малої» гідроенергетики в загальному виробництві енергії обсяг економії органічного палива буде становити 69 і 99 млн т у. п. за песимістичними й оптимістичними прогнозами розвитку світової енергетики відповідно. Більша частина неосвоєного потенціалу гідроенергетики знаходиться в Африці, Азії і Латинській Америці.

За даними Міжнародної організації з використання поновлюваної енергії в країнах, що розвиваються (REN21), економічно досяжний потенціал гідроенергії повинен становити 7300 ТВт·год на рік.

До МГЕС у більшості країн ЄС належать гідроенергетичні установки, потужність яких становить до 5 МВт (Австрія, Німеччина, Польща, Іспанія, Франція тощо). В Італії, Швейцарії та Латвії малими вважають ГЕС, потужність яких становить до 3 МВт, у інших країнах – до 10 МВт (Греція, Ірландія, Португалія, Україна).

Комітетом ООН із промислового розвитку встановлено, що, до МГЕС належать гідроелектростанції із потужністю до 10 МВт. У США після запровадження заходів щодо стимулювання розвитку «малої» гідроенергетики внесено зміни до класифікації її потужностей: верхню межу підвищено з 5 до 15 МВт.

Серед розвинених країн перше місце посідає Китай (47 ГВт), друге – Японія (4 ГВт), третє – США (3,4 ГВт). П'ятірку лідерів завершують Італія та Бразилія. На початок 2009 року сумарна потужність МГЕС збільшилася до 85 ГВт, а лідером залишився Китай (51 ГВт). У першу п'ятірку увійшли Японія (3,3 ГВт), США (3 ГВт), Італія (2,6 ГВт), Бразилія (1,8 ГВт), Німеччина (1,4 ГВт).

МГЕС (установки із потужністю до 10 МВт) відіграють важливу роль під час досягнення цілей, визначених Європейським Союзом на період до 2020 р. Оскільки вони мають багато переваг в умовах реалізації усе більш вимогливого екологічного регулювання, використовують саме їх. Прикладом є Європейська водна рамкова директива та відомості, зазначені у мережі Natura 2000 (Natura 2000), щодо захисту використовуваних ділянок, які свідчать про те, що збільшення використовуваних МГЕС тут зменшились.

У 2012 р. Німеччина знову зайняла друге місце: результат становив 7,2 ГВт. За даними Робочої групи Міністерства екології зі статистики відновлюваної енергії (AGEE-Stat), використання МГЕС збільшилося, на 22,8 %, тобто було досягнуто рівня 2008 р. Визначна потужність була суто статистичною, вона зменшилась на 8 МВт і досягла показника 10 780 МВт за рік. На нових та реконструйованих установках в Німеччині можна використовувати новий пільговий тариф за умови, що вони відповідають вимогам Федерального закону про управління водними ресурсами. Пільговий тариф становить 0,034–0,127 Євро/кВт·год, він обумовлюється потужністю установки та датою її запуску. Виробники можуть також

обрати ринкові ціни з урахуванням знижки для дилерів. До того ж останні щомісяця потрібно переглядати.

2.2.3 Потенціал використання гідроенергетики в Україні

Значний потенціал використання ресурсів малих річок (розташований, головним чином у її західних регіонах). Він становить майже 28 % загального гідропотенціалу всіх річок України.

Використовуючи гідропотенціал малих річок України, можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів, до того ж розвиток «малої» гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, що дасть змогу вирішити низку проблем щодо енергопостачання віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості [18, 21, 22].

Мікро-, міні- та малі ГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення всіх регіонів Західної України, а деякі райони Закарпатської та Чернівецької областей будуть повністю забезпечені енергією.

Україна має достатній науково-технічний потенціал для вирішення проблем розвитку «малої» гідроенергетики і значний досвід у галузі проектування й розроблення конструкцій гідротурбінного обладнання. Українські підприємства володіють необхідним виробничим потенціалом для оснащення малих ГЕС вітчизняним обладнанням.

Вода не забруднює атмосферу. Гідроенергетична галузь виробляє 8 % від загальної встановленої потужності електрогенерувальних об'єктів нашої країни. Нові об'єкти можна розміщувати у будь-якому регіоні, де є малі або великі річки. В Україні налічується понад 22 тис. річок, але лише 110 із них довші за 100 км, тому основні ресурси гідроенергетичної галузі зосереджені на малих річках. Водночас під час спорудження гідроенергетичних об'єктів можуть затоплюватися великі ділянки землі, що призводить до зникнення цінних порід риб та втрати родючих ґрунтів. Із огляду на це подальший розвиток гідроенергетики потребує усунення екологічних ризиків.

На сьогодні потенціал гідроенергетики (дод. Б) використовуються на 60 %, здебільшого шляхом залучення Дніпровського каскаду та інших великих ГЕС. Залишок потенціалу можна реалізувати шляхом встановлення нових та відновлення старих потужностей малих ГЕС.

Станом на 1 січня 2015 року в Україні діяло 102 МГЕС із

встановленою загальною потужністю близько 80 МВт. У 2015 році ними вироблено 251 млн кВт·год. Потрібно зазначити, що в 1960-х роках минулого сторіччя в Україні існувало понад 1000 малих ГЕС. Деякі з них є можна відновити.

Основним недоліком будівництва МГЕС, особливо на гірських річках, є загроза порушення природного стану екологічної системи, тому необхідно постійно здійснювати перевірку екологічних ризиків таких станцій.

Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики (НРЕАП), шляхом модернізації наявних потужностей, відновлення старих малих гідроелектростанцій, будівництва та введення в експлуатацію нових генерувальних потужностей гідроенергетики виробництво електроенергії в Україні у 2020 році може бути таким:

- мікро- та міні-ГЕС – до 130 ГВт·год (якщо їхня загальна потужність становить 55 МВт);
- малі ГЕС – до 210 ГВт·год (якщо їхня загальна потужність – 95 МВт);
- великі ГЕС – до 12 950 ГВт·год (якщо їхня загальна потужність – 5 200 МВ).

2.3 Сонячна енергетика

2.3.1 Стисла характеристика становлення сонячної енергетики

Сонячна енергетика – напрям альтернативної енергетики, заснований на безпосередньому використанні сонячного випромінювання для отримання енергії в будь-якому вигляді [18, 21, 22, 39].

Енергія сонця безпечна для довкілля. Її можна виробляти до поки світитиме Сонце. Сонячне випромінювання доцільно використовувати для вироблення теплової та електричної енергії, що можна здійснювати на всій території України [14, 39].

Станції, які працюють на сонячній енергії (геліостанції) (далі – СЕС), взагалі безшумні. Їхніми істотним недоліком є те, що такі станції займають великі площі. Кожен 1 МВт потужності СЕС потребує щонайменше 1,5 га землі. Негативним також є те, що енергія виробляється – непостійно. На сьогодні СЕС виробляють приблизно 4 % електроенергії, що припадає на всі відновлювальні джерела енергії у світі. Сонячна енергія

перетворюється в електричну здебільшого шляхом використання фотоелектричних елементів.

Використовуючи енергію Сонця, можна частково забезпечити електроенергією мешканців приватного сектору (паралельно до роботи електричної мережі). Для цього використовують фотоелектричні елементи, які розташовують на даху будинку.

Для вироблення тепла в приватних будинках в системі гарячого водопостачання можна застосовувати сонячні колектори (далі – СК). Сонячні колектори здатні нагрівати воду до 70 °С. Удень СК перетворює енергію Сонця в теплову, яка нагріває воду, що накопичується в теплоізованих ємностях (баках-акумуляторах). Із баків-акумуляторів вода подається в систему гарячого водопостачання. СК встановлюються на даху будинку, а накопичувальну ємність і допоміжне обладнання монтують в технічному приміщенні. Різновиди сонячних колекторів надано на рисунку 2.4.

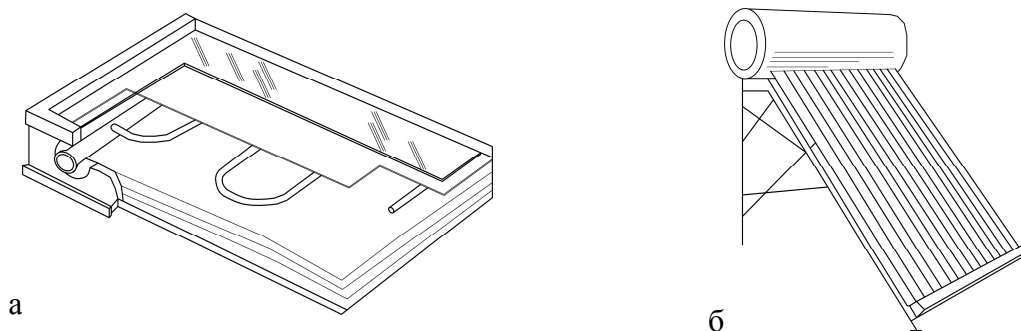


Рисунок 2.4 – Види сонячних колекторів:
а – плоский; б – вакуумний, із прямою передачею тепла воді

Експлуатаційні витрати на роботу системи гарячого водопостачання на базі СК мінімальні, адже електрична енергія витрачається тільки на роботу циркуляційного насоса. Наприклад, якщо потреби громадського закладу становлять 650 л/добу гарячої води, плоскі сонячні колектори повинні виробляти теплову енергію протягом року 8,7 МВт·год (7,5 Гкал). У такому разі для роботи циркуляційного насоса витрачається приблизно 180 кВт·год електричної енергії.

Сонячні фотоелектричні елементи (далі – ФЕ) безпосередньо перетворюють сонячне світло на електроенергію. У наш час на світовому ринку домінують кристалічний кремній (с-Si) і так звані тонко-плівкові

технології (далі – ТП). В ФЕ-системах на основі кристалічного кремнію високої чистоти використано елементи, зібрані в модулі й електрично з'єднані. Тонко-плівкові технології ФЕ беруться на використання тонкого шару напівпровідникового матеріалу, нанесеного на скло, полімер або метал. ФЕ на основі кристалічного кремнію є найдавнішими і на сьогодні становлять домінуючу фотоелектричну технологію, що забезпечує приблизно 85–90 % ринку фотоелектрики.

Підприємства, що виробляють концентровану сонячну енергію (далі – КСЕ), використовують дзеркала для концентрування сонячного випромінювання на приймач, який збирає та передає цю енергію до теплопровідної рідини, яку застосовують як для кінцевого використання, так і для генерування електричної енергії за допомогою звичайних парових турбін. Великі КСЕ-підприємства можуть бути оснащені системами акумулювання тепла для постачання теплової енергії споживачам та генерування електричної енергії вночі або у хмарний день.

Відомо чотири різновиди КСЕ-підприємств, а саме: з параболічним рефлектором, рефлектором Френеля, сонячною баштою та параболічним лотком, які різняться за конструкцією, конфігурацією дзеркал та приймачів, робочою рідиною для передавання енергії та наявністю або відсутністю теплового накопичувача. Перші три різновиди здебільшого застосовуються на електростанціях із централізованим виробництвом електрики. Найтехнологічнішою є система, де використовується параболічний рефлектор. Сонячні параболічні лотки більш придатні для розподільного видобутку електрики.

КСЕ-підприємства для функціонування потребують прямого сонячного випромінювання, тому їх застосовують у регіонах «сонячного поясу» – на 40° північніше та південніше екватора.

Сонячні ФЕ-технології обирають, ураховуючи початкові витрати, ефективність модуля та тарифи на електроенергію. У країнах, де сонячні ресурси значні, а тарифи на електроенергію високі, вартість електроенергії для населення, виробленої фотоелектричними системами, та роздрібні ціни на неї співпадають.

На малопотужних станціях місцем для встановлення фотоелементів можуть слугувати дахи будинків, якщо вони характеризуються значною опорною здатністю.

Фотоелементи широко використовують і для автономного освітлення. Попит на них постійно зростає у зв'язку з розвитком технологій та

зменшенням вартості обладнання.

2.3.2 Потенціал використання сонячної енергетики в Україні

Середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка щорічно надходить на територію України, в північній частині України становить 1 070 кВт·год/м² і 1 400 кВт·год/м² і більше – в АР Крим.

За інтенсивністю сонячної радіації територію України умовно можна розділити на чотири зони (дод. В).

Фотоенергетичне обладнання можна ефективно використовувати протягом усього року, проте максимально ефективно – протягом семи місяців на рік – із квітня по жовтень.

В умовах України сонячну енергію перетворюють на електричну насамперед за допомогою фотоелектричних пристроїв. Значні запаси сировини, наявність промислової й науково-технічної бази для виготовлення фотоелектричних пристроїв дають змогу не тільки забезпечити потреби вітчизняних споживачів, а й більше двох третин виробленої продукції експортувати.

На 01.01.15 року в Україні діяло 98 сонячних станцій загальною встановленою потужністю 819 МВт. У 2014 році на них вироблено 485 млн кВт·год електричної енергії.

Беручи до уваги досвід упровадження сонячних електростанцій в європейських країнах, де рівень сонячного випромінювання надійний, а також з огляду на світові тенденції щодо постійного зменшення собівартості будівництва СЕС унаслідок розвитку новітніх технологій, в Україні внаслідок удосконалення технологій та введення в експлуатацію нових потужностей на СЕС можна виробляти значно більше електроенергії.

2.4 Геотермальна енергетика

2.4.1 Стисла характеристика розвитку геотермальної енергетики

Геотермальна енергетика базується на виробництві електричної і теплової енергії шляхом використання теплової енергії, що міститься в надрах землі. [35].

Геотермальна енергія – це тепла енергія Землі, яка утворюється внаслідок розпаду радіоактивних речовин у земній корі та мантиї.

Температура земної кори підвищується углиб на 2,5–3 °С через кожні 100 м (так званий геотермальний градієнт). Так, на глибині 20 км вона становить близько 500 °С, на глибині 50 км – близько 700–800 °С, а в ядрі Землі – понад 5000 °С. У певних місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих «гарячих точках», температурний градієнт майже в 10 разів більший, а на глибині 500–1000 м температура порід сягає 300 °С. Однак, якщо температура земних порід і не така висока, геотермальних енергоресурсів достатньо.

Усе природне тепло, яке міститься в земній корі, можна розглядати як *геотермальні ресурси* двох різновидів:

- 1) пара, вода, газ;
- 2) розігріті гірські породи.

Головним джерелом є постійний потік тепла з розжарених надр, спрямований до поверхні землі. Цього тепла достатньо для постійного нагрівання порід. Підземні води теж дуже нагріваються цим теплом – іноді до температури 371 °С. Потрібно зауважити, що геотермальні ресурси не можуть утворитися без достатньої кількості наявних у гірських породах дрібних тріщин та порожнин, так званого геотермального резервуару, у якому вони, власне, і формуються. Розміри резервуару становлять від кількох тисяч кубічних метрів до кількох кубічних кілометрів.

Гідротермальні джерела енергії поділяються на термальні води, пароводяні суміші і природну пару.

Для отримання теплоти, акумульованої в надрах землі, її спочатку треба підняти на поверхню. Для цього бурять свердловини і, якщо вода досить гаряча, вона піднімається на поверхню природним чином, за нижчої температури може знадобитися насос.

Геотермальні води – екологічно чисте джерело енергії, що постійно відновлюється. Воно суттєво відрізняється від інших альтернативних джерел енергії тим, що його можна використовувати незалежно від кліматичних умов і пори року.

2.4.2 Сучасний стан геотермальної енергетики у світі

Потужність геотермальної електроенергетики країн Європейського Союзу дещо збільшилась у 2012 р. (на 0,5 %) – до 783 МВт або на 4 МВт більше, ніж у 2011 р.), що контрастує з валовим показником виробництва електроенергії, який зменшився порівняно з 2011 р. (на 2,1 %) до

5,8 МВт·год у 2012 р.

Енергетичні геотермальні запаси Італії сконцентровано у трьох основних зонах – Лардерелло, Травале-Радікондолі та Монте Аміата. За даними провідної компанії італійської електромережі «Терна», потужність геотермальної енергетики в країні не змінилася з 2010 р. вона стабілізувалася на рівні 728,1 МВт, хоча виробництво дещо скоротилося (на 1,1 %) – з 5654 до 5592 ГВт·год.

У Португалії для виробництва електроенергії використовують геотермальні ресурси розташовані на архіпелазі вулканічних Азорських островів (о. Сан-Мігель). За даними Генеральної дирекції енергетики та геології, діюча потужність у цій країні стабілізувалася на рівні 25 МВт. Виробництво електроенергії на базі геотермальних джерел у цій країні суттєво знизилося у зв'язку з витратами на технічне обслуговування і скоротилося на 30,5 % порівняно з попередніми роками (до 146 ГВт·год у 2012 р.).

У Франції більша частина джерел високотемпературної геотермальної енергії розташована на приморській території – у Буянті й Гваделупі. Їхня чиста потужність становить 16 МВт. На наступні роки заплановано збільшити їхні потужності на 20 МВт. Генеральна дирекція енергетики та клімату встановила обсяг виробництва енергії для цих електростанцій на рівні 51 ГВт·год (2012 р.). Електростанція, чиста потужність якої становить 1,5 МВт, функціонує в місцевості Сульц-су-Форе, де використовується геотермальна енергія гарячих сухих порід (петротермальна геотермія).

За даними AGEE-Stat, Робочої групи Міністерства екології зі статистики відновлюваної енергії, чиста встановлена геотермальна потужність у Німеччині зросла у 2012 р. на 4 МВт, оскільки запрацювала електростанція в Інсхаймі. Зараз у країні функціонує чотири геотермальні когенераційні електростанції в Інсхаймі, Ландау, Брухсалі (долина Рейну) та в Унтерхахінгу (Баварія). Таким чином, виробництво геотермальної енергії в Німеччині поступово зростає і у 2012 р. становило 25 ГВт (порівняно з попереднім роком збільшилося на 31,6 %). У 2013 р. було введено в експлуатацію ще дві електростанції: в Дюрнхаарі (5,5 МВт) та Кірхштокаху (5,5 МВт). Обидві вони розташовані в Баварії. До того ж номінальна електрична потужність зросла до 23,3 МВт. У Німеччині заплановано суттєво збільшити геотермальну потужність шляхом упровадження привабливого пільгового тарифу – 0,25 Євро/кВт·год протягом двадцяти років. Тариф буде зменшено на 5 % з 2019 року. Із

огляду на це набувають популярності нові проекти, що дають змогу використовувати найкращий тариф, термін дії якого ще не завершився. Упроваджуються близько десяти проектів, загальна потужність яких становить більше 36 МВт, процес розроблення нових проектів продовжуються. За даними Європейської ради геотермальної енергетики, до кінця 2015 р. геотермальна електрична потужність Німеччини зросте до 60–70 МВт.

За прогнозами Національного плану дій з відновлюваної енергетики країн Європейського Союзу, застосування геотермальної енергії як електричної буде сприяти збільшенню її виробництва в 2020 р. у два рази, тобто вона буде становити 10,9 ТВт·год за 1613 МВт установленної потужності. Для досягнення цього показника не лише країни-виробники геотермальної енергії повинні значно збільшити наявні встановлені потужності (в Італії – до 920 МВт, у Німеччині – до 298 МВт, у Франції – до 80 МВт, у Португалії – до 75 МВт), але й інші країни повинні розвивати власні сектори, наприклад: Греція – 120 МВт, Угорщина – 57 МВт, Іспанія – 50 МВт, Словаччина – 4 МВт. Таких результатів розвитку можна буде досягти внаслідок використання установок подвійного циклу.

Відповідно до опублікованих у листопаді 2011 р. Національних планів дій з відновлюваної енергетики, до 2020 р. обсяг виробництва енергії на геотермальних установках повинен значно зрости. Очікуваний обсяг виробництва тепла – 2630,7 тис. т. у. п., проміжний у 2015 р. – у 1348,1 тис. т. у. п. Для виконання поставленої мети необхідні значні інвестиції. Із огляду на це набуває актуальності політика стимулювання, що забезпечить пріоритетність геотермального тепла порівняно з викопними джерелами палива. Отже, потрібно працювати на випередження [14].

2.4.3 Потенціал використання геотермальної енергетики в Україні

Україна має певний потенціал для розвитку геотермальної енергетики (дод. Г). Це обумовлено термогеологічними особливостями рельєфу країни та наявними геотермальними ресурсами.

Визначено шість пріоритетних напрямів розвитку геотермальної енергетики:

- створення геотермальних станцій для теплопостачання міст, населених пунктів і промислових об'єктів;
- створення геотермальних електростанцій;

- створення систем теплопостачання з підземними акумуляторами тепла;
- створення сушильних установок;
- створення холодильних установок;
- створення схем геотермального теплопостачання теплиць.

Проте на сьогодні наукові, геолого-розвідувальні та практичні роботи, що проводяться в Україні стосуються тільки геотермальних ресурсів, зокрема термальних вод. За різними оцінками, економічно-доцільний енергетичний ресурс термальних вод України становить приблизно 8,4 млн т. н. е./р.

Освоєння термальних вод здійснювалося і на тимчасово окупованій території АР Крим, де було споруджено 11 геотермальних циркуляційних систем відповідно до сучасних технологій видобування геотермального тепла землі. Усі геотермальні установки були дослідно-промисловими.

Великі запаси термальних вод виявлено і на території Чернігівської, Полтавської, Харківської, Луганської та Сумської областей. Свердловини, у яких виявлено термальні води у законсервованому стані, надалі можуть бути використані як джерела геотермального тепла.

Під час розрахування можливих обсягів споживання низькотемпературних геотермальних ресурсів у геокліматичних умовах різних регіонів України необхідно враховувати те, що їхня інтенсивна експлуатація може призвести до зниження температури ґрунтового масиву та до їх швидкого виснаження. Необхідно постійно підтримувати такий рівень використання геотермальної енергії, який дав би змогу експлуатувати джерело енергетичних ресурсів без шкоди для навколишнього середовища. Для кожного регіону України встановлено показники певної максимальної інтенсивності видобування геотермальної енергії, яку можна підтримувати тривалий час.

2.5 Біоенергетика

Біоенергетика – галузь енергетики, що базується на використанні біопалива, яке виробляють із біомаси.

Біомаса – біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського (рослинництва і тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних із ним галузей промисловості, а також органічна частина промислових і побутових відходів). Енергетичний потенціал біомаси в Україні подано в таблиці 2.3

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямів розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, оскільки залежність країни від імпортованих енергоносіїв, зокрема, природного газу, і великий потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії є значними [30, 32, 91-108].

Таблиця 2.3 – Енергетичний потенціал біомаси в Україні, 2014 р.

Різновид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т	Частка, доступна для отримання енергії, %	Економічний потенціал, млн т у.п.
Солома зернових культур	30,6	30	4,54
Солома ріпаку	4,2	40	0,84
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	40,2	40	4,39
Відходи виробництва соняшнику (стебла, кошики)	21,0	40	1,72
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	6,9	75	1,13
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	4,2	90	1,77
Біодизель (з ріпаку)	–	–	0,47
Біоетанол (з кукурудзи та цукрових буряків)	–	–	0,99
Біогаз з відходів та побічної продукції агропромислового комплексу	1,6 млрд м ³ метану (CH ₄)	50	0,97
Біогаз з полігонів твердих побутових відходів	0,6 млрд м ³ метану (CH ₄)	34	0,26
Біогаз із стічних вод (промислових та комунальних)	1,0 млрд м ³ метану (CH ₄)	23	0,27
Енергетичні культури:			
– верба, тополя, міскантус,	11,5 млрд м ³ метану (CH ₄)	90	6,28
– кукурудза (біогаз)	3,3 млрд м ³ метану (CH ₄)	90	3,68
Торф	–	–	0,40
Усього	–	–	27,71

Водночас потрібно зауважити, що темпи розвитку біоенергетики в Україні є істотно меншими порівняно з європейськими.

РОЗДІЛ 3 БІОЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ УКРАЇНИ

3.1 Проблема визначення єдиної назви термінів «біомаса», «біопаливо» і «біоенергія»

Термін «біомаса» має два співвідносних із зазначеними у законодавчих документах значеннями:

1) «невикопна, біологічно відновлювана речовина органічного походження у вигляді відходів лісового та сільського господарства (рослинництва і тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості, що зазнає біологічного розкладу, а також складова промислових або побутових відходів здатна до біологічного розкладу» (Закон України «Про електроенергетику»);

2) «біологічно відновлювальна речовина органічного походження, що зазнає біологічного розкладу (відходи сільського господарства (рослинництва та тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості, а також органічна частина промислових та побутових відходів) (Закон України «Про альтеративні види палива») [65–70].

Правове регулювання у сфері розвитку відновлювальних джерел енергії в Україні формується шляхом адаптації законодавства до вимог Директиви Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року (далі – Директиви 2009/28/ЄС). Відповідно до Директиви 2009/28/ЄС, термін «біомаса» є частиною продуктів, що підлягають біологічному розкладанню, відходи та залишки біологічного походження, що отримуються з сільського господарства (зокрема речовини рослинного та тваринного походження), лісового господарства та суміжних галузей, поміж ними й рибальство та аквакультуру, а також частину промислових та міських відходів, що підлягають біологічному розкладанню» [12].

За визначеннями, поданими в законодавчих документах, біомаса не містить продуктів сільського, лісового господарства та суміжних галузей, що підлягають біологічному розкладанню, а також залишків біологічного походження.

У законі України «Про відходи» зазначено, що «відходи» – це «будь-які речовини, матеріали й предмети, що утворилися в процесі виробництва чи споживання а також товари (продукція), що повністю або частково втратили свої споживчі властивості й не можуть бути надалі використані за місцем їхнього утворення чи виявлення та від яких їхній власник

позбувається, має намір або повинен позбутися шляхом утилізації (видалення)».

Окрім цього, у законодавстві не зазначено, що до альтернативних або відновлювальних джерел енергії належить сировина енергетичних рослинних культур та продукція сільськогосподарського виробництва.

Тобто, виходячи із визначення біомаси поданого в законодавстві, біомасою не вважають найбільш поширені її різновиди, зокрема рослинні залишки сільськогосподарського виробництва (солома, листя, стружка тощо) та лісопереробної галузі (дрова, тріска тощо); сировину енергетичних рослинних культур (енергетична верба, міскантус тощо) та продукцію сільськогосподарського виробництва (силос кукурудзи та інших зернових культур), оскільки ці види біомаси не можна кваліфікувати як «відходи». А відтак, отриману енергію, не можна вважати енергією біомаси.

Рослинні культури та продукцію сільськогосподарського виробництва, які є джерелом енергії, відповідно до законодавчих документів потрібно класифікувати як нетрадиційні джерела та різновиди енергетичної сировини. До них належать «сировина рослинного походження, тверді пальні речовини, інші природні та штучні джерела й різновиди енергетичної сировини, зокрема нафтові, газові, газоконденсатні й нафтогазоконденсатні вичерпні, непромислового призначення та техногенні родовища, важкі сорти нафти, природні бітуми, газонасичені води, газогідрати тощо, виробництво (видобуток) і переробка яких передбачає застосування новітніх технологій і які не використовуються для виробництва (видобутку) традиційних різновидів палива».

Паливо, отримане (видобуте) з нетрадиційних та поновлювальних джерел і енергетичної сировини (включаючи біомасу), є сумішшю традиційного палива й альтернативного, склад якого визначається технічними нормативами як моторне паливо, а законодавчими документами – як альтернативне. До того ж, альтернативними різновидами твердого палива є продукція та відходи сільського господарства (рослинництва й тваринництва), лісового господарства та технологічно пов'язаних галузей промисловості, а також гранули, брикети, деревне вугілля та вуглиста речовина, виготовлені з цієї продукції та відходів, що використовуються як паливо; органічна частина промислових та побутових відходів, а також гранули та брикети, виготовлені з них.

Паливо вважають альтернативним, якщо це підтверджено документом

про його ідентифікацію, що видається уповноваженим органом виконавчої влади в порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження видає свідоцтво про належність палива до альтернативного та для встановлення цього проводить експертизу й забезпечує ведення реєстру альтернативних різновидів палива [60].

У законодавчих документах зазначено, що різновиди палива, виготовлені із біомаси, є біопаливом: «...тверде, рідке та газове паливо, виготовлене з біологічно відновлювальної сировини (біомаси), може використовуватися як паливо або компонент інших різновидів палива». Окрім цього, визначено поняття «тверде біопаливо», а саме : це тверда біомаса, що використовується як котельно-пічне паливо, зокрема дрова, торф тирса, тріска, солома, інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, виготовлені з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина.

Отже, аналіз законодавчих документів [12, 60, 65–70] свідчить про наявність джерел, у яких подано визначення таких термінів: «альтернативна енергетика», «альтернативні джерела енергії», «відновлювальні джерела енергії», «нетрадиційні джерела та різновиди енергетичної сировини», «біомаса», «альтернативні різновиди палива», «тверде біопаливо». За нашою оцінкою, не всі різновиди біомаси можна кваліфікувати як джерела відновлювальної енергії. До альтернативних або відновлювальних можна віднести лише частину біомаси, яку можна кваліфікувати як відходи лісового, сільського, рибного господарства та технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості. Найбільш використовувані джерела біомаси, включаючи сировину рослинного походження, частину продуктів, що підлягають біологічному розкладанню, та біологічні залишки зазначених галузей, становлять більш широке поняття – «нетрадиційні джерела енергії та різновиди енергетичної сировини».

До того ж, необхідно чітко визначити, які різновиди біомаси є джерелом відновлювальної енергії.

По-перше, це необхідно для виконання зобов'язань України щодо використання енергії, отриманої з відновлюваних джерел, для досягнення цілей енергетичного співтовариства, визначених Директивою 2009/28/ЄС [12].

Державною цільовою економічною програмою енергоефективності й розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії

та альтернативних видів палива на 2010–2015 роки передбачено, що частка енергоносіїв, отриманих з відновлюваних джерел енергії та альтернативних різновидів палива, у енергетичному балансі держави становитиме на 2015 рік не менш ніж 10 %. У редакції проекту оновленої «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» цей показник визначений дещо інакше. До 2030 року передбачено збільшити лише частку відновлюваних джерел енергії (далі – ВДЕ) у загальному балансі визначених потужностей приблизно до рівня 10 % до 2030 р, що за базовим сценарієм становить близько 6 ГВт у рамках Європейського енергетичного співтовариства до 2020 року, у жовтні 2012 року Україна взяла на себе зобов'язання досягти рівня 11 % ВДЕ в структурі валового кінцевого енергоспоживання.

По-друге, це потрібно, щоб ідентифікувати операції суб'єктів господарювання, які виробляють теплову енергію із біомаси, та тих, що виробляють енергію з відновлювальних джерел, що відповідно до законодавства звільняються від оподаткування. Отже, виробники теплової енергії, які використовують біомасу як джерело енергії, повинні розрізняти теплову енергію, вироблену на установках за допомогою використання нетрадиційних джерел енергії, та енергетичну сировину, вироблену на установках, де використовується енергія біомаси, яку можна кваліфікувати як відходи і, відповідно, уважати джерелом відновлювальної енергії.

Крім того, у Законі України «Про теплопостачання» прослідковується неточність щодо визначення термінів. Нещодавній досвід довів, ця неточність створює незручності під час проходження процедур пов'язаних із процесом містобудування, необхідних для реалізації проектів виробництва теплової енергії на установках, де використовується відновлювальні джерела енергії.

Зокрема, неточною є класифікація різновидів енергоносіїв (джерел енергії), що є енергоносіями (ст. 1 зазначеного закону): «...органічне паливо, електроенергія, нетрадиційні та поновлювані види енергії, вторинні енергетичні ресурси» подані як перелік, що дає підстави вважати ці джерела енергії різновидами.

Відповідно, біогаз та біомасу, які названо нетрадиційними та поновлювальними різновидами енергії (Закон України «Про альтернативні джерела енергії»), вважають органічним паливом, оскільки «органічне паливо» та «нетрадиційні та поновлювальні різновиди енергії» різні поняття.

Такий висновок є неправильним (якщо біомасу не вважати органічним

різновидом палива, то її потрібно класифікувати як неорганічну речовину, а це помилка з огляду на хімічні властивості біомаси), хоча він і впливає із визначення енергоносіїв у Законі «Про теплопостачання». Однак саме це зазначено у листі Біоенергетичної асоціації України до Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства: висловлено прохання скасувати категорію складності об'єктів із генерації біоенергії, через те, що нібито біомаса й біогаз не є органічним паливом.

Щоб унеможливити різне тлумачення терміну «органічне паливо», потрібно змінити пояснення терміну «енергоносії» у законі України «Про теплопостачання» таким чином, щоб поділ джерел енергії на відновлювальні та не відновлювальні став традиційним. Відповідно, необхідно створити умови для того, щоб мати всі підстави вважати біомасу та біогаз, які мають органічне походження, альтернативними джерелами енергії.

Таким чином, у законодавчих документах подано декілька визначень терміну «біомаса». Біомасу розглядають як біологічно відновлювальну речовину органічного походження, а також органічну частину промислових та побутових відходів і як альтернативний різновид палива та альтернативне й відновлювальне джерело енергії. Виробництво теплової енергії із біомаси, як альтернативного джерела енергії, здійснює альтернативна енергетика; рослинні культури та продукцію сільськогосподарського виробництва, які є джерелом енергії, відповідно до законодавчих документів класифікують як нетрадиційні джерела та різновиди енергетичної сировини. Паливо виготовлене з біомаси, називають біопаливом. Усі ці визначення використовуються в законодавчих документах України, але не завжди як взаємозамінні поняття.

Відсутність єдиної термінології, класифікації, стандартів стосовно таких понять, як «біомаса», «біопаливо» і «біоенергія» та не адаптованість її до Директиви 2009/28/ЄС не сприяє розвитку біоенергетики в Україні.

3.2 Перспективи використання рослинних відходів для виробництва твердого біопалива

Розподіл біомаси по території країни є також нерівномірним. У північно-західних областях України переважає деревна біомаса, а відходи сільськогосподарства незначні. Південно-східні та центральні області, де розвинене сільське господарство, значними є обсяги біомаси з його відходів. Економічно доцільним є використання рослинних і деревних

відходів, що ґрунтується на використанні дешевих здебільшого неліквідних відходів, яких в Україні є достатньо: зернові висівки та лушпиння – до 6 % від бункерної маси зерна; облущені качани кукурудзи – до 20 % від бункерної маси зерна; абрикосові кісточки та горіхова шкаралупа – 100–120 тис. тонн за рік; яблучні вичавки – 0,5–0,9 млн. тонн за рік; виноградні вичавки – приблизно 200 тис. тонн на рік; лушпиння соняшника – 1,5–2 млн тонн на рік та тощо.

Спалювати солому для отримання тепла досить складно, оскільки вона неоднорідна за вологістю, енерговміст її малий, а температура плавлення золи незначна [76, 77]. Значними є перспективи використання соломи зернових культур, кукурудзи та соняшника для виробництва брикетів (табл. 3.1.) [54, 56, 58, 64, 72, 78–80, 85].

Таблиця 3.1. Основний потенціал рослинних відходів в Україні

Різнovid палива	Енергетичний потенціал, млн. т. у. п./рік
Солома зернових культур (без кукурудзи)	5,6
Стебло, початки кукурудзи на зерно	2,4
Стебло, лушпиння соняшника	2,3

Останнім часом у Європі запроваджують нові технологічні операції, під час застосування яких використовують як паливо соломі [5]. Соломі спалюють (найбільш вивчений і комерційно розвинений процес), газифікують (перебуває на стадії розвитку) і піролізуєть (досліджується) [5]. Потрібно зауважити, що солома є одним з найдешевших поновлюваних джерел енергії з високою теплотворною здатністю [62,63].

Для виробництва твердого біопалива використовують кукурудзу, яку збирають під час фази воскової стиглості за допомогою звичайного кормозбирального комбайну. За такого способу збирання качани і стрижні подрібнюють, що дає змогу використовувати їх для виробництва твердого біопалива – брикетів, гранул тощо.

Соняшник збирають [74, 78] за допомогою зернових комбайнів зі спеціальними пристосуваннями, які дають змогу зрізати стебла на висоті 10–20 см, подрібнювати їх на відрізки і розкидати по полю, а насіння, вимолочене з кошиків, натрапляє в бункер. Кошики теж або подрібнюють і розтрушують по полю, або збирають в накопичувач і використовують як корм для тварин.

Промислові (технічні або ненаркотичні) коноплі – однорічна

лубоволокнувата рослина родини *Cannabis*, яку вирощують для одержання волокна і насіння. З усіх частин рослини найбільш цінним є стебло, яке становить близько 60–70 % загальної сухої маси.

Коноплі – найбільш відновлюване джерело енергії. Їхньою головною особливістю є велике накопичення деревини: з 1 га вони дають значно більше деревини, ніж лісові породи за один рік. Так, річний приріст сосни становить 2,5 м³ з 1 га, тоді як для конопель, за середньої врожайності 50 ц/га соломи, – 5–6 м³, а в разі великих урожаїв – удвічі більше [81].

Як деревина, стебла конопель належать до твердого різновиду палива. Як енергетичне паливо, конопляна сировина має низку переваг, оскільки основна її частина – органічні речовини, які мінімально забруднюють навколишнє середовище порівняно з мінеральними та іншими різновидами палива. За хімічним складом стебла конопель складаються головним чином із целюлози – 30–60%, лігніну – 20–30%, воску – 1–1,5 %, цукристих речовин до 8 азотистих (4–5 %) і пектинових (6–16 %).

Важливим джерелом сировини відходів для виробництва брикетів є стебла бавовнику й багаття. Багаття – це відходи первинної переробки стебел конопель і льону після пропускання їх через коноплем'яльні машини, де подрібнена деревовидна частина стебла відокремлюється від пенька. Довжина частинок конопляної костриці становить 10–70 мм (ляної – 55 мм), ширина – до 3 мм і товщина – 0,2–0,3 мм. Їхня середня щільність – 100 – 120 кг/м³.

Подрібнені стебла бавовнику залишаються після збору бавовни. У стеблах бавовнику, так само, як і в деревині, міститься багато органічних сполук. Під час просихання стебел бавовнику внаслідок біологічного й кліматичного впливу вміст у них водорозчинних речовин зменшується. Уміст вичісок, клоччя та інших грудкуватих включень в багатті льону, конопель і дроблених стебел бавовнику за малого не перевищує 4 %.

У великих містах України щорічно збирається приблизно, 120,0 тис. м³ опалого листя та скошеної трави які необхідно утилізувати, переробивши біопаливо.

Розрахування кількості відходів сільськогосподарських культур. Сільськогосподарські відходи розподіляються на рослинні й тваринні [40, 43, 51, 60]. Рослинні – це залишки рослин після використання необхідної частини сільськогосподарської культури під час збору врожаю та його промислової переробки. Використовують два різновиди таких відходів – сільськогосподарського виробництва й переробної промисловості.

До перших належать відходи, що залишаються після збору врожаю сільськогосподарських культур: солома злакових культур, стебла соняшнику і кукурудзи, бадилля овочевих культур тощо.

До других – залишки переробної промисловості: лушпиння, полова, шкірка та ін.

Сільськогосподарське виробництво є потужним джерелом утворення відходів, що становить собою біомасу, придатну для виробництва енергії [44]. Основними різновидами цієї біомаси є солома різних культур, відходи вирощування соняшника, кукурудзи та деякі інші. Енергетичний потенціал біомаси мають солома злакових культур та ріпаку, стебла, кошики та лушпиння соняшнику, стебла та стрижні початків кукурудзи на зерно.

Базовими для оцінювання енергетичного потенціалу відходів сільського господарства є статистичні дані щодо валового збору сільськогосподарських культур [72, 73].

Під час визначення кількісних показників рослинних відходів використовують поняття «коефіцієнт відходів». Коефіцієнт відходів (K_v) – це питомий показник кількості відходів певної сільськогосподарської культури або, іншими словами, – це відношення сухої маси наземних залишків до маси зібраного з урахуванням польової вологості врожаю (для зернових культур – зерна, для соняшника – насіння). Оскільки вихід рослинних залишків прямо пропорційний щодо рівня врожайності культури, коефіцієнт відходів – досить консервативний показник.

За даними, наведеними в [44, 72, 73], встановлено значення коефіцієнтів відходів для різних культур (табл. 3.1.).

Теоретично можливий (або теоретичний) енергетичний потенціал біомаси – її максимальний обсяг, що може бути утворений. Визначається як добуток урожайності культури на відповідний коефіцієнт відходів [44].

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти для розрахування обсягів відходів сільськогосподарських культур

Сільськогосподарська культура	Коефіцієнт відходів, K_v	Коефіцієнт технічної доступності, K_t	Коефіцієнт енергетичного використання, K_e
Пшениця	1,0	0,5	0,1–0,5 (залежить від залишку)
Ячмінь	0,8	0,5	
Інші зернові	0,8	0,5	
Ріпак	2,0	0,7	1,0
Кукурудза на зерно	1,5	0,7	0,7
Соняшник	2,0	0,67	1,0

Коефіцієнт технічної доступності (K_t) – це частка загальної кількості рослинних залишків і відходів та інших різновидів біомаси, що фактично може бути зібрана, тобто є доступною для подальшої обробки/застосування. Коефіцієнт визначається так. Висота стебел зернових культур обумовлюється їхнім сортом і кліматичними умовами місцевості, на якій вони ростуть. Поширеною технологією збирання соломи є тюкування, за якого втрачається 35 % зібраної соломи [5]. Таким чином, коефіцієнт технічної доступності становить 0,65.

Для розрахування приймаємо дещо менші (консервативніші) значення коефіцієнтів, щоб правильно визначити кількість відходів. Отримаємо технічно доступний (або технічний) енергетичний потенціал біомаси – частку теоретичного потенціалу, можливу за наявного рівня розвитку техніки й технологій. Коефіцієнт визначають як добуток значень теоретично можливої кількості відходів і коефіцієнта їхньої доступності.

Коефіцієнт енергетичного використання (K_e) – це частка фактично зібраного обсягу рослинних залишків і відходів та інших різновидів біомаси, яку використовують для виробництва енергії. Визначається, переважно, виходячи з потреб сільського господарства щодо необхідного обсягу соломи, яку використовують здебільшого як підстил і грубий корм для великої рогатої худоби (далі – ВРХ). Для обрахування обсягів соломи, необхідної для потреб ВРХ, чисельність поголів'я множать на нормативні потреби споживання (0,9 т соломи на кількість худоби протягом року) [46, 55].

Віднімаючи від загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур (пшениця, ячмінь, інші зернові) кількість соломи для потреб худоби, отримуємо обсяг надлишку соломи, яку можна використати для виробництва енергії: відношення цього залишку до загального обсягу технічно доступної соломи зернових культур в першому наближенні становить коефіцієнт енергетичного використання соломи.

Консервативно оцінюючи потенціал можна зауважити, що тільки половину обсягу соломи, яку не застосовують для потреб тваринництва, можна використовувати як енергетичну сировину.

Для різних місцевостей величина цього коефіцієнта може суттєво змінюватись, коли власної соломи для потреб тваринництва не вистачає або надлишок соломи більший за середній по Україні. Отже, економічно доцільним (або економічним) є енергетичний потенціал – частка технічного потенціалу, у якому ураховано критерії економічної

доцільності та потреби інших споживачів [44].

Таким чином, загальна формула оцінювання економічно доцільного енергетичного потенціалу сільськогосподарських відходів (тонн у. п.) є такою:

$$P_e = C_r \cdot K_r \cdot K_t \cdot K_e \cdot K_{ce}, \quad (3.1)$$

де C_r – валовий збір сільськогосподарської культури, т;

K_r – коефіцієнт відходів;

K_t – коефіцієнт технічної доступності відходів;

K_e – коефіцієнт енергетичного використання відходів;

K_{ce} – коефіцієнт перерахування в умовне паливо.

Дані, отримані внаслідок таких розрахунків, використовують для визначення потенціалу відходів рослинної біомаси як для певної місцевості, так і для регіону або держави (величини коефіцієнтів для різних природно-кліматичних зон, специфіки збору врожаю, сорту рослин тощо будуть різними). Для перерахування фізичних тонн у тонни умовного палива використовують такі значення теплоти згорання (Q): умовного палива – 29,3 МДж/кг, соломи та інших відходів – 14 МДж/кг.

Відходи виробництва кукурудзи на зерно є одним із складників сільськогосподарських відходів, але в наш час, на жаль, в Україні не застосовують технологію тюкування стебел кукурудзи і не випускають необхідне обладнання. Прес-підбирачі ПРФ виробництва «Бобруйськагромаш» (Білорусь) та ППР українського виробництва не призначені для тюкування стебел кукурудзи, сіна сінажу й соломи. Механічні властивості стебел кукурудзи за властивостями значно різняться, тому для їхнього тюкування використовують найбільш розповсюджені різновиди прес-підбирачів.

Таким чином, на сьогодні відходи виробництва кукурудзи застосовують як паливо, наприклад у вигляді січки, заготовленої за допомогою кормозбиральних комбайнів. У перспективі, в разі запровадження технології тюкування стебел, можна буде спалювати й цілі тюки, щоб отримати більше енергії. Те саме стосується і відходів соняшника.

3.2.1 Розрахування відходів деревної біомаси

Виділяють два підходи до розрахунку відходів деревної біомаси.

Підхід 1. Цей підхід ґрунтується на визначенні обсягу відходів та

залишків деревини. Енергетичний потенціал деревної біомаси містить декілька складників: залишки від заготівлі деревини на лісосіках, та відходи вторинної деревообробки

Залишки від заготівлі деревини на лісосіках. Вони включають заготівлю від вирубок загального користування та пов'язаних з веденням лісового господарства, інших вирубок та очищення від захаращеності. Цей показник співвідносний із теоретично можливим потенціалом деревної біомаси від заготівлі ліквідної деревини, яку можна використати як енергетичну. Для розрахування технічно досяжного та економічно доцільного потенціалів застосовують відповідні коефіцієнти.

Під час первинної переробки круглої деревини вихід пиломатеріалів становить приблизно 73 % від загального об'єму, а 27 % становлять відходи [5, 44]. Виходячи зі статистичних даних щодо заготівлі круглих лісоматеріалів для виробництва пиломатеріалів та заготовок можна визначити обсяги відходів первісної обробки кругляку. Ця величина співвідноситься із теоретично можливим потенціалом біомаси. Для розрахування технічно досяжного та економічно доцільного потенціалів використовуються відповідні коефіцієнти (див. табл. 2.1).

Відходи вторинної деревообробки. Джерелом деревних відходів є відходи деревообробних підприємств, які утворюються під час виготовлення готової продукції. Величина обсягу їхнього виробництва співвідноситься із теоретично можливим потенціалом біомаси. Для розрахування технічно досяжного та економічно доцільного потенціалів використовують відповідні коефіцієнти.

Підхід 2. Обчислення за цією процедурою виконують для перевірки та співставлення з результатами розрахунків, зроблених ні підставі підходу 1, з метою недопущення грубих похибок під час оцінювання потенціалу деревної біомаси. Цей підхід ґрунтується на даних щодо приросту деревини в Україні. Енергетичний потенціал деревної біомаси містить такі складники.

Щорічний приріст деревини. Згідно з даними Державного комітету лісового господарства (Держкомлісгоспу), середньорічний приріст українських лісів становить приблизно 4 м³ на гектар [17]. В Україні статистику приросту обчислюють, вимірюючи запаси деревини на корені два рази окремо та від величини другого віднімаючи величину першого обсягу. У разі використання цього методу не взято до уваги дерева, які загинули природнім шляхом, та дерева, зрубані під час заготівлі деревини.

Якщо б ці два фактори було враховано, то середньорічний приріст становив би приблизно 5 м³ на гектар. Для оцінювання використаємо середнє значення річного приросту деревини по Україні (4 м³/га).

Згідно з даними Держкомлісгоспу, річний приріст деревини в Україні використовується максимум на 50 %, тоді як в країнах Європи використання щорічного приросту становить 60–80 %. Згідно з консервативною оцінкою, припустимо, що на енергетичні цілі можна використати 15 % цього обсягу.

Залишки від заготівлі деревини на лісосіках. Вони включають заготівлю від вирубки загального головного користування та пов'язаних із веденням лісового господарства, інших вирубок та очищення від захаращеності.

Порівнявши результати розрахунків за цими двома підходами, можемо зробити висновок про те, що принципівих відмінностей між ними немає, і результати мають один порядок. Оскільки вихідні статистичні дані для розрахування за підходом 1 є надійнішими та доступнішими, його можна вважати оптимальнішим.

3.3. Енергетичні рослини

Для вирощування культур, які формують вегетативну фітомасу, доцільно використовувати такі рослини:

- а) дерев'янисті плантації швидкого обороту (енергетична верба, тополя, троянда багатоколірна);
- б) двочастинні рослини (артишок, топінамбур, сида);
- в) багаторічні злаки (міскантус гігантський);
- г) однорічні злаки (сорго суданське, очерет звичайний) тощо [5] (додаток Д).

Вибір енергетичної культури для вирощування обумовлюється наукою чинників, а саме: тип ґрунтів, водний баланс, різновид ландшафту, транспортні розв'язки, місцезнаходження потенційного споживача палива (котельня або електростанція), конкуренція з іншими культурами, і соціальна думка щодо цього.

Відстань, на яку доцільно транспортувати біомасу як паливо, не повинна перевищувати 50 км. Закордонний досвід свідчить про те, що необхідно укладати довгострокові контракти між постачальником і замовником; у такому разі транспортні витрати сплачує постачальник. Із

огляду на це під час вирощування енергетичних культур необхідно:

- обрати культуру для вирощування, яка найбільше пристосована для певного типу ґрунту і кліматичних умов;
- визначити, чи будуть ефективними вирощування обраної культури, збір урожаю, його зберігання;
- визначити способи переробки і транспортування, які в цих ринкових умовах є найбільш екологічно доцільними;
- обрати систему культивування, співвідносну із використовуваними в сучасній сільськогосподарській практиці, негативні наслідки впливу якої на навколишнє середовище є найменшими.

Головним нововведенням, запозиченим із Америки, є вирощування міскантусу. Це висока трава, урожайність якої становить до 20 разів із одного посіву. Її вважають однією з найкращих енергетичних рослин у Європі. Заплановано засадити 6 тис. га. За даними Національної академії аграрних наук України, врожай міскантусу становить майже 30 т з гектара. Важливим є й те, що ця культура не виснажує ґрунт. Міскантус є багаторічною культурою, висота його – від 80 до 200 см, зазвичай утворює великі пухкі кореневища. Стебло пряме, листові пластинки – 0,5–1,8 см завширшки, лінійні або ланцетно-лінійні, жорсткі. Колоски – від 0,3 до 0,7 см завдовжки.

Технологія вирощування. Рослина дуже добре почуває себе у перезволожених місцях, погано росте в сухих, при цьому слабо розростаючись. Краще росте на відкритих, освітлених сонцем місцях (у затінку не цвіте). Розмножується за допомогою підземного посіву насіння та вегетативним способом навесні. У разі розмноження насінням її пророщують у горщиках, щоб не травмувати кореневу систему. Сортові ознаки під час насінневого розмноження не зберігаються, тому сортові міскантуси розмножують вегетативним способом.

Міскантус – багаторічна рослина, що дає урожай протягом 20–25 років. Після зимівлі у міскантуса опадає листя та пагони, рослина висихає на 15–20 %. Залежно від місця садіння та клімату врожай можна збирати вже через два роки після висаджування. Для розмноження використовують здебільшого кореневища, які потрібно висадити за допомогою напівавтоматичної посадкової машини (10 000 саджанців на 1 га). Рекомендується висаджувати рослину в квітні. Під час вирощування міскантуса не використовують добрив. Рослина добре росте на ґрунтах, які придатні для вирощування кукурудзи [5].

У перші два роки після висаджування міскантуса необхідно знищувати бур'яни. Оскільки міскантус і кукурудза належать до родини злакових, використовують однакові гербіциди. Через два роки опале зимою листя повністю закриває ґрунт, що перешкоджає проростанню бур'янів [5].

Отже, надалі боротися з бур'янами не потрібно. Урожай збирають за допомогою комбайнів для кукурудзи (звичайна соломорізка), а потім їх пресують у тюки.

Енергетична верба – деревоподібна культура, яка утворює високопродуктивні плантації (додаток Д) з тривалим терміном використання.

Вона становить собою кущ або кущоподібне дерево до 6–8 м заввишки. Енергетична верба є густозростаючою, має велику кількість пагонів, за допомогою яких досить легко розмножується. Культура характеризується високими показниками приросту за довжиною – до 3–5 см на день і в середньому – 1,5 м на рік. Порівняно з більшістю інших деревних порід деревина верби відносно легка [5].

Насадження верби залишаються продуктивними 20–30 років, а збирати її протягом цього періоду можна кожні 2-3 роки. Середня врожайність верби становить 10–12 т сухої маси з гектара на рік. Найбільший врожай отримують на 4–5 рік вирощування – 16–20 сух. т/га/рік. За особливо сприятливих умов урожай може сягати 30–40 сух. т/га/рік [5]. Ступінь виснаження вербою землі в 3–5 разів менший, ніж зерновими культурами, до того ж приблизно 60–80 % поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям. Позитивною властивістю верби є стійкість до морозів, шкідників і хвороб. Вона може рости на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних землях. На землях низької якості культура росте не так швидко, як у сприятливих умовах, однак інтенсивному росту допомагає добре розвинена коренева система.

Особливістю верби є те, що вона може випаровувати з ґрунту велику кількість води. Так можна вирішити проблему осушення ґрунтів з великим обсягом підземних вод або захистити землю від заболочування. У період інтенсивної вегетації плантація верби може випаровувати 300–800 тис. л/га залежно від щільності посадки. Крім того, культура абсорбує велику кількість металевих мікроелементів, що призводить до очищення забруднених ґрунтів і стічних вод (у разі поливу плантації стічними

водами) [5].

Вербу доцільно висаджувати ранньою весною, одразу після морозів, оскільки в цей період вологість ґрунту є найоптимальнішою. Висаджувати може дерево вручну або за допомогою механізованих пристроїв. У разі ручного висаджування використовують саджанці близько 20 см завдовжки, при механізованій – 1,5–2 м, їх ріжуть в процесі садіння за допомогою машин на черенки по 18–20 см. Ґрунт має бути відповідним чином підготовлений – зораний, прокультивований і очищений від бур'янів. Щільність посадки становить 15–20 тис. шт./га. У перші місяці особливу увагу потрібно приділяти контролю за бур'янами, до поки куші культури ще не зімкнулися й не закрили бур'яни.

Після першого року зростання культуру необхідно зрізати на висоті 5 см від землі для стимулювання процесу кущування.

Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень-квітень, але переважно в зимовий період (після опадіння листя). З енергетичного погляду найкращим є врожай культури в разі 3-річного й більше циклу збирання. До цього часу діаметр стебел рослин становить приблизно 28–31 мм, висота – 5–6 м. З однієї плантації врожай можна збирати 7–8 разів (у разі 3-річного циклу), після чого необхідно провести рекультивацію. Ліквідація плантації становить собою відносно просту операцію, оскільки коренева система культури не глибока. Навесні, коли висота пагонів становить приблизно 20–30 см, необхідно внести гербіцид, зрізати гілки й приорати саджанці. Восени землю вже можна використовувати для вирощування інших культур.

Відомо декілька технологій збирання енергетичної верби [5] комбайнова, проміжна, ручна, частково механізована, відокремлена, снопова, пагонна, рулонна. Вони різняться за рівнем механізації, затратами праці, витратами матеріально-технічних ресурсів, комплексом машин тощо. У деяких країнах пагони верби збирають за допомогою спеціальних прес-підбирачів, обладнаних зрізувальними, подрібнювальними й пресувальними робочими пристроями.

Прес-підбирачі для збирання деревних культур короткої ротації за один прохід по полю зрізують рослини, подрібнюють їх та формують рулони. Далі рулони верби навантажують і транспортують до місця перероблення, де їх подрібнюють на тріски деревоподрібнювальними машинами, які обладнанні великогабаритними бункерами. Закордонні машини дуже дорогі і тому є недоступними для переважної більшості

вітчизняних господарств. Для забезпечення своєчасного, швидкого, якісного збирання та переробки рослинних матеріалів у сучасній світовій практиці застосовують операції формування великих тюків циліндричної форми – рулонів. На сьогодні це найбільш поширені операції ресурсоощадних технологій збирання рослинних матеріалів, які виконують за допомогою рулонних прес-підбирачів. Процес формування великих тюків циліндричної форми за допомогою рулонних прес-підбирачів характеризується такими перевагами:

а) порівняно з прямокутними тюками вони більш стійкі до потрапляння атмосферної вологи і, як наслідок обмотані шпагатом рулони, можна зберігати деякий час на полі, при цьому їхня якість не погіршується;

б) конструкція обмотувальних апаратів рулонних прес-підбирачів простота, і можна використовувати дешеві різновиди шпагату;

в) циліндрична форма тюка дає змогу повністю механізувати всі наступні після збирання рослинних матеріалів операції;

г) рулонна технологія збирання найбільше забезпечує збереження якості продукції.

Верба належить до легких порід деревини, густина якої становить 460 кг/м^3 , а нормалізована вологість – 12 %. Для порівняння і густина сосни становить $510\text{--}520 \text{ кг/м}^3$ (за різними джерелами). Мінімальна теплота згорання сухої вербової деревини становить $18,5 \text{ МДж/кг}$, що майже співпадає з аналогічним показником хвойних порід.

Під час збирання врожаю отримують тріску, вологість якої становить 50–53 %, а найменша теплота згорання – 8 МДж/кг або 1900 ккал/кг . Цього достатньо для використання вербової тріски в сучасних котлах на киплячому шарі, які сьогодні успішно використовують у розвинених країнах. Якщо використовувати тріску тільки для отримання тепла в невеликих водогрійних котлах ($0,6\text{--}1 \text{ МВт}$), то для більш ефективного згорання потрібно, щоб вологість тріски становила 35–40 %. Цього можна досягнути внаслідок зберігання біомаси у накритому приміщенні з хорошою циркуляцією повітря [5].

З одного гектара плантації можна отримати 10–12 т сухої енергетичної верби на рік. Для розрахунків оберемо 10 odt (oven dry tone / повністю суха тонна / атро–тонна – показник, який використовується для позначення ваги абсолютно сухої деревини). Найменша теплота згорання атро-тонни становить $18,5 \text{ ГДж/т}$, відповідно один гектар вербової

плантації дає 185 ГДж енергії на рік, що еквівалентно 5,16 тис. кубометрів природного газу.

3.4 Уживана деревина

Україна має великий потенціал відходів деревини, використання яких з біоенергетичними цілями могло б частково забезпечити енергетичні потреби промисловості й населення, посилити енергетичну безпеку, покращити енергопостачання районів, де енергетична інфраструктура розвинена слабо [9, 10, 38]. Це деревина, а також дерев'яні вироби, які були частинами інших виробів, що закінчили свій цикл споживання або термін експлуатації. До таких відходів належать, наприклад, роздрібні або відремонтовані дерев'яні будівельні конструкції, тара (піддення, ящики), залізничні дерев'яні шпали, стовпи телеграфічні, вживані меблеві вироби тощо. [38].

Деревні відходи утворюються у виробників деревообробної продукції і споживачів дерев'яних виробів. На сьогодні єдиної класифікації таких відходів немає. Їх можна розподілити на післяпродукційні (утворені в процесі виготовлення виробів) і вживані відходи (утворені внаслідок використання й викидання тих самих виробів). Недостатня законодавча база і відсутність класифікації деревних відходів за їхньою токсичністю і шкідливістю спричиняють багато непорозумінь і у трактуванні самого терміна «відходи», і в засобах їхнього економічного та екологічного застосування.

Багато непорозумінь виникає ще й тому, що виробник і споживач оцінюють дерев'яні відходи по-різному щодо охорони довкілля. Прийнято вважати, що деревина, як натуральна сировина, не може загрожувати довкіллю. А чи нешкідливі деревні відходи? Це обумовлюється їхнім різновидом, кількістю та способом утилізації. Кількість і якість відходів зумовлена профілем продукції і застосовуваною на даному підприємстві технологією.

Підставою для оцінювання відходів із огляду на їхню безпечність щодо довкілля є хімічний склад [38]. Деревні відходи виробництва меблів і деревних композиційних матеріалів, окрім лігноцелюлозного, містять клей, лак, плівки тощо, обсяг яких становить 5–20 %. Отже найважливішим класифікаційним критерієм застосування вживаної деревини є ступінь забруднення нею перш за все небезпечними для

довкілля хімічними речовинами. Із огляду на це пропонуємо класифікацію, що передбачає використання трьох основних груп деревних відходів, на які їх розподіляють за кількістю та різновидом забруднень, що вони спричиняють [9, 10, 38].

До першої групи належать відходи вживаної деревини, які не спричиняють жодних забруднень, оброблені механічним способом, не склеєні, не личковані й не лаковані. Допускають незначну кількість тільки натуральних речовин, такі як мастило та віск.

Другу групу – становлять уживані відходи, забруднені хімічними речовинами, за винятком речовин, за допомогою яких захищають деревину. Для усунення забруднень використовують різноманітні технології [8, 9, 10, 38].

До третьої групи належать решта вживаних деревних відходів (ті, що не ввійшли до перших двох груп) ступінь забруднення яких є найбільшою і найнебезпечнішою. До цієї групи належать здебільшого дерев'яні вироби, захищені речовинами, що містять галогеноорганічні сполуки, а також інші складники із хлорованими поліфенолами, мастилами, доважками важких металів.

РОЗДІЛ 4 ТВЕРДЕ БІОПАЛИВО

4.1 Характерні особливості твердого біопалива

Тверде біопаливо – це тверда біомаса, яку використовують як котельно-пічне паливо, зокрема дрова, торф, тирса, тріска, солома інші сільськогосподарські відходи, гранули та брикети, виготовленні з біомаси, деревне вугілля та вуглиста речовина. Серед різноманітних методів використання біомаси як альтернативного енергоносія найпоширенішим є процес спалювання біомаси [5]. Для підвищення ефективності цього процесу широко застосовують різні способи попередньої переробки біомаси, наприклад її пелетування [5]. Паливні гранули (пелети) – біопаливо, яке отримують з торфу, деревних відходів і відходів сільського господарства або з вугілля. Йдеться про пелети, які ще називають євродровами і паливними брикетами [5].

Паливні брикети виготовляють зі спресованої під високим тиском висушеної біомаси, зокрема деревних відходів, а також різних видів відходів агро-промислового комплексу: соломи, лушпиння соняшника, полови рису, лушпиння гречки тощо, торфу і вугільного штибу (великого вугільного пилу). Шляхом брикетування утилізують навіть виведені з обороту грошові купюри.

Брикети були винайдені в 1947 року. Власник лісопильного господарства американець Рудольф Гуннерман, не маючи технічної освіти, винайшов простий спосіб для вивезення відходів власного виробництва. Для зменшення транспортних витрат винахідливий підприємець вирішив пресувати деревні відходи, адже в такому стані їх легше складати й економічно доцільніше транспортувати. За декілька десятків років про брикети знову згадали, проте вже як про енергетично привабливий товар. У Європі брикетування вперше було використано в Швеції, де в 1984–1988 роках почали виготовляти гранули із відходів деревини. На початку 90-х років у Швеції було налагоджене промислове виробництво пелет. У Німеччині пелети почали виготовляти в 1998 році [34–39].

Брикетування – (з франц. *brigquette* – невелика цегла) процес переробки матеріалу на куски геометрично правильної і одноманітної форми, практично однакової маси. Унаслідок пресування біомаса набуває нових унікальних властивостей: велика щільність – понад 1000 кг/м³ і теплотворна здатність – до 5000 Ккал/кг (залежно від матеріалу). Такі самі

властивості має кам'яне вугілля [34–39]. Деревні брикети виробляють за допомогою спеціальних пресів, без використання зв'язувальних домішок, замість яких використовують лігнін, що розплавляється в процесі брикетування. Деревні паливні брикети – екологічно чисте паливо, яке широко застосовують у світі як для опалення об'єктів заміської нерухомості в приватному секторі, так і в промислових і муніципальних котельнях. Вологість брикетів становить 8–10%, а зольність – не більше 1,5 %. Сировиною для виробництва паливних брикетів може слугувати будь-який рослинний матеріал. Найчастіше для цієї мети використовують таку деревину: тирса, тріску [52], кускові відходи, кору, а останнім часом навіть – листя дерев. Порівняно з іншими різновидами рослинної біомаси деревина – це високоякісна сировина, у неї найнижчий показник зольності й найвища теплотворна здатність [47–49].

Найякіснішою сировиною для виготовлення брикетів є тирса та стружка столярних цехів, що утворюється під час виготовлення вікон, дверей, вагонки, паркетної дошки з попередньо висушених пиломатеріалів. Вологість такої тирси і стружки зазвичай становить 4–8 %, тому перед брикетуванням цю пересушену сировину часто зволожують. Виготовлення брикетів – теж ефективний спосіб утилізації відходів, що утворюються під час виготовленні плит MDF і фанери, а також лігніну (відходи гідролізних виробництв). Сировиною для виробництва брикетів також може слугувати деревина вживаних дерев'яних виробів і конструкцій, наприклад, утилізованих транспортних піддень. Піддення зазвичай виготовляють із якісної деревини без кори. З уживаних піддень видаляють цвяхи й інші металеві частини, дошки подрібнюють на тріски, які досушують і розмелюють у тирсу, із цієї сировини отримують високоякісні паливні брикети [9, 10, 38].

Інтерес становлять також брикети, які на 100 % виготовлені з деревної кори. Такі брикети тліють не згораючи і забезпечують тепло протягом 10–12 годин, тому їх використовують для підтримання в будинку комфортної температури протягом тривалого часу, наприклад вночі. Якщо звечора залишити тліти в топці кілька таких брикетів, то вранці можна тільки додати брикети з тирси і швидко довести температуру в приміщенні до необхідної. У таблиці 4.1 подано перелік переваг та недоліків виробництва цих екологічно чистих різновидів палива.

В останні роки восени в містах та інших населених пунктах Європи почали утилізувати листя дерев шляхом їх брикетування. Для цього

застосовують спеціальні мобільні брикетувальні преси малої продуктивності. Цей бізнес дотується державою, тому він є досить рентабельним. Крім того, одночасно вирішується проблема охорони навколишнього середовища.

Таблиця 4.1 – Порівняльна таблиця переваг і недоліків виробництва екологічно чистих різновидів палива

Параметри порівняння	Гранули	Брикети
1	2	3
Устаткування для виробництва	Складніший. Дорожчий. Ремонт обладнання досить дорогий. Зазвичай відремонтувати можна тільки на заводах-виробниках	Використовують тільки прес. Гранулятори для їхнього виготовлення на 30–50 % дешевші
Вимоги до сировини	Вимоги щодо якості тирси більші. Потрібно додатково перемелювати. Не допускаються помітні домішки кори	Вимоги щодо тирси менші. Велика стружка, окремі шматочки до 20 мм завдовжки, кора, що не заважає роботі преса
Забезпеченість сировиною	Економічно виправданою є продуктивність не менше ніж 1,5–2 т на год, тобто на вході потрубно використовувати як мінімум 6–8 м ³ тирси за годину. Такий обсяг виробництва тирси характерний для великих комбінатів (промислове виробництво гранул у Європі потребує 3–4 т сировини на годину і не менше ніж 5 т на годину – в Америці)	Виготовлення брикетів вигідне вже за наявності сухої сировини (від 50 кг на год), а за наявності сировини з природною вологістю – від 400–500 кг на год
Транспортування	Неміцність гранул. Європейські стандарти передбачають високі вимоги щодо міцності під час транспортування. За необхідного перевантаження гранул покупцеві у процесі транспортування (таких перевантажень може бути 6–8) у герметичній тарі з'являється крихта	Мають у 4–5 разів менший об'єм, ніж непресована тирса. Крім значної щільності (1,1–1,2 т / м ³) має зміцнювальну кірку на поверхні. Брикети практично не дають крихти і можуть транспортуватися у два яруси
Собівартість	Вища, оскільки устаткування більш дороге і використовуються кваліфіковані робітники тощо	Нижча, оскільки трудо- і енергоємність менші

1	2	3
Ринок збуту	Майже завжди на експорт. Для спалювання гранул потрібні тільки спеціалізовані котли або звичайні рідкопаливні котли, оснащені спеціалізованим спалювачем для гранул (теж використовуються у недостатній кількості)	Експорт та імпорт. Якщо російських споживачів задовольняють, переважно, експортні поставки, то в Україні й Білорусі використовують вітчизняні брикети (навіть на заправках та в гіпермаркетах)
Галузь застосування	Переважно у промисловості (з тієї самої причини відсутні спеціальні котли)	Поряд з промисловою (теплові станції – найбільша категорія споживачів). Обсяги закупівлі біопалива одним споживачем у цьому сегменті часто перевищують обсяги виробництва найбільшого заводу з випуску брикетів). У власників ресторанів, кафе, заміських котеджів, любителів барбекю, гриля та шашликів

Різновиди брикетів. У наш час поширення набули чотири різновиди брикетів: Піні-кей (Pini-Kay), Руф (RUF), циліндричні брикети з радіальним наскрізним каналом або без нього і циліндричні брикети (іноді їх називають брикети Нестро (Nestro).

Брикети Піні-кей з перетином у вигляді неправильного восьми-, шести- або чотиригранника і отвором в центрі мають найбільшу щільність порівняно з іншими різновидами брикетів – більше ніж $1,2 \text{ кг/дм}^3$ і найбільшу тривалість горіння. Вони можуть дуже довго зберігатися, не втрачаючи своїх властивостей. Отже, Піні-кей мають найкращі споживчі властивості порівняно з іншим, тому вони зазвичай найдорожчі. Однак висока ціна цих брикетів пояснюється також і низькою продуктивністю пресів (що супроводжується і великою собівартістю виробництва). Для виготовлення брикетів Піні-кей використовують шнекові преси. Під впливом високого тиску, створюваного конічним шнеком, а також нагрівання (від $+240$ до $+300 \text{ C}^\circ$ залежно від вологості і типу сировини) відбувається агломерація (спікання) брикета. Коефіцієнт використання шнекових пресів рідко перевищує 50 %, тому найдешевший прес має найтриваліший термін окупності.

Брикети Руф через надзвичайну форму цеглинки та незначну щільність (до 1 кг/дм^3), унаслідок чого вони кришаться під час транспортування, характеризується найменшим з усіх різновидів брикетів

часом горіння, їх не можна зберігати тривалий час без герметичного упакування. Отже, брикети Руф характеризуються найгарнішими споживачами властивостями і найдешевші.

Виготовляють такі брикети за допомогою гідравлічних пресів. Процес виробництва простий і для обслуговування гідравлічного преса висококваліфікований обслуговуючий персонал не потрібний. Коефіцієнт використання устаткування сягає 90 % і більше. Ще однією перевагою є простота і зручність упакування готової продукції. Із деяких різновидів сировини брикети можна виготовляти тільки за допомогою гідравлічного преса. Гідравлічний прес дорожчий за шнековий, це обладнання має найкоротший термін окупності.

Циліндричні брикети з радіальним наскрізним каналом або без нього виготовляють за допомогою ударно-механічних пресів, таких як Нільсен (CF Nielsen) – Данія, Богма (Bogma) - Швеція, Паверт-СПМ АГ (Pawert-SPM AG) – Швейцарія, Ді-піу (DI-PIU) – Італія. Виробники таких пресів є в Китаї, Індії, Бразилії, Україні, США. Брикети випускаються у вигляді циліндрів з діаметром 40–110 мм, частіше без отвору (іноді можуть бути прямокутної форми). Виготовляють циліндри чи паралелепіеди; їх або розрізують пилкою на мірні відрізки (шайби завтовшки 5–20 мм), або ламають на відрізки певної довжини. Щільність брикетів, виготовлених на таких пресах, становить 1–1,2 кг/дм³, час горіння – досить тривалий, зберігати їх можна довго. Такі брикети дешевші, ніж виготовлені за допомогою шнекового преса, але вони дорожчі за виготовлені за допомогою гідравлічного пресування. Перевагою таких пресів є те, що можна виготовити брикети будь-якої форми – круглі, квадратні, багатокутні. Висока продуктивність (до 1,8 т/год) роботи пресів дає змогу виготовляти брикети не лише для приватних споживачів, але й для промислового використання.

Циліндричні брикети (іноді їх називають брикети Нестро) із діаметром 50–90 мм і 50–100 мм завтовшки виготовляють на гідравлічних пресах, створюючи протитиск за допомогою цанги. Преси для таких брикетів – найпоширеніші, їх випускають заводах у Європі, зокрема і в Україні.

Переваги деревних паливних брикетів. Теплотворна здатність деревних паливних брикетів – 4000–4400 Ккал/кг, вона вища, ніж та у дров і співпадає з теплотворною здатністю пелетів і багатьох різновидів вугілля, застосовуваних у комунальній теплоенергетиці.

На відміну від дров брикети не потрібно попередньо підсушувати перед закладанням у топку. Порівняно з дровами, брикети мають більшу тривалість горіння, а закладання в піч можна виконувати рідше. Під час горіння паливні брикети мало димлять і не іскрять. У них низька зольність (0,5–1,5 %). На відміну від інших різновидів твердого палива, після згорання брикетів у топці залишається тільки попел.

Для брикетів потрібно менше місця для зберігання, ніж для дров, їх зручніше транспортувати: одна стандартна європелета з брикетами, вага якої становить 1 т, еквівалентна 3–4 м³ дров, що забезпечує істотне скорочення витрат на перевезення і зберігання палива. Зручна розфасовка (10–12 кг) дає змогу вивантажувати і складувати брикети вручну в гаражі, підвалі й навіть у коморі або на балконі квартири.

Вартість брикетів нижча за вартість пелет. До сировини для виробництва брикетів не становить таких жорстких вимог, як до сировини для виробництва пелет, зокрема за вмістом кори. Брикетувальні лінії дешевші за пелетні, а собівартість виробництва брикетів нижча за собівартість виробництва пелет. Котли і каміни для брикетів дешевші за пелетні, не потрібно спеціально обладнаних місць для влаштування паливного складу та вирішення питання щодо автоматичної подачі палива в котел. Брикетами, на відміну від пелет, можна замінювати інші різновиди палива (дрова, вугілля), не модернізуючи й не замінюючи котли й каміни. Брикетами завжди можна замінити дрова, а пелетами – ні. Саме з цієї причини останнім часом виробники пелетних котлів включають в асортимент своєї продукції комбіновані котли, які працюють як на пелетах, так і на брикетах та дровах.

Викид оксидів вуглецю в атмосферу під час згорання брикетів мінімальний [5].

Брикети можна зберігати довгостроково, при цьому їхні якісні характеристики не погіршуються, на відміну від вугілля, вони не створюють негативного впливу на навколишнє середовище. Крім того, порівняно з вугіллями або тирсою брикети більш пожежо-вибухобезпечні. До того ж працювати з брикетами набагато комфортніше, ніж з іншими різновидами твердого палива.

Використання брикетів. Деревні паливні брикети можна використовувати як паливо для всіх твердопаливних котлів, вони добре горять в камінах і грилях. Брикети можна використовувати замість дров і під час замських прогулок. Потрібно зауважити, що твердо спресовані

брикети не просто запалити. Для розпалювання використовують дрібні тріски, обрізки кори або папір.

Спалювання брикетів в топках котлів, призначених для цього різновиду палива, дає змогу отримати в 2–4 рази більше теплової енергії, ніж під час спалювання дров і тріски, оскільки зневоднена деревина потребує значних витрат енергії як під час спалювання й газифікації, так і в разі попереднього просушування. Спалювання дров, відносна вологість яких становить 45–60 % в 1,8–3,5 разів зменшує теплотворну здатність деревини. Підвищена вологість паливної деревини істотно впливає і на ефективність процесів горіння та теплообміну [5].

Паливні брикети можна розподілити на споживчі та індустріальні. Споживчі призначені для приватних споживачів. Їх використовують для опалення будинків, саун, для спалювання в камінах і грилях та розфасовують в дрібне упакування. Наприклад, брикети Піні-кей для роздрібних продажів упаковують у плівку по 12 шт у пачці. Вага однієї пачки – 10 кг. Пачки укладають на піддення розмірами 800x1200 мм. На одному піддені – 920 кг. Покладені на піддення брикети кріплять пакувальною стрічкою і скретч-плівкою. У партії – 23 піддення, вага партії без упаковки – 21,16 т.

Індустріальні брикети випускають у формі шайб або циліндрів, невеликих за висотою, різних за діаметром і зазвичай упаковують у мішки. Виготовляють такі брикети в промислових обсягах здебільшого на пресах ударно-механічного типу. Потрібно зазначити, що на одному й тому самому пресі можна виготовляти як індустріальні, так і споживчі брикети.

У комунальній енергетиці такий різновид палива, як брикети, використовують для скорочення держзакупівель привізного вугілля, застосовуючи місцеві різновидів палива, тобто деревні паливні брикети. Завод паливних брикетів з річною продуктивністю 12 тис. т може забезпечити паливом котельню або кілька котелень, сумарна потужність яких становить 5–7 МВт на рік. Теплотворна здатність і фракційний склад індустріальних брикетів аналогічні до кам'яного вугілля, тому в котельнях паливними брикетами можна замінювати вугілля, не змінюючи устаткування.

Брикети в Європі. Зі зростанням цін на енергоносії попит на брикети, як і на пелети, збільшився. Основними споживачами брикетів є: Данія, Німеччина, Австрія, Швеція, Польща, країни Балтії. Попит на паливні брикети перевищує пропозицію. Велике значення мають якість сировини і

ступінь її підготовленості, якість поверхні, чіткість зрізу брикета. У Європі здебільшого споживають брикети з деревної тирси твердих порід деревини (бука, дуба, граба), які коштують досить дорого, але вже є з'явиться запити і на брикети з лузги соняшника та соломи. У весняно-літній період ціна на паливні брикети дещо знижується. З серпня ціни починають збільшуватися і остаточно формуються ринком до жовтня. Завбачливі оптовики закупають брикети у великих кількостях навесні й влітку й продають у сезон урозраб за максимальною ціною.

У Європі в будинках, де встановлені котли, що працюють на газі або так званому пічному паливі (дизельне або соляр), недоцільно купувати дорогий пелетний котел і обладнувати спеціальний паливний склад для пелет. Тому багато домовласників купують брикетні котли або каміни, які використовують у міжсезоння та в теплі дні взимку, і, таким чином, економлять на паливі для основного котла. На ринку зараз пропонують брикетні каміни (потужністю від 6 до 18 кВт) з водяним контуром для гарячого водопостачання. Придбавши такий камін, в будинку основний котел можна мінімально використовувати.

У країнах-членах Євросоюзу деревні паливні брикети сертифікують за стандартом DIN 51731, але не сертифікують усе виробництво, як це роблять стосовно пелетів (стандарт ENplus).

4.2 Технологія виробництва паливних гранул із рослинних відходів

Основні технологічні операції з виробництва твердого біопалива (паливних гранул) з рослинних відходів було визначено на підставі аналітичного огляду літературних джерел та вивчення елементів технології виробництва твердого біопалива з соломи сільськогосподарських культур за такою схемою: подрібнення, сушіння, доподрібнення, зволоження, пресування, охолодження, фасування [5].

З метою подальшого використання сировина подається до дробарки. Великі дробарки подрібнюють сировину для подальшого сушіння. Частинки потрібно подрібнити до розмірів не більше ніж 10 мм. Таке подрібнення дає змогу швидко і якісно підготувати сировину для сушіння та до подальшого подрібнення

Сировину зберігають на відкритих майданчиках, однак під дією атмосферних впливів початкові показники вологості соломи можуть

змінюватися, що негативно впливає на процес її подрібнення. Відходи, вологість яких більше ніж 15 %, погано пресуються, особливо пресами з круглими матрицями. Крім того, паливні гранули, вологість яких підвищена не відповідають параметром якості. Отже, перед пресуванням вологість сировини повинна становити від 8 до 12 %.

Для доведення вологості сировини до нормативних показників використовують сушарки барабанного або стрічкового типу. Вибір типу сушарки обумовлюється різновидом сировини, вимогами щодо якості продукції і джерелом одержуваної теплової енергії. У технологічному процесі виробництва твердого біопалива сушіння є найбільш енергоємним процесом, але сонячне сушіння здешевлює цей процес [39].

Згідно з технологічними вимогами для пресування сировина повинна знаходитися фракціями, а розміри частинок повинні становити не більше ніж до 4 мм. Використовуючи дробарки, досягають подрібнення сировини до необхідних розмірів. Для якісного продукту насипна вага після подрібнення повинна становити $150 \text{ кг/м}^3 \pm 5 \%$, а основний розмір часток не повинен перевищувати 1,5 мм.

Для подрібнення сировини переважно використовують молоткові дробарки, оскільки вони найбільше відповідають вимогам процесу доподрібнення рослинних відходів

Сировина, вологість якої менше 8 % погано «склеюється» під час пресування, а готова продукція (паливні гранули) в процесі подальшого механічного впливу (фасування, навантаження, транспортування тощо) втрачає початкові габаритні розміри й подрібнюється. Як наслідок утворюються пилоподібні частинки, що негативно впливає на якість сировини. Саме тому занадто суха сировина має бути зволожена до нормативних значень вологості, необхідної для пресування. Для зволоження сировини використовують установку дозування води – шнекові змішувачі, у які вбудовані входи для подачі води або пари.

Процес пресування (гранулювання) здійснюють на пресах, різних за конструкцією. Речовиною, що зв'язує подрібнений матеріал у паливних виробках, є лігнін – аморфний полімер, який виділяється під дією тиску і температури і міститься у клітинах біомаси [36, 37].

Важливо витримувати пресовану сировину у формувальній порожнині під тиском протягом певного часу, щоб відбулася релаксація напруження, а також утворилася міцна плівка на поверхні паливних гранул. Найбільшої міцності набуває біомаса, яку пресують при температурі понад 150 °С.

Верхньою температурною межею пресування є 250 °С, коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси. За даними компанії Каліфорнія Пелет Міл (California Pellet Mill), оптимальна температура гранулювання має становити 88–102 °С, тому що плавлення лігніну відбувається при температурі 90 °С і відсутнє утворення водяної пари, унаслідок чого паливні гранули розриваються [36, 37].

Під час охолодження готової продукції утворюється якісний кінцевий продукт, а паливні гранули, нагріті внаслідок пресування до 70–90 °С, втрачають зайву вологу. Після охолодження паливних гранул, з метою видалення пилоподібних частинок сировини їх просіюють, а утворений пил повторно гранулюють [36, 37].

Після охолодження паливні гранули зберігають у бункерах і транспортують насипом. Однак для унеможливлення втрати якісних характеристик рекомендується їх фасувати у великі мішки, місткість яких становить 1000 кг. Для приватного споживання паливні гранули фасують у поліетиленові мішки, місткість яких 15–35 кг.

Потрібно зазначити що залежно від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів фізико-механічних властивостей кількість технологічних операцій та послідовність їхнього виконання може бути змінена [36, 37].

Для отримання максимальної економічної ефективності використовуваної рослинної біомаси на енергетичні цілі необхідно збільшити питому теплоту згорання (теплотворну здатність) твердого біопалива та забезпечити зручність його транспортування (подачі) до теплових установок (котлів), а також досягти керованості процесу горіння. Для цього необхідно дотримуватися вимог технології виробництва продукції та використовувати якісну сировину, яка має відповідати вимогам щодо якості.

Паливні гранули є стандартизованим різновидом біопалива, проте у різних країнах стандарти виробництва паливних гранул різняться. Оскільки на сьогодні в Україні не існує стандартів щодо твердого біопалива, більшість виробників орієнтуються на західноєвропейські стандарти. Із огляду на це для створення конкурентоспроможної енергетичної продукції вітчизняного виробництва та виходу на Європейський ринок тверде біопаливо потрібно виготовляти відповідно до вимог тих країн, де буде реалізовано цю продукцію.

На підставі результатів аналітичних досліджень визначено основні

технологічні операції щодо виробництва твердого біопалива (паливних гранул) з рослинної біомаси сільськогосподарських культур. Установлено, що залежно від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів та фізико-механічних властивостей, кількість технологічних операцій та послідовність їхнього виконання можна змінювати. Процес виробництва твердого біопалива, зокрема паливних гранул, потребує постійного та своєчасного контролю параметрів вихідної продукції. Водночас на якість паливних гранул істотно впливають вологість, ступінь подрібнення і фізико-хімічні властивості сировини. Однак їхні вартість і спосіб використання обумовлюється встановленими критеріями щодо якості продукції [36, 37].

4.3 Методи одержання енергії з рослинних відходів

Оскільки енергетична щільність рослинних відходів незначна, транспортувати їх на великі відстані недоцільно. У зв'язку із цим останнім часом багато уваги приділялося пошуку оптимальних методів використання цих відходів [5].

Поширення набули такі технології обробки біоматеріалу:

- пряме спалювання біомаси;
- піроліз (суха перегонка біогазу без кисню і повітря);
- газифікація (отримання біогазу шляхом термічного розкладання сировини за наявності кисню);
- анаеробна ферментація з утворенням метану під впливом бактерій;
- виробництво з біомаси спиртів і масел для отримання моторного палива.

Спалювання. Технологія прямого спалювання являє собою найбільш очевидний спосіб витягування енергії з біомаси. Вона проста, добре вивчена й комерційно доступна. Існує безліч типів і розмірів систем прямого спалювання, у яких можна спалювати різні види палива: пташиний послід, солом'яні тюки, дрова. Тепло, що одержується при спалюванні біомаси, може використатися для опалення й гарячого водопостачання, для виробництва електроенергії та в промислових процесах. Однією з проблем, пов'язаних з безпосереднім спалюванням, є його низька ефективність. У випадку використання відкритого полум'я більша частина тепла губиться.

Виділення газової (летучої) складової. Дуже важливо, щоб ці газы

згорали, а не «вилітали в трубу». Гази, що виділяються, змішуються з атмосферним повітрям і згоряють під впливом високої температури. При належному спалюванні енергія використовується повністю. Єдиним залишком є невелика кількість золи.

Для ефективного спалювання необхідні три умови: досить висока температура, достатня кількість повітря, достатній час для повного згорання. Якщо кількість повітря недостатня, згорання відбувається не повністю. При цьому утворюється чорний дим, що складається з незгорілого вуглецю. У результаті з'являються відкладання сажі в димоході, що підвищують небезпеку загорання. Якщо кількість повітря занадто велика, то температура в зоні горіння знижується й газы залишаються незгорілими, несучи тепло. Відповідна кількість повітря приводить до оптимального використання палива. При цьому не утворюються запах і дим, зменшується небезпека загорання в димоході. Регулювання кількості повітря залежить від конструкції димоходу й тяги, яку він може забезпечити. Пряме спалювання є найпростішим і найпоширенішим методом одержання енергії, що утримується в біомасі. Ефективність перетворення не перевищує 2%. Розробка печей або котлів, здатних ефективно використовувати енергію палива, вимагає розуміння процесів горіння твердого палива. Першим процесом, що споживає енергію, є випар води, що утримується в біомасі. Для відносно сухого палива на випар використовується лише кілька відсотків від загальної кількості виділеної енергії. У самому процесі згорання завжди є дві стадії, тому що будь-яке тверде паливо містить дві складові. Летучі компоненти виділяються з палива при підвищенні температури у вигляді суміші пару і випаровуваних смол і масел. При спалюванні цих продуктів утворюються невеликі піролізні струмені. Сучасні пристрої для спалювання звичайно виробляють тепло, пару, що використовується в промислових процесах, або електроенергію. Будова систем прямого спалювання варіюється залежно від варіанта використання. Вибір палива також впливає на дизайн й ефективність систем спалювання. Системи прямого спалювання біомаси подібні до аналогічних пристроїв, що спалюють вугілля. На практиці біомаса може спалюватися разом з вугіллям у невеликій пропорції в існуючих вугільних котлах. Біомаса, що спалюється разом з вугіллям, являє собою дешеву сировину, наприклад, побічну продукцію лісового або сільського господарства. Це допомагає зменшити шкідливі викиди в атмосферу, звичайно пов'язані з використанням спалювання самого

вугілля. Вугілля - це скам'яніла протягом мільйонів років біомаса. У процесі нагрівання й стиску в глибинах земної кори вугілля накопичує такі хімічні елементи, як фосфор і ртуть. У процесі спалювання вугілля для виробництва теплової або електричної енергії ці елементи вивільняються й потрапляють в атмосферу. В «сирій» біомасі ці елементи відсутні.

Піроліз. Піроліз являє собою найпростіший й, очевидно, самий старий спосіб перетворення одного виду палива в інший з кращими показниками. Різні види високоенергетичного палива можуть бути отримані за допомогою нагрівання біомаси. Процес використовувався протягом сторіч для одержання деревного вугілля. Традиційний піроліз полягає в нагріванні вихідного матеріалу (який часто перетворюється в порошок або подрібнюється перед переміщенням у реактор) в умовах майже повної відсутності повітря, звичайно до температури 300-500 °С до повного видалення летучої фракції [29, 30].

Піроліз може проводитися в присутності малої кількості кисню (газифікація), води (парова газифікація) і водню (гідрогенізація). Одним з найбільш корисних продуктів у цьому випадку є метан, що представляє собою паливо для виробництва електроенергії за допомогою високоефективних газових турбін. Більш складна техніка піролізу дозволяє зібрати летучі речовини. Крім того, контроль за температурою дозволяє визначати їхні сполуки. Рідкі продукти можуть використовуватися як рідке паливо [29, 30]. Однак вони містять кислоти й повинні очищатися перед використанням. Швидкий піроліз рослинних матеріалів, наприклад соломи або шкарлупи горіхів, при температурах 800-900 градусів Цельсія приводить до утворення 10% твердого деревного вугілля й перетворює 60% вихідної сировини в газ, що містить велику кількість водню й монооксиду вуглецю. Цей метод може скласти конкуренцію традиційному піролізу. У цей час традиційний піроліз вважається найбільш привабливим видом технології. Використання щодо низьких температур означає, що в атмосферу попадає мала кількість забруднювачів, якщо порівнювати з прямим спалюванням.

Газифікація. Базові принципи газифікації вивчаються й розвиваються з початку дев'ятнадцятого століття [16]. Під час Другої світової війни біля мільйона автомобілів приводилися в рух за допомогою газифікаторів на біомасі. Інтерес до газифікації знову зріс під час енергетичної кризи 1970-х років, а потім упав разом зі зниженням цін на нафту в 80-х роках. По оцінках Світового Банку, в 1989 році у світі всього встановлено близько

3000 газифікаторів. Переважно вони зконцентровані в Південній Америці для виробництва деревного вугілля. Натепер їх кількість зросла на декілька порядків, і основним призначенням їх став виробіток енергії безпосередньо чи генераторного газу.

У процесі газифікації рослинних відходів утворюється горючий газ, що представляє собою суміш водню, чадного газу (монооксиду вуглецю), метану й деяких негорючих супутніх компонентів. Це досягається частковим спалюванням і частковим нагріванням біомаси (з використанням тепла обмеженого горіння) у присутності деревного вугілля (природного продукту спалювання біомаси). Генераторний газ може використовуватися не тільки для отримання теплової чи електричної енергії, а й для отримання механічної енергії – замість бензину в двигунах внутрішнього згорання [29, 30].

У 1919 році було опубліковано французький патент № 490711, в якому описано ряд конструктивних деталей, які успішно застосовуються і в сучасних транспортних газогенераторах. Цей винахід зумовив створення в 1919 році французьким інженером Імбертом газогенератора зверненого процесу газифікації, який викликав справжній переворот в автомобільному газогенераторобудуванні, і цей винахід залишається найбільш значущим досягненням в цій технології [16].

У 1942 році (коли деревний газ ще не досяг вершини своєї популярності), було близько 73 000 автомобілів на деревному газі в Швеції (у листопаді 1940 р. було 22 000 автомобілів на газі зареєстрованих в Швеції, а той же час в наступному році їх налічувалося 71 000), у Франції – 65000, в Данії – 10000, і майже 8000 в Швейцарії. У 1944 році в Фінляндії було 43000 автомобілів на деревному газі, з яких 30000 автобусів і вантажних автомобілів, 7000 приватних автомобілів, 4000 тракторів і 600 човнів. З 1940 по 1945 рр. в Німеччині було виготовлено близько 500 000 транспортних газогенераторних установок. В цей час в Німеччині було розроблено зйомний транспортний газогенератор, яким оснащувались танки типу Pz-I і бронетранспортери піхоти.

Після закінчення Другої світової війни парк автомобілів обладнаних газогенераторними установками скоротився лише протягом 1949 року з 1 млн до 50 000 одиниць, уступивши місце попиту на більш дешеві нафтопродукти і вугілля.

До 1952 року в Радянському Союзі випускався автомобіль ЗІС-21А (ЗІС-21 – це ЗІС-5 з установленою деревною газогенераторною

установкою, а з 1952 року Урал ЗІС-352 (1952 – 1956) [16].

Станом на 1955 рік радянська автомобільна промисловість випускала автомобілі, обладнані газогенераторами для роботи на дровах, але на цей час вже було накопичено експериментальні дані, достатні для того, щоб найближчим часом розпочати випуск промислових зразків газогенераторних автомобілів для роботи на деревному вугіллі, бурому вугіллі, напівкоксі і ін. видах палива [16].

В 50-х роках 19 століття внаслідок сильного здешевлення бензину використання газогенераторних транспортних засобів пішло на спад.

При використанні газу потужність автомобільного двигуна знижується на 30%. Можливо, що в майбутньому цей вид палива стане основним джерелом енергії для електростанцій. Використання газогенераторної установки на тракторі підтверджено нашими дослідженнями та дослідженнями Житомирського національного агроєкологічного університету при тому тип газогенератора вибраний – обернений. Основна причина цього – такий тип газогенератора крекінгуєт в більшості своїй смоли, які є в складі деревини [29, 30].

Газогенераторна установка дає змогу економити дизельне паливо на рівні 60-70%. Конвертація автотракторних дизелів на газ показує, що робочий процес газодизеля може нормально здійснюватися при найменших подачах газу, оскільки процес горіння ініціюється запальною дозою рідкого палива. При цьому високотемпературний факел згораючого дизельного палива забезпечує стійке горіння навіть бідних газоповітряних сумішей [29, 30].

Переваги машин із газодизелями:

- виключається несанкціонований відбір палива трактора;
- зменшується нагароутворення на деталях циліндрово-поршневої групи при експлуатації в умовах низьких температур внаслідок зменшення кількості спалювального дизельного палива;
- газ, на відміну від дизельного палива, не змиває масляну плівку із стінок циліндра, що позитивно відбивається на ресурсі роботи двигуна;
- збільшується термін служби моторного мастила;
- збільшується строк служби паливного насоса високого тиску внаслідок того, що він перекачує менше, оскільки постійно подає пальне у розмірі подачі холостого ходу;
- заміна паливних фільтрів проводиться рідше;
- зменшується кількість шкідливих викидів в атмосферу, що дозволяє

дизелям вписуватися у вимоги «ЄВРО» для дизельних вантажних автомобілів;

- установка газового устаткування не передбачає заміну топливного обладнання.

Недоліки:

- збільшення часу на заправку трактора;
- необхідність навчання водія правилам експлуатації, ремонту і обслуговування газобалонного устаткування;
- необхідність обслуговування газобалонного устаткування;
- необхідність суворішого контролю за станом повітряних і газових фільтрів.

Синтетичні палива. У газифікаторах, що використовують кисень замість повітря, можна одержувати газ, що складається переважно з H_2 , CO й CO_2 . Становить інтерес те, що після видалення S_2 можна одержати так званий синтез-газ – з якого, у свою чергу, можна синтезувати практично будь-яку вуглекисневу сировину. Зокрема, при взаємодії H_2 і C виходить чистий метан. Іншим можливим продуктом є метанол – рідкий вуглеводень із теплотворною здатністю 23 ГДж/т. Виробництво метанолу вимагає організації складного хімічного процесу з високими температурами й тиском і дорогим устаткуванням. Незважаючи на це, інтерес до виробництва метанолу виявляється в тому, що він являє собою коштовний продукт - рідке паливо, здатне безпосередньо замінити бензин. Сьогодні виробництво метанолу з використанням синтез-газу не є комерційним. Однак існує технологія і для використання вугілля як сировини для газифікації. Вона була розвинена країнами, що мають великий вугільний потенціал, у періоди перебоїв з поставками нафти [5].

Анаеробне бродіння. Природа має спосіб руйнування й видалення відходів, а також рослинних відходів. Роботу з руйнування роблять бактерії. Якщо частини рослин і тварин, що відмирають, попадають у воду, то на поверхні води можна помітити пухирці, що піднімаються з дна. Газ, що утримується в пухирцях, здатний горіти. Процес представляє собою розкладання органіки у відсутності повітря (кисню). Газ, утворення якого зазвичай відзначалося на болотах, був названий болотним газом і дотепер так називається. Цей газ (друга назва - біогаз) являє собою суміш метану (CH_4) і двоокису вуглецю (CO_2). Уперше біогаз був досліджений і описаний Алесандро Вольта (Alessandro Volta) в 1776 році. Хемфрі Деві (Humphrey Davy) уперше на початку 1800 року показав, що горючий газ метан

утворюється в гної. В подальшому були розвинені біогазові технології, що дозволяють одержати біогаз із будь-яких біодеградуючих матеріалів у штучно створених умовах. Анаеробне бродіння, як і піроліз, реалізується при відсутності повітря. Однак у цьому випадку декомпозиція відбувається під впливом бактерій, а не високих температур. Цей процес відбувається практично у всіх біологічних матеріалах і прискорюваний у теплих і вологих умовах (природно, при відсутності повітря). Часто він має місце при розкладанні рослин на дні водойм. Анаеробне бродіння також відбувається в умовах, створюваних у процесі людської діяльності. Наприклад, біогаз утворюється в місцях концентрації стічних вод, гнойових стоків ферм, а також твердих побутових відходів на смітниках і полігонах. В обох випадках біогаз являє собою суміш, що переважно складається з метану й двоокису вуглецю. Основні відмінності полягають у природі вихідного матеріалу, масштабах і темпі утворення біогазу. Хімія процесу утворення біогазу досить складна. Складна популяція бактерій розкладає органічні матеріали в цукри, а потім у різні кислоти, з яких у свою чергу виходить біогаз. При цьому залишається інертний залишок, хімічний склад якого залежить від типу установки й вихідної сировини [5].

Біогаз. Біогаз являє собою цінне паливо. Для його виробництва в багатьох країнах використовують також рослинні відходи, як компонент сировини, що наповнює метатенки. Метатенки варіюються в розмірах від одного кубічного метра (в індивідуальних господарствах) до тисяч кубометрів, використовуваних у великих комерційних установках. Завантаження може бути безперервне або порційне, а процес бродіння може займати від десяти днів до декількох тижнів. У процесі діяльності бактерій утворюється тепло, однак в умовах холодного клімату необхідне підведення додаткового тепла для підтримки оптимальної температури (принаймні, 35 °C). Джерелом тепла може бути біогаз. У граничному випадку весь газ може бути використаний для нагрівання. Хоча в цьому випадку вихід енергії буде нульовим, але все одно його існування буде виправдане економією копалинного палива, необхідного для переробки відходів. Кращі біогазові установки можуть виробити 200-400 м³ біогазу зі вмістом метану від 50 до 75% з кожної тонни сухої органічної речовини [5].

На цей час найбільш ефективними способами отримання енергії із соломи є її пряме спалювання та газифікація. У піролізних (газогенераторних) котлах горить генераторний газ, що виділяється з

соломи під впливом високої температури. Під час такого спалювання не утворюється сажа і з'являється мінімальна кількість золи. У газогенераторних котлах (котлах з піролізним спалюванням) газ, що виникає завдяки високій температурі в бункері палива, проходить через спеціальну форсунку і горить дуже чистим полум'ям жовтого або майже білого кольору. Котли з піролізним спалюванням деревини (газогенераторні котли) мають більший ККД (до 85%) і дозволяють автоматично регулювати потужність.

Котли з періодичною подачею палива. Раніше на ринку переважали котли для маленьких брикетів. Сьогодні велика частина котлів з періодичною подачею пристосована для великих брикетів (круглі і прямокутні брикети Хестона). Котли, що використовують великі брикети, добре пристосовані для забезпечення річної потреби в теплі, відповідної споживанню принаймні 10 000 літрів мазуту. Є котли різних розмірів, що використовують одночасно від одного круглого брикету (200-300 кг) до двох брикетів Хестона (1000 кг). Зазвичай котел спалює пакунки послідовно. Трактор, обладнаний захоплювачами, доставляє брикет на ґрати через відкриту передню частину котла. Для забезпечення належного спалювання і зменшення винесення частинок у димових газах швидкість і кількість повітря, що подається в котел, можуть відрізнитися у верхній і нижній частині топкової камери [5].

Раніше котли з періодичним завантаженням спричиняли багато проблем, якщо в них використовувалася солома низької якості. Крім того, складно було контролювати подачу повітря. В сучасних моделях ці недоліки усунуті. Вміст води, проте, повинен бути постійними і не перевищувати 15—18 %. На сьогодні максимальна ефективність котлів становить 75 %, якщо вміст CO менше, ніж 0,5 %. Десять років тому ефективність становила 35 %.

Котли з автоматичною подачею палива. Котли з автоматичним завантаженням почали використовувати більше, оскільки у разі використання котлів із періодичною подачею пакунків малого розміру необхідно забезпечити наявність значної кількості обслуговувального персоналу. Розроблено декілька типів автоматичних котлів, які містять дозувальний пристрій, що автоматично й подає в котел солому. У таких пристроях можна використовувати цілі пакунки, подрібнену солому або солом'яні гранули [5].

Котли для великих пакунків. Пристрій, що складається з розпушувача

й різального пристосування, розділяє пакунки на окремі частини, різні за розмірами. Пакунки подають до нього за допомогою конвеєра. Кількість соломи, що надходить зазвичай регулюють, змінюючи швидкість конвеєра. Після подрібнення солому переміщують за допомогою черв'ячного транспортера або вентиляторів. Якщо застосовують вентилятори, то можна обрати велику відстань до котла, але в такому разі потрібно буде використовувати більше енергії.

Розпушувач не ріже й не розриває солому, а розподіляє її на сегменти, спресовані прес-підбирачем. Щоб забезпечити подавання постійної кількості соломи, розпушувач зазвичай обладнують утримувальним пристроєм. Більшість розпушувачів також мають ножі для подрібнення великих фракцій соломи [5].

В автоматичних котлах процес спалювання відбувається одночасно з подачею соломи в топку. Кількість повітря, що подається, співпадає з кількістю соломи й регулюється за допомогою змінної, розташованої заслінки перед вентилятором. Це забезпечує оптимальний режим спалювання і високий коефіцієнт використання палива, а отже, і зменшення емісії пилу порівняно з ручними котлами, у яких подача повітря не регулюється. В автоматичних котлах запалювання соломи не спричиняє труднощів, оскільки паливо подається безперервно.

Котли для солом'яних гранул. Протягом останніх років солом'яні гранули як джерело енергії використовують більше, хоча у наш час їх виробляють і використовують менше. Інтерес спричинений однорідною і зручною структурою цього різновиду палива, яке зручно транспортувати в танкерах і використовувати в автоматичних теплозабезпечувальних установках. Труднощі із попеловидаленням виникають у тому разі, якщо солом'яні гранули використовують у малих котлах.

Опалювальні пристрої на гранулах застосовують здебільшого в індивідуальних будинках. Зазвичай вони складаються з котла і закритої ємності для палива (солом'яних гранул). У топку котла гранулу подають за допомогою черв'ячного живильника. Живильник працює періодично, а кількість палива, що подається, регулюється величиною інтервалу між його послідовними увімкненнями. Повітря подають за допомогою вентилятора. Кількість попелу в малих котлах зазвичай становить 4 % від ваги використаної соломи.

Теплові станції. Теплові соломоспалювальні станції можна класифікувати за типом установленого котла. Приблизний перелік різних

видів котлів [5] є так:

- котел для спалювання різаної соломи;
- котел для спалювання соломи, подрібненої скарифікатором;
- котел для спалювання брикетів соломи за допомогою методу сигарного згорання;
- котел періодичної дії (спалювання цілого брикета соломи);
- котел для спалювання брикетів соломи, розділених на частини.

У котлах, у яких використовують солому, подрібнену скарифікатором, процес горіння відбувається в декількох зонах на литих рухомих металевих ґратах. Сировину на ґрати подають за допомогою пневмотранспорту й шнека. У кожну зону крізь ґрати подається первинне повітря. Для забезпечення згорання летких речовин подається вторинне повітря, яке підводиться через форсунки, певним чином розташовані на стінці котла. Із топки продукти згорання потрапляють у конвективний відсік, де основна частина тепла через стінки передається циркулюючій воді. На більшості станцій за конвективним відсіком розташовують економайзер-теплообмінник, унаслідок чого збільшується загальна ефективність роботи установки.

На тепловій станції, де розташовано котел періодичної дії, брикети соломи із завантажувального каналу надходять у передтопок, який працює як камера газифікації. У передтопці брикети запалюються, контактуючи з сировиною, що вже горить. Підведення повітря коригується залежно від ступеня згорання газів. У нижній частині передтопки розташований конвеєр, який поволі переміщує брикети, що горять, у напрямі до топки котла.

Для утворення брикетів чи пелетів із соломи пакунки попередньо подрібнюють на мобільному або стаціонарному обладнанні.

РОЗДІЛ 5 РІЗНОВИДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЇХНЄ ЗАСТОСУВАННЯ В ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЯХ БРИКЕТУВАННЯ ПОДРІБНЕНИХ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

5.1 Форма і зміст процесів моделювання

Побудова будь-якої моделі передбачає наявність комплексу питань, пов'язаних як зі змістом, так і з формою процесів моделювання. Формально умови під час створення моделей повинні бути обов'язково дотримані, оскільки вони обумовлюються вірогідністю результатів моделювання.

Традиційні визначення категорій: «зміст» як сукупність елементів і їхня взаємодія; «форма» як внутрішня організація і структура змісту прийняті не всіма оскільки відомо, що структура є важливим елементом змісту і однакові об'єкти, пов'язані різним чином тому, що не однакові за змістом.

Зміст відображає процес взаємодії елементів чи явища об'єкта і визначається як самими елементами, так і їхнього структурою. Найчастіше це твердження відбиває така винахідницька категорія, «Об'єкт винаходу» – «Пристрій».

Форма обумовлюється способом існування, вираження, прояву змісту, що відбито у такій винахідницькій категорії, як «Об'єкт винаходу» – «Спосіб».

Пізнання об'єкта здійснюють зазвичай поетапно:

1) пошук елементів, що визначають властивості усього об'єкта. На цьому етапі структуру об'єкта розглядають тільки як його будову;

2) пояснення властивостей об'єкта (шляхом його фіксування і теоретичного відокремлення від усього іншого). На цьому етапі структура є інваріантним аспектом об'єкта;

3) більш високий рівень пізнання: структура обумовлює особливості зв'язків між частинами.

Стан об'єкта виражається математичним поняттям «функції», тобто форма є функційною.

Форма по-різному обумовлюється зміною змісту. Найпоширенішою є така схема послідовного змінювання і взаємодії зазначених категорій:

1. Відповідність за особливими → 2. Невідповідність за рівнем змісту і форми в період утворення нової форми → 3. Зміст досягає рівня форми →

4. Зміст випереджає її рівень → 5. Невідповідність за рівнем призводить до невідповідності за особливостями → 6. «Скидання» форми.

Взаємодія старих і нових форм виявляється в тому, що в змісті завжди присутня і підпорядковується йому попередня форма, але це стосується тільки нової, співвідносної із ним форми, оскільки внаслідок неодночасного розвитку зміст і нова форма не співпадають повністю, а попередня форма при цьому еволюціонує.

Критеріями складності системи є такі: багатокomпонентність, неоднорідність, відмінність елементів відповідно до їхніх функцій, неможливість використання поза системою, наявність великої кількості ієрархічних рівнів, різноманітність зв'язків, складність їхнього визначення, неоднозначність залежності структури й функції системи, здатність до самоорганізації, саморозвитку.

5.2 Теоретичні основи створення засобів математичного, аналогового й фізичного моделювання

Моделлю називається спеціально створений об'єкт, що відображає деякі властивості іншого, досліджуваного об'єкта. Моделювання перебуває дослідженням складних процесів на моделях шляхом застосування методів теорії подібності (що вивчає умови подібності фізичних явищ) під час постановки й обробки результатів експерименту. Два явища називаються подібними, якщо всі кількісні характеристики одного з них співвідносяться з їхніми кількісними характеристиками, іншими словами: якщо помножити їх на постійні числа (константи подібності, або «масштаби моделювання»), однакові для всіх однорідних величин, то вони будуть однаковими й характеризуватимуться тими самими значеннями деяких безрозмірних параметрів (визначальних критеріїв подібності), складених з відповідних фізичних і геометричних величин, що характеризують ці явища.

Основною умовою вірогідності є так званий ідентифікатор подібності натурних явищ і явищ, що моделюються: фізичні явища, процеси чи системи подібні, якщо в подібних точках простору, у подібні моменти часу окремі величини, що характеризують стан системи, пропорційні відповідним величинам іншої системи. Під час побудови моделей використовують критерії подібності, або безрозмірні числа, що складаються з розмірних фізичних параметрів, які визначають розглянуті фізичні явища (див. вище). Найпростішим, відомим усім прикладом

критерію подібності ϵ , зокрема, масштаб географічної карти чи плану – дріб, чисельник якого дорівнює одиниці, а знаменник – числу, що відтворює зменшення зображення (моделі) відповідно до його натурних розмірів. Вимоги теорії подібності потрібно належним чином урахувати під час побудови будь-якої модельної системи.

Вивчення будь-якого процесу методом аналогії здійснюють шляхом експериментального дослідження іншого якісного фізичного процесу, описуваного такими самим за формою математичними рівняннями (так зване «математичне моделювання», за якого, на відміну від «фізичного», фізичні процеси однакові). Передбачається, що всі процеси (повна подібність) чи найбільш істотні (локальна подібність) у будь-який момент часу дослідження й у будь-якій точці відрізняються від відповідних параметрів натурального явища у декілька раз. Як зрозуміло з наведеної схеми на рисунку 5.1, моделі посідають проміжне місце між діаметрально протилежними один до одного експериментальними й теоретичними способами досліджень.

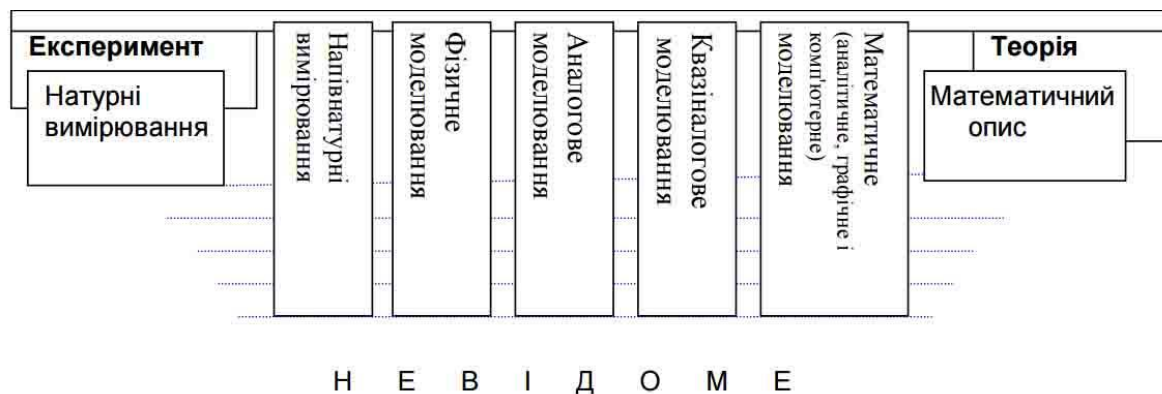


Рисунок 5.1 – Моделі як метод наукового пізнання

Серед вчених теоретиків і експериментаторів: перші досліджують процеси, абстрактно домислюючи їх й роблячи невідоме предметом загального надбання; другі по змозі, а також відповідно до стану свого матеріально-технічного забезпечення (що неабияк важливо) завзято працюють, забезпечуючи теоретиків набором незвичайних фактів, які раніше біли невідомі змушуючи детально й науково їх обґрунтовувати. Моделювання поєднує тих і інших, слугує «містком» між двома протилежними способами дослідження. Розглянемо відомі різновиди моделювання, які застосовують у науці й техніці.

5.2.1 Натурне й напівнатурне вимірювання.

Найбільш точну й достовірну (хоча, безумовно, не зовсім повну) інформацію про досліджуваний процес або явище можна одержати тільки шляхом проведення натурних вимірювань. Їх, на жаль, не можна застосовувати під час дослідження більшості неіснуючих (наприклад проєктованих) об'єктів. Апроксимація даних натурального вимірювання характеристик одного об'єкта до характеристик іншого, подібного до нього об'єкта, також можлива тільки в окремих випадках.

Деколи найбільш складну й громіздку частину системи, яку вважають непотрібною під час проведення аналізу, замінюють моделлю; іншу частину, що вивчається, використовують безпосередньо. Прикладом проведення таких напівнатурних вимірювань є стендові випробування двигунів літака: сам літальний апарат ще не існує; випробовують тільки його енергетичну установку (готову, уже зібрану); фюзеляж, крила та інші елементи, дуже важливі для конструкції готового виробу (літака) загалом, прийнято вважати несуттєвими, замінено під час експерименту на частини конструкції самого стенду.

5.2.2 Фізичне моделювання

Таке моделювання здійснюють за допомогою моделей, подібних до натуральних, тобто: подібні величини моделі й природи однакові за фізичною природою й однаково математично описуються. У такому разі зберігаються особливості натурального експерименту, полегшується одержання результатів, тому що з самого початку обрано зручні діапазони вимірювання фізичного поля.

Однак такі фізичні моделі, побудовані з дотриманням критеріїв теорії подібності, займають великі площі, тому що без порушення подібності їхній масштаб не можна зменшити, а результати можна одержати тільки після ретельного оброблення всіх даних.

Модель прямої аналогії. Така модель за аналогією імітує натурну фізичну систему її елементів таким чином, щоб кожен фізичний елемент природи співпадав із певним зображенням його еквівалента. Отже, головною перевагою моделі прямої аналогії є наочність. При цьому два явища вважаються подібними, якщо за відомими характеристиками одного з них одержують характеристики іншого шляхом зміни масштабу, тобто

одна система одиниць вимірювання заміняються іншою.

В основу аналогового моделювання покладено подібність математичного опису, хоча схожі величини моделі й природи різняться. Одночасно система розчленовується на її складники – фізичні елементи. Залежно від ступеня ідентичності математичних описів моделі й природи, окрім «чисто аналогового», відокремлюють ще й такий різновид, як квазіаналогове моделювання, особливістю якого є менший ступінь аналогії.

У моделі прямої аналогії використано принципи імітації на основі аналогій натурної або фізичної системи за її елементами таким чином, щоб кожному фізичному елементові природи в моделі відповідало певне зображення її еквівалента. Якість моделі прямої аналогії обумовлюється повнотою і чіткістю виявлення представлених у ній елементів досліджуваної фізичної системи. Зазначене особливо стосується моделювання систем, у яких параметри й фізичні поля не співпадають (наприклад звукові поля промислових підприємств).

Модель прямої аналогії використовують для наочності. Під час проведення таких досліджень використовують для впливу зміни окремо взятого фізичного елемента чи фактора на всю систему загалом, тому що кожен елемент відповідно відображається. У моделях крайових задач зберігається геометрична подібність форми областей, що дає змогу швидко впливати на ту чи іншу ділянку області. Модель можна аналізувати й коректувати шляхом підстановки даних проведення експериментів та натурних вимірів, використовувати її для перевірки теоретичних пропозицій. Щоб забезпечити оптимальні витрати устаткування, (а отже, й вартість моделі), модель потрібно спростити, що в разі використання моделі прямої аналогії зробити набагато легше, ніж наприклад, при фізичному моделюванні.

Аналогове й квазіаналогове моделювання не можна використовувати щодо будь-якої запропонованої фізичної задачі. Цим пояснюється обмеження сфери їхнього застосування. Необхідно виявити аналогію (якщо вона взагалі існує) і тільки тоді будувати модель, урахувавши спрощення її елементів.

Останнім часом прослідковується тенденція до поєднання аналогового і комп'ютерного моделювання. Досліджувану систему розчленовують на окремі фізичні елементи і вводять у електронні обчислювальні машини їхні моделі, не поєднуючи їх. При цьому

математичний опис досліджуваної системи розподіляють на окремі операції відповідно до класу електронної обчислювальної машини.

5.2.3 Математичні моделі

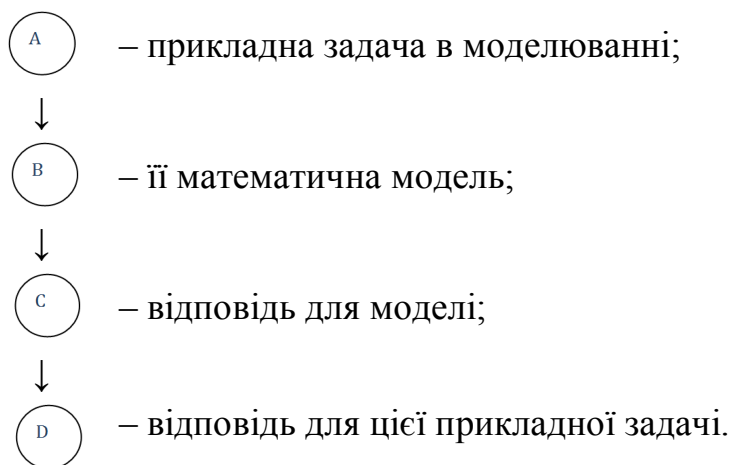
Такі моделі створюють, використовуючи математичні поняття й відношення: геометричні фігури, числа, вирази тощо. Математичними моделями здебільшого є функції, рівняння, нерівності, їхні системи.

Розв'язання задачі за допомогою математичних методів розподіляють на три етапи:

1. Створення математичної моделі задачі.
2. Розв'язання певної відповідної математичної задачі
3. Аналіз об'єкта.

Щоб створити відповідну модель, потрібно знати не тільки математику, але й ту галузь науки і виробництва, з якою ця прикладна задача пов'язана. Якщо модель складена неправильно, неправильними будуть і рішення задачі, і відповідь.

Етапи розв'язання прикладної задачі за допомогою математичних методів:



Важливим є також останній етап розв'язання прикладної задачі – аналіз відповіді. Відповідь С для абстрактної задачі В може не задовольняти задачу А чи задовольняти її неповністю. Відповідь С може бути точною для задачі В, відповідь для прикладної задачі А майже завжди приблизна. Отже, їх потрібно записувати відповідно до правил наближених обчислень.

5.3 Математичне моделювання брикетування подрібнених рослинних відходів

Для обґрунтованого розрахування технологічних процесів брикетування подрібнених відходів необхідно створити математичну модель, у якій враховано найбільш важливі фактори, що впливають на роботу устаткування та якість отриманої продукції.

Проблему ущільнення відходів вивчало багато вчених, зокрема П. Н. Хухрянський, Н. А. Модін та інші.

Для опису пружних властивостей ущільнення матеріалу доцільно скористатися методами осереднення, тобто технічним наближенням розв'язком. Це виправдано головним чином тим, що такий матеріал не має стабільних механічних властивостей, а точні методи розв'язання, що значно ускладнюють обчислення, не покращують результатів.

Припустимо, що деревні частинки в межах деяких кутів розподіляються рівномірно. Усереднене значення модулів пружності A_{jk} конгломерату деревних частинок можна визначити за відомими формулами як математичні очікування величин (змінними φ_0 , θ_0 , ψ_0 позначені кути розкидування частинок, рис. 5.2)

$$A_{jk} = \langle A_{jk}^i \rangle = \frac{1}{\varphi_0 \theta_0 \psi_0} \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} \int_{-\frac{\theta_0}{2}}^{\frac{\theta_0}{2}} \int_{-\frac{\psi_0}{2}}^{\frac{\psi_0}{2}} A_{jk}^i d\varphi d\theta d\psi, \quad (5.1)$$

де A_{jk}^i – коефіцієнти пропорційності між напругою σ_{jk}^i і співвідносними із ними деформаціями для i -тій деревної частинки у фіксованій системі координат, пов'язаній з пресформою.

Усереднені коефіцієнти піддатливості a_{jk} конгломерату визначаються як математичні очікування в разі допущення про рівномірність розкидування частинок:

$$a_{jk} = \langle a_{jk}^i \rangle = \frac{1}{\varphi_0 \theta_0 \psi_0} \int_{-\frac{\varphi_0}{2}}^{\frac{\varphi_0}{2}} \int_{-\frac{\theta_0}{2}}^{\frac{\theta_0}{2}} \int_{-\frac{\psi_0}{2}}^{\frac{\psi_0}{2}} a_{jk}^i d\varphi d\theta d\psi, \quad (5.2)$$

де a_{jk}^i – коефіцієнти пропорційності між деформаціями ε_{jk}^i і співвідносними із ними напруженнями для i -тій деревної частинки у фіксованій системі координат.

Вважаючи розташування деревних частинок у площині, відповідно до напрямку осі навантаження z (рис. 5.3) хаотичним (тобто кути θ і ψ приймають значення від 0 до π), обчислимо значення усереднених модулів пружності й усереднених коефіцієнтів піддатливості (за формулами (5.1)), (5.2) залежно від кута розкидування часток φ щодо осі z . Розрахунки показали, що максимальне значення модуля пружності E_3 конгломерату частинок у напрямі осі z отримуємо, якщо розташування частинок в просторі пресформи ($\varphi_0 = \pi$) є хаотичним і становить 1311,6 і 1950,7 МПа для соснових і березових частинок відповідно і до того ж значення коефіцієнта поперечного розширення в площині, відповідно до осі навантаження, становить 0,24 і 0,25 МПа. Мінімальне значення модуля – 902,6 МПа для березових частинок і 478,6 МПа – для соснових частинок, якщо всі деревні частинки знаходяться в площині, що відповідає осі навантаження ($\varphi_0 = 0$); коефіцієнти Пуассона при цьому дорівнюють 0,66 для сосни і 0,58 – для берези.

5.3.1 Побудова математичної моделі формування брикетів з подрібненої деревини під дією ударного навантаження

Оскільки при осьовому пресуванні діючі напруги зазвичай нормальні, як модель обирають стрижневу систему (рис. 5.4, 5.5). Розв'язування задач динаміки стрижневих систем з кінцевим числом ступенів свободи можна звести до розв'язання матричного рівняння:

$$K\bar{v} + G\dot{\bar{v}} + m\ddot{\bar{v}} = \bar{P}(t), \quad (5.3)$$

де K – матриця жорсткості системи;

G – дисипативна матриця;

m – матриця мас;

\bar{P} – вектор зовнішніх навантажень;

\bar{v} – вектор узагальнених переміщень.

Матриця жорсткості формується в разі використання параметрів, що залежать від пружних властивостей матеріалу й геометричних параметрів системи. Введення в рівняння (5.3) дисипативної матриці обумовлено необхідністю врахувати вплив на процес ущільнення сил тертя (зовнішнього і внутрішнього). Матриця мас при цьому відображає вплив сил, що виникають у системі внаслідок додаткового ударного навантаження сил інерції.

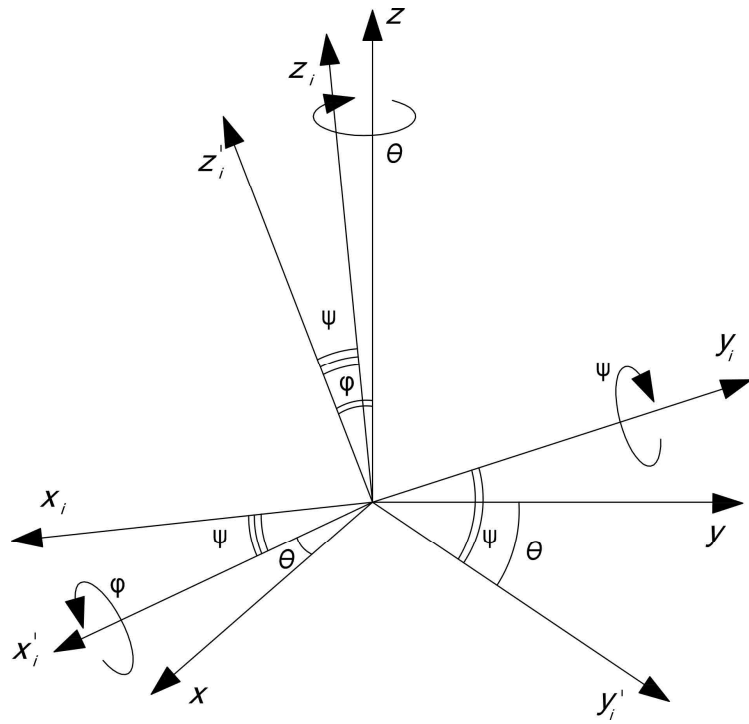


Рисунок 5.2 – Схема переходу до фіксованої системи координат

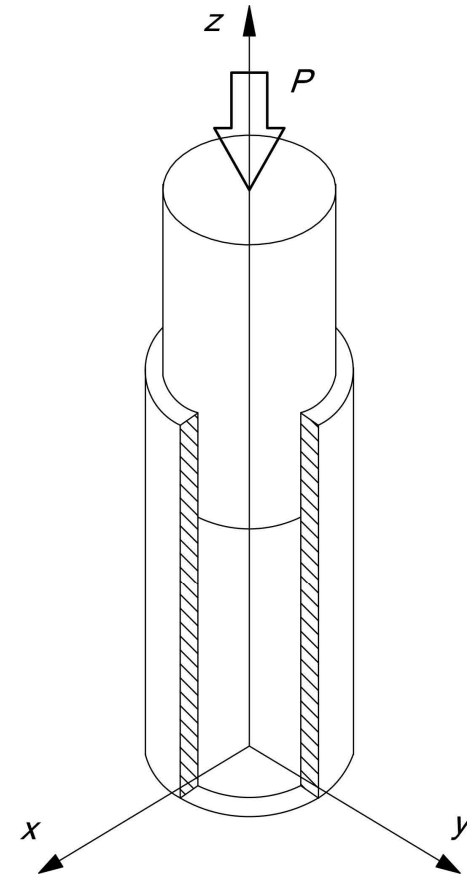


Рисунок 5.3 – Схема навантаження

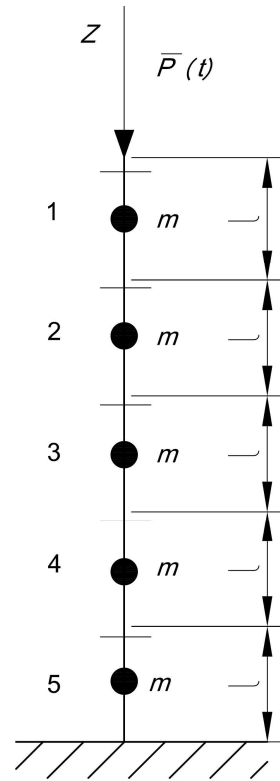


Рисунок 5.4 – Модель середовища у вигляді стрижневої системи

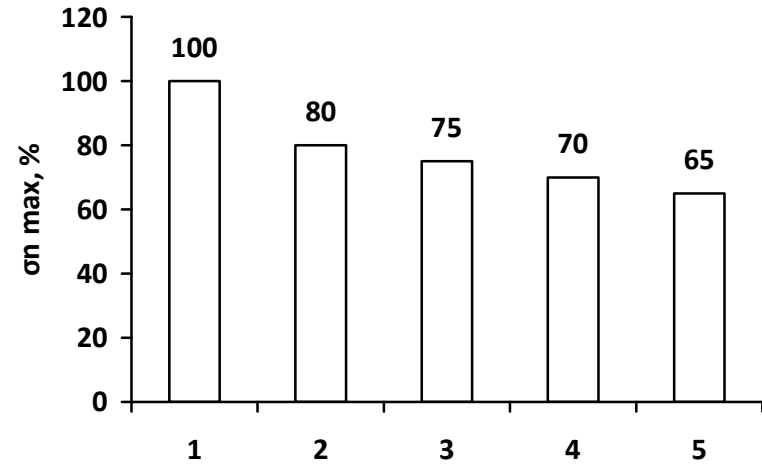


Рисунок 5.5 – Розподіл внутрішніх напружень за висотою брикета

Рівняння (3): можна розкласти так:

$$\bar{v}(t) = \Phi \bar{a}(t), \quad (5.4)$$

де Φ – деяка квадратна матриця;

$\bar{a}(t)$ – вектор коефіцієнтів, що залежать від часу.

Після необхідних перетворень рівняння (5.3), урахування (5.4) буде таким:

$$\Phi^T m \Phi \ddot{\bar{a}}(t) + \Phi^T \Gamma \Phi \dot{\bar{a}}(t) + \Phi^T K \Phi a(t) = \Phi^T P(t). \quad (5.5)$$

Уведемо позначення:

$$\psi = m^{0,5} \Phi;$$

$$K_m = ((m^{0,5})^{-1}) T K (m^{0,5})^{-1};$$

$$\Gamma_m = ((m^{0,5})^{-1}) T \Gamma (m^{0,5})^{-1}; \quad (5.6)$$

$$b(t) = \psi T ((m^{0,5})^{-1}) T \bar{P}(t);$$

де $m^{0,5}$ – матриця, що складається з квадратних коренів певних елементів матриці мас.

З (5.5) на підставі (5.6) отримаємо:

$$\ddot{\bar{a}}(t) + \psi T \Gamma_m \psi \dot{\bar{a}}(t) + \psi T K_m \psi a(t) = b(t) \quad (5.7)$$

Як матрицю ψ обрано матрицю нормованих власних векторів матриці K_m . Тоді

$$\Psi^T K_m \Psi = \Lambda, \quad (5.8)$$

де Λ – матриця власних значень матриці K_m .

Щоб застосувати до (5.7) метод розкладання за власними формами, необхідно, щоб диссипативна матриця Γ мала такі самі власні вектори ψ , що й матриця жорсткості K . Отже, отримаємо:

$$\Psi^T \Gamma_m \Psi = \Lambda_\Gamma. \quad (5.9)$$

Прийmemo функцію матриці Λ як матрицю Λ_Γ :

$$\Lambda_\Gamma = f(\Lambda). \quad (5.10)$$

Тоді остаточний вигляд матричного рівняння руху системи з урахуванням інерційних, дисипативних і пружних складників буде таким:

$$\ddot{\bar{a}}(t) + \gamma \rho \dot{\bar{a}}(t) + \rho^2 \bar{a}(t) = \bar{b}(t) \quad (5.11)$$

Розв'язання (5.11) можна подати через інтеграл Дюамеля:

$$a_j(t) = \int_0^t k_j(t-\tau) b_j(\tau) d\tau. \quad (5.12)$$

Імпульсивна перехідна функція для дисипативної системи буде такою:

$$k_j(t) = \frac{1}{p_{1j}} e^{\frac{-\gamma p_j t}{2}} \sin(p_{1j} t), \quad (5.13)$$

$$\text{де } p_{1j} = p_j \sqrt{1 - \frac{\gamma^2}{4}}.$$

Використавши значення коефіцієнтів $\bar{a}(t)$ за (5.4), отримаємо значення узагальнених переміщень $\bar{v}(t)$. Внутрішні зусилля $\bar{S}(t)$ визначимо за показниками дії на кожен масу системи сил пружності. У матричній формі запису рівняння для них буде таким:

$$\bar{S}(t) = L_s K \bar{v}(t) \quad (5.14)$$

де L_s – матриця впливу внутрішніх зусиль, отримана за одним із відомих способів.

Таким чином, на підставі рівнянь (5.4), (5.14) можна визначити змінні за часом значення внутрішніх зусиль в будь-якому елементі розглянутої моделі, а також переміщення верхнього перетину кожного елемента під час дії довільного зовнішнього навантаження.

5.3.2 Побудова математичної моделі процесу ущільнення біосуміші під дією ударного навантаження

Ущільнювана маса становить собою багатофазову систему, що складається з твердої фази – частинок біосуміші зі зв'язаною вологою та рідкої – вільної вологи, а також газоподібної – повітря. Загальні принципи ущільнення подрібнених матеріалів узагальнюються в понятті

«консолідація», що відображає сутність процесу об'єднання елементів в цілі об'єкти, надання їм форми і здатності до її збереження [53].

Відповідно до поставлених завдань досліджень, для опису процесу формування брикетів із біосуміші під дією ударного навантаження необхідно побудувати математичну модель цього процесу.

Чітко описати явища, що відбуваються під час впливу ударних навантажень на подрібнені біоматеріали, складно. Це обумовлено необхідністю враховувати багато чинників, що впливають на цей процес, оскільки вони впливають не тільки на параметри роботи обладнання, але й на якість одержуваної продукції, зокрема на щільність готових брикетів.

Для якісного оцінювання процесу ущільнення матеріалу використаємо модель, зображену на рисунку 5.6 [54]. Застосування технічно наближеного розв'язання в такому разі обумовлюється, тим, що такий матеріал не має стабільних механічних властивостей, а використання чітких методів розв'язання значно ускладнює обчислення і не сприяє істотному збільшенню точності. У цій моделі ступінь ущільнення біоматеріалу 1 (зміна обсягу) характеризується переміщенням пуансона 2 в матриці 3 внаслідок дії на нього вантажу (на рис. 5.6 не зображений) маса якого m_1 . Пуансон 2 становить собою абсолютно твердий недеформований об'єкт циліндричної форми.

Зусилля опору F щодо переміщення пуансона в матриці нелінійно залежить від величини переміщення Δy . Закон зміни сили опору щодо переміщення $F(y)$ під впливом величини зазначеного переміщення повинен співноситися з експериментально встановленою залежністю ступеня ущільнення від значення статичного зусилля. Зі збільшенням статичного зусилля ступінь ущільнення повинен поступово збільшуватися, асимптотично наближаючись до деякого граничного значення.

Відповідно до описаної схеми процесу ущільнення, припускають, що до удару пуансон під дією статичної сили $P_{ст}$ вже перемістився в матриці на величину Δy_0 . Цей стан вважається вихідним у разі подальшого розгляду дії удару (рис. 5.6, а).

Значення Δy_0 визначають за рівністю:

$$P_{ст} = F(\Delta y_0). \quad (8.15)$$

У разі збереження дії статичного зусилля по поршню наносять одноразовий миттєвий удар. Під миттєвістю удару мають на увазі, що в

момент удару пуансон миттєво набуває швидкості, яка потім під впливом дії сил опору монотонно зменшується до нуля.

Рух тіл 1 і 2 після удару описується абсолютними координатами y_1 і y_2 відповідно, початок яких поєднаний з нижніми точками кожного об'єкта в положенні рівноваги (після прикладання статичного навантаження), а напрям збігається з напрямом зусилля ущільнення (рис. 5.6, б).

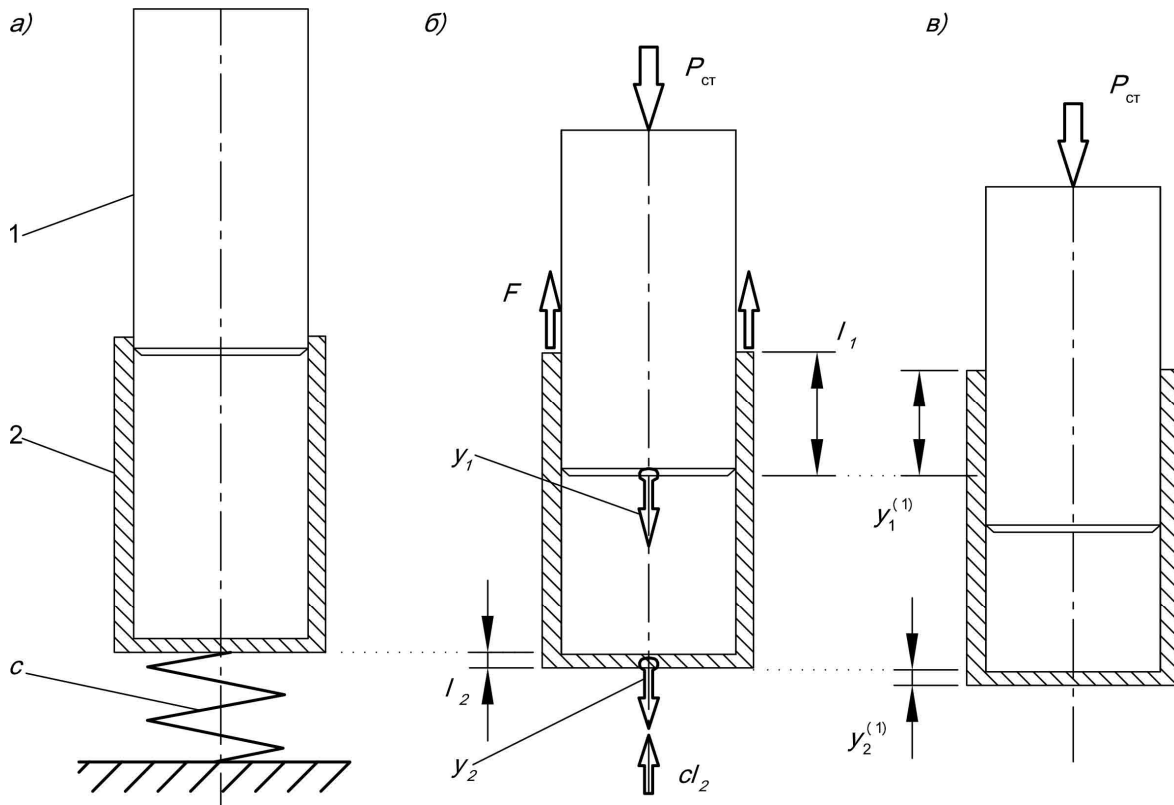


Рисунок 5.6 – Розраховувана схема процесу ущільнення

1 – пуансон; 2 – матриця с оброблюваним матеріалом; а – система у вихідному стані; б – система після прикладання статичного навантаження $P_{ст}$; в – система після прикладання ударного навантаження

Оскільки жорсткість оброблюваного матеріалу – кори порівняно з жорсткістю матеріалу пресформи і основи, на якій вона розміщена [48, 54] надто мала, приймемо, що $y_2 = 0$.

Диференціальне рівняння руху системи після першого удару можна записати так:

$$m_1 \frac{d^2 y_1^{(1)}}{dt^2} + F(\Delta y_0) + F(y_1^{(1)}) = P_{ст}, \quad (5.16)$$

де $y_1^{(1)}$ – переміщення пуансона після першого удару (верхній індекс у дужках відповідає номеру удару);

$(F(\Delta y_0) + F(y_1^{(1)}))$ – сумарне зусилля опору щодо ущільнення.

На підставі (5.15) рівняння (5.16) набуває такого вигляду:

$$m_1 \frac{d^2 Y_1^{(i)}}{dt^2} + F(Y_1^{(i)}) = 0 \quad (5.17)$$

Подальше розв'язання обумовлюється функцією $F(y_l)$. Якщо на підставі функції $F(y_l)$ можна отримати аналітичне розв'язання рівняння (5.17), то величину переміщення пуансона в матриці знаходять за таким рівнянням:

$$m_1 \frac{d^2 Y_1^{(1)}}{dt^2} + F(Y_1^{(1)}) = 0 \quad (5.18)$$

де $i = 2, 3, \dots$, $Y_1^{(i)} = \Delta y_0 + \sum_i y_1^{(i)}$ – сумарне переміщення пуансона, спричинене i – послідовними ударами.

Початкові умови такі:

$$\begin{cases} Y_1^{(i)}|_{t=0} = \Delta y_0 + y_{1\text{кон}}^{(1)} + \dots + y_1^{(i-1)} \\ \frac{dY_1^{(i)}}{dt}|_{t=0} = V_0^{(i)} \end{cases}, \quad (5.19)$$

де $V_0^{(i)}$ – початкова швидкість пуансона, спричинена i -м ударом.

Якщо ж рівняння (5.17), (5.18) розв'язати неможливо, рекомендовано лінеаризувати функцію $F(y_i)$ на інтервалі $(0; \Delta y_0)$ [55]. Для цього використовують метод прямої лінеаризації, відповідно до якого нелінійну функцію $F(y_i)$ замінюють лінійним виразом $f_1 y_l$. Коефіцієнт f_1 обчислюють із умови мінімуму «зваженого» ухилення:

$$\frac{\partial}{\partial f_1} \int \{ [F(y_1) - f_1 y_1] y_1 \}^2 dy_1 = 0. \quad (5.20)$$

Остаточний вираз для визначення коефіцієнта лінеаризованого зусилля опору такий:

$$f_1 = \frac{5}{\Delta y_0^5} \int_0^{y_1} F(y_1)(y_1)^3 dy_1. \quad (5.21)$$

Тоді лінеаризоване рівняння (8.17) можна записати так:

$$m_1 \frac{d^2 y_1^{(1)}}{dt^2} + f_1 y_1^{(1)} = 0, \quad (5.22)$$

Початкові умови:

$$\begin{cases} y_1^{(1)}|_{t=0} = 0, \\ \frac{dy_1^{(1)}}{dt}|_{t=0} = V_0 \end{cases}, \quad (5.23)$$

де $V_0^{(1)}$ – початкова швидкість пуансона, спричинена першим ударом.

В разі врахування початкових умов (5.23) з рішення рівняння (5.22) випливає:

$$y_1^{(1)} = \frac{V_0^{(1)}}{k_1} \sin\left(t \sqrt{\frac{f_1}{m_1}}\right). \quad (5.24)$$

Процес впровадження вважають завершеним, якщо швидкість поршня $\frac{dy_1^{(1)}}{dt} = 0$. За цією умовою визначають тривалість процесу впровадження:

$$t_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m_1}{f_1}}. \quad (5.25)$$

Глибину впровадження $y^{(1)}_{\text{кон}}$ після першого удару визначають за рівнянням (5.24), $t = t_1$.

Лінеаризоване диференціальне рівняння руху після другого удару має такий вигляд:

$$m_1 \frac{d^2 y_1^{(2)}}{dt^2} + f_1 y_{1\text{кон}}^{(1)} + f_2 y_1^{(2)} = 0 \quad (5.26)$$

Початкові умови:

$$\begin{cases} y_1^{(2)}|_{t=0} = 0, \\ \left. \frac{dy_1^{(2)}}{dt} \right|_{t=0} = V_0^{(2)'}, \end{cases} \quad (5.27)$$

де $V_0^{(2)}$ – початкова швидкість поршня, спричинена другим ударом.

Дію подальших ударів визначають за лінеаризованим рівнянням (5.26), за якими координату $y_1^{(i)}$ відраховують, починаючи з положення, яке займає поршень після кожного наступного i -го удару:

$$m_1 \frac{d_1^{(i)}}{dt} + \sum_{i-1} f_{i-1} y_{1\text{кон}}^{(i-1)} + f_i y_1^{(i)} = 0, \quad (5.28)$$

де $f_{i-1} = \frac{5}{\Delta y_i^5} \int_0^{y_i} F(y_1^{(1)})(y_1^{(1)})^3 dy_1, i = 2, 3, \dots, y_i = \Delta y_0 + \sum_{i-1} y_1^{(i-1)}$ –

сумарне переміщення пуансона після кожного удару.

Отже, щоб визначити величину переміщення пуансона в матриці (i , очевидно, – ступінь ущільнення матеріалу брикета) під дією ударного навантаження, необхідно керуватися залежністю щодо аналогічного переміщення під час впливу на пуансон статичного зусилля.

РОЗДІЛ 6 ПРАКТИЧНЕ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИДОЗМІНИ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ У ТВЕРДЕ ПАЛИВО

6.1 Гнучкі технології біообробних процесів

Гнучка автоматизація виробництва була запроваджена на початку 60-х років ХХ століття, коли почали використовувати верстати з числовим програмним управлінням (ЧПУ). Проблемі становлення й розвитку теорії та практики гнучкої автоматизації виробництва і конкурентоспроможності продукції присвячено чимало праць вітчизняних і зарубіжних учених, а саме: В. Н. Васильєв, А. М. Войчинський, Н. І. Діденко, А. А. Іванов, В. П. Лузін, Я. Монден, Р. Л. Сатановський, Дж. Харлі та інші [1, 2, 3, 4, 5]. Наукові розробки у цій царині різняться широтою спектру досліджень. Прогноз розвитку виробництва біопалива свідчить про те, що найбільш чутливими реагують до зміни складу сировини й попиту на ринку палива є гнучкі біообробні процеси. Ці процеси сприяють раціональній обробці біосировини, унеможливленню простоїв обладнання внаслідок відсутності певного різновиду сировини, відносному зменшенню запасів сировини на складі. Застосування гнучких біообробних процесів дає змогу вирішити проблеми конкурентоспроможності продукції, забезпечити високу рентабельність виробництва і його ефективність. Отже, дослідження гнучких процесів і обґрунтування умов їхнього ефективного функціонування є актуальною проблемою сучасного виробництва палива. Проблемі вивчення гнучких технологій підготовки й утилізації рослинних і деревних відходів присвячені також роботи вчених Г. А. Вілке [3], А. А. Камусіна [11], В. В. Коробова [14], А. К. Редькіна [21], С. Н. Рикуніна [22], В. Р. Фергіна [25], Б. Г. Залегалера [9], І. Г. Дерев'янка [5], В. В. Обвінцева [19], Н. П. Рушнова [23], В. В. Чамєєва [28], А. Е. Феоктистова [27], У. Е. Яунсилса [30]. Світовий досвід засвічує, що прогресивним різновидом застосування сучасних гнучких технологій утилізації рослинних та деревних відходів є таке виробництво, яке активно і динамічно реагує на зміну умов його функціонування. На підставі досліджень провідних учених (1–11) обґрунтовано необхідність створення цехів з використанням гнучких технологій, визначено основні принципи їхньої побудови. Встановлено можливі варіанти комбінування, шляхи обробки біомаси, розроблено деякі рекомендації щодо підбору

обладнання для цехів (13–20). У роботах [1, 2, 13] зазначено, що перспективним напрямом концентрації лісо-обробного виробництва є обробка сортиментів різного призначення в загальному комбінованому цеху. Це дасть змогу оптимізувати використання сировини, збільшити завантаженість обладнання шляхом зменшення на 20...40 % впливу дискретності і збільшення ефективності використання складських площ. Так, в Японії та Німеччині було реалізовано широкомасштабні державні програми, головним завданням яких було стимулювання процесу гнучкої автоматизації на дрібних та середніх підприємствах із метою підвищення конкурентоспроможності продукції. У роботах [20, 21, 29], де обґрунтовано необхідність переробки біомаси в комбінованих цехах, зазначено, що тип комбінованого цеху обумовлюється різновидом породи й обсягами сировини. Зазначено, що комбіновані цехи використовують за таких умов: перелік технологічних операцій оброблення різних сортиментів подібний; продукція або відходи одного виду є джерелом сировини для іншого; невеликі обсяги оброблення кожного типу сировини не забезпечують завантаження обладнання спеціалізованих цехів. У роботах [9, 23] визначено ступінь ефективності переробки деревини на нижніх складах комбінованих цехів. Зазначено, що за достатньо високої продуктивності сучасних верстатів повне їхнє завантаження біосировиною не забезпечується, тому в одному цеху необхідно виробляти різну продукцію. Це дасть змогу скоротити час простоювання машин, коефіцієнт використання яких в деяких становить 0.56 [16]. У роботах [17, 19] описано комбіновані цехи, які рекомендовано використовувати для переробки біомаси. Необхідно зазначити, що організувати комбіноване виробництво можна не тільки на лісозаготівельному підприємстві. У зв'язку зі збільшенням поставок деревини на лісопереробних підприємствах набуває поширення технологія, за якої в лісопильних потоках обробляють попутні сортименти виробництва пиломатеріалів і технологічної щепи. Ефективність застосування цієї технології обговорено в роботах [15, 28]. Однак необхідно дослідити проблему завантаженості машин залежно від ступеня комбінування обробки сировини в цехах [10, 11]. Потрібно розробити рекомендації щодо кількісного оцінювання рівня комбінування і визначити умови для ефективного функціонування комбінованих цехів, встановити оптимальні параметри технологічних зв'язків між станками, а також між окремими ділянками в комбінованих цехах. Необхідно дослідити вплив обробки різних видів сортиментів у

комбінованих цехах на операціях, які пов'язані з подачею сировини в цех і створення запасів сировини перед цехом, а також на операціях на складі готової продукції в цеху [3, 7]. В останні роки досліджень щодо створення гнучких виробничих систем проводиться більше. Це відбувається тому, що в реальних виробничих умовах досить часто доводиться змінювати процес виробництва у зв'язку з тим, що потрібно враховувати вплив зовнішнього середовища на їхнє функціонування. Такі зміни можуть відбуватися внаслідок змінювання обсягів виробництва, передбачувано – якісних параметрів сировини під час коливань на ринку попиту біопродукції тощо [10, 13]. У роботах професора А. К. Редькіна [21] підкреслено, що необхідно створювати гнучкі автоматизовані виробництва-підрозділи підприємства, що дасть змогу збільшити завантаженість обладнання і пришвидшити утилізацію деревної сировини. Зазначено, що найбільшого ефекту від створення гнучких виробництв досягають у разі влаштування дрібносерійних виробництв. У роботах В. Р. Фергіна [24] підкреслено, що гнучка автоматизація виробництва сприяє адаптації режиму функціонування технологічних дільниць до параметрів сировини і проміжних товарів під час їхньої переробки. Цього досягають унаслідок використання нових гнучких технологій обробки та застосування сучасних засобів автоматизації.

Доведено, що створення ефективних гнучких технологій є особливо важливим у лісопильному виробництві, насамперед – на лісопильних лініях, на яких розпилюють сировину й формують пиломатеріали.

На рамних лісопильних лініях не можна змінити режим пиляння на вимогу індивідуального замовника. За умови використання жорсткого різання обирають певну схему розкроювання деревини визначеної розмірної групи й розміру (в межах одного або двох діаметрів деревини). Із огляду на це розпилювану сировину сортують за діаметром деревини, що приводить до значних затрат.

У наукових роботах Н. К. Клімушева [13] на підставі врахування споживчого попиту наведено прогностичні методи визначення запасів сировини на складах, але їх не взято до уваги, оскільки оперативне управління деревообробним виробництвом через коливання попиту не надало рекомендацій.

Важливим напрямом наукових досліджень є математичне моделювання біопроцесу за допомогою методів теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії масового обслуговування, методів

імітаційного моделювання, теорія надійності, методи теорії оптимізації. Застосовуючи ці методи, можна вирішувати деякі проблеми, пов'язані із завантаженням обладнання на біообробні лінії. Ці питання розглянуто в роботах докторів технічних наук Д. Л. Дудюка [6] й А. А. Камусіна [12].

Поточні дослідження передбачають вивчення питань щодо поліпшення процесу заготівлі біоматеріалів, які потрібно вивчати й надалі з метою визначення продуктивності технологічних ліній комбінованих цехів із певними особливостями надходження сировини.

Важливі результати досліджень оптимізації технологічних процесів на складах приведено в роботах [6, 14]. У них розглянуто питання оптимізації потоків сировини на складах, розглянуто критерії оптимальності.

На ефективність оброблення біомаси значно впливає компонування машин на технологічних лініях. Основи теорії та необхідні розрахунки, а також основні принципи, використані під час обробки машинної системи, подано в роботах [5, 14, 27].

Розробці систем верстатів і устаткування для біообробки в цехах присвячено роботи [10, 12, 18, 27]. Щоб удосконалити технологічні процеси в цехах, необхідно забезпечити надійність машин і устаткування.

Теоретичні основи надійності устаткування розроблено в роботах [12]. Необхідний ступінь надійності біообробних процесів встановлено в роботах [9, 10, 26].

Наприклад, основними вимогами фірми «Тойота» щодо автоматизованих систем є їхня максимальна надійність і висока технологічна гнучкість устаткування за середнього рівня автоматизації [3, 5].

Низку робіт присвячено економічним питанням щодо оброблення біоматеріалів [12, 24].

Відмінною особливістю гнучкого біообробного процесу в комбінованому цеху є можливість обробки в одному цеху в загальних технологічних потоках різних за призначенням сортиментів на різну продукцію з урахуванням зміни попиту на ринку біопродукції. Така організація біообробного виробництва дає змогу унеможливити простоювання устаткування в цеху через нестачу або перебої в постачанні певного різновиду сировини, тобто підвищити коефіцієнт використання застосовуваного обладнання і, як наслідок, збільшити ефективність такого лісообробного виробництва.

Загальний обсяг надходження сировини на обробку в мобільну

установку ($V_{\text{заг}}$) обчислюють за рівнянням:

$$V_{\text{заг}} = V + V_{\text{д}}, \quad (6.1)$$

де V – обсяг обробки основного різновиду сировини, м^3 ;

$V_{\text{д}}$ – додатковий обсяг обробки сировини шляхом використання інших за призначенням сортиментів, м^3 .

Додатковий обсяг обробки сировини обумовлюється величиною зниження завантаження технологічних ліній внаслідок нестачі основного різновиду сировини, продуктивністю технологічної лінії на новому (додатковому) різновиді сортиментів та кількістю технологічних ліній установки:

$$V_{\text{д}} = \delta_{\text{м}} + \Pi_{\text{д}} \cdot n, \quad (6.2)$$

де $\delta_{\text{м}}$ – зменшення завантаженості технологічної лінії установки;

$\Pi_{\text{д}}$ – продуктивність технологічної лінії на додатковому (новому) різновиді сортиментів, м^3 ;

n – кількість технологічних ліній установки.

Значення $\delta_{\text{м}}$ визначають за такою формулою:

$$\delta_{\text{м}} = \frac{1 - C}{\frac{V}{\Pi_{\text{зм}}} + 1 - C}, \quad (6.3)$$

де V – обсяг обробки основного різновиду сировини протягом зміни, м^3 ;

$\Pi_{\text{зм}}$ – змінна продуктивність технологічної лінії на основному різновиді сортиментів, м^3 ;

C – залишок від частки V на $\Pi_{\text{зм}}$, тому

$$0 \leq C \leq 1. \quad (6.4)$$

Отже, додатковий обсяг випуску готової продукції у комбінованій установці внаслідок повного завантаження на ньому верстатів обчислюють за формулою:

$$q_{\text{м}} = V_{\text{д}} \cdot k, \quad (6.5)$$

де k – коефіцієнт виходу готової продукції з додаткового різновиду сировини.

Використання гнучких технологій сприяє більш швидкому переходу від механічної до органічної моделі управління підприємством,

підвищенню кваліфікації й збільшенню компетенцій виробничого персоналу, його автономії й підвищенню відповідальності за результати діяльності підприємства, їх конкурентоспроможності в ринкових умовах господарювання.

Використання нових технологій спричиняє зміну структури виробничих витрат: зростає частка амортизації устаткування і знижується частка прямих затрат праці. На продуктивність виробничих систем насамперед впливає не людський фактор, а рівень модифікації технологічного устаткування.

6.2 Принципи проектування гнучких систем утилізації рослинних відходів

Проведені авторами дослідження і конструкторські розробки [13–30], а також узагальнення [30–39], дали змогу сформулювати основні принципи розроблення гнучких систем утилізації рослинних відходів, а саме:

- модульна побудова пристроїв з окремими знімними або швидко перебудовними робочими підмодулями та оперативний контроль за процесом їхньої роботи;
- мінімальність можливих витрат часу на адаптацію машини до нового технологічного процесу;
- концентрування технологічних операцій та поєднання на одній машині різних технологічних процесів;
- максимально можливе наближення до базового технологічного процесу, що виконується машиною, додаткові технологічні процеси;
- мінімізація кількості машин у технологічному комплексі;
- максимально можлива механізація та автоматизація і переналадження машин до нового технологічного процесу залежно від ринкових умов;
- можливість зонального підналагодження;
- резервування гнучкості з урахуванням морального й фізичного зношування системи протягом певного терміну експлуатації.

Потрібно зазначити, що період адаптації машин, особливо базових, повинен бути якомога меншими, оскільки в іншому разі неможливо буде уникнути простоювання всіх машин у ланцюзі, наприклад внаслідок відсутності дублювальних машин. В ідеалі гнучка система повинна бути здатною до автоматичного або автоматизованого підналагодження і

переналадження в межах свого технологічного потенціалу. До того ж технологічний потенціал гнучкої системи має базуватися на вимогах споживача та враховувати економічну ефективність та перспективи модернізації. Кількість машин у гнучкому комплексі необхідно мінімізувати оскільки, в іншому разі значно ускладнюється технічне і організаційне вирішення завдання.

Важливим під час розроблення гнучкої системи є принцип резервування гнучкості з урахуванням морального і фізичного зношування системи. Гнучкі технологічні системи повинні використовуватися не менше ніж 8 – 10 років. Отже, розробник гнучкої системи, щоб попередити її моральне й фізичне зношування, повинен передбачати гнучкість системи, відповідно до зростаючого рівню науково-технічного прогресу й розвитку запитів ринку.

Гнучкість системи та подальше її вдосконалення залежать від обраної структури, наявності резервів за параметрами та режимами, а також від рівня автоматизації процесів. Під потенційною гнучкістю системи (Γ_n) розуміють відношення фактично закладної і досягнутої гнучкості (Γ_∂) до необхідного значення гнучкості (Γ_{mp}):

$$\Gamma_n = \Gamma_\partial / \Gamma_{mp} \quad (6.6)$$

за таких умов:

$\Gamma_n = 1$ – гнучка система задовольняє завдання;

$\Gamma_n > 1$ – є резерв гнучкості;

$\Gamma_n < 1$ – гнучка система розробці не підлягає.

В гнучкій системі необхідно максимально сконцентрувати операції, оскільки за цієї умови загальна кількість одиниць буде мінімальною, що призведе до підвищення її техніко-економічних показників. Потрібно зауважити, що перехід системи до нового стану слід розглядати, як її вихід у сферу допустимих значень, а не в оптимальну точку простору критерію. Це пояснюється тим, що в реально діючій багатокритеріальній системі один із показників гатунку набуває доцільного значення тільки внаслідок погіршення іншого.

На рисунку 6.1 схематично зображено гнучку систему (схема А) та її змінювання (схема Б), при цьому ΔX_{i1} і ΔX_{i2} – допустимі граничні зони регулювання параметрів. Щоб система змінилася, необхідно затратити час T ; при цьому процес переходу характеризується статичним відхиленням параметра X_0 і величиною Δ . Несталість процесу пояснюється, наприклад,

нерівномірним надходженням «продукту». Основними характеристиками гнучкої системи є час, необхідний на переналагодження, технологічний потенціал, живучість, продуктивність, мінімум затрат на технологічний процес, максимум ефективності. Під живучістю гнучкої технологічної системи розуміють її властивість протистояти шкідливому впливові навколишнього середовища.

Живучість – це категорія, яку можна визначити за формулою:

$$P = \sum_{i=1}^{2^n-1} P(\omega_i), \quad (6.7)$$

де $P(\omega_i)$ – ймовірність перебування системи в стані, за якою можна реалізувати тільки частину технологічного процесу ω_i ;

n – кількість можливих сприятливих станів системи.

За формулою (6.7) зрозуміло, що зі збільшенням n живучість комплексу підвищується. Ефективність змінних модулів можна збільшити, застосувавши коефіцієнт використання змінного модуля ($K_{\text{вик}}$), який визначають за формулою:

$$K_{\text{вик}} = \frac{t_{\text{вик}}}{\sum t_e + t_{\text{нзз}}} \quad (0 < K_{\text{вик}} < 1), \quad (6.8)$$

де $t_{\text{вик}}$ – час використання змінного модуля в гнучкій будові;

$\sum t_e$ – час експлуатації гнучкої будови;

$t_{\text{нзз}}$ – час на переналадку під змінний модуль.

Проналізувавши формулу 6.8 можна зробити висновок про те, що коефіцієнт використання змінного модуля можна збільшити, надавши йому багатофункційності й зменшивши час на переналагоджування.

Проведені дослідження [13–39] доводять, що гнучкість біооброблювального виробництва і як наслідок його здатність адаптуватися до мінливих умов функціонування, можна досягнути шляхом використання під час виробництва основних взаємопов'язаних різновидів гнучкості. Розрізняють технологічну гнучкість і гнучкість, обумовлену приналежністю виробничої системи. Виокремлюють такі різновиди гнучкості: маршрутну, настроювальну, номенклатурну, а також гнучкість обсягів випуску готової продукції у цехах. Класифікацію гнучких біооброблювальних виробництв подано на рисунку 6.2.

Технологічна гнучкість лісооброблювального процесу характеризується можливістю застосування різних варіантів технологічного процесу з метою компенсації відхилень від запланованого графіка виробництва і поділяється на маршрутну й операційну.

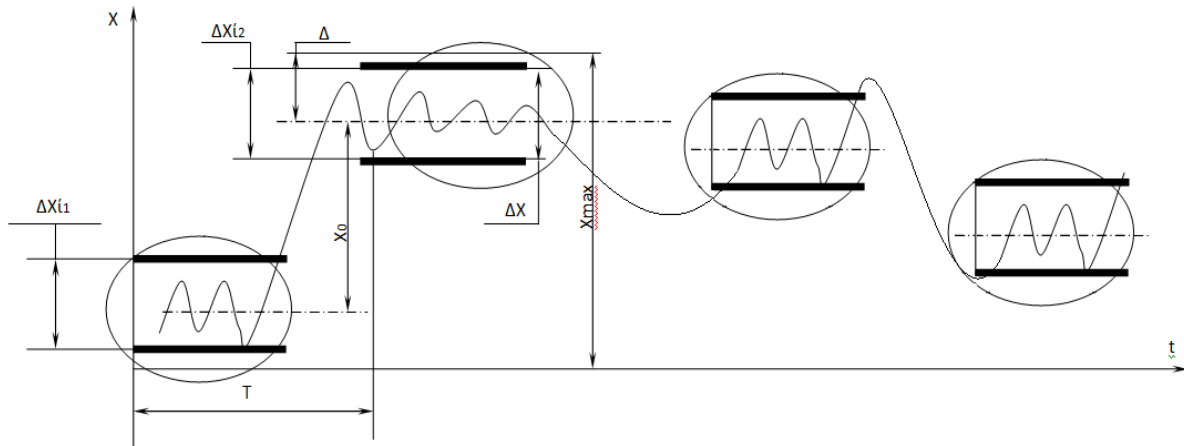


Рисунок 6.1 – Схема аналізу переходу гнучкої системи із одного стану в інший

Багатоваріантні технологічні маршрути використовують для компенсації локальних перевантажень, що виникають на окремих видах обладнання внаслідок виходу з ладу або змінювання розмірно-якісних параметрів оброблюваних лісоматеріалів. Крім того, зміна маршруту обробки може бути наслідком надходження в цех лісоматеріалів різного призначення, що властиво виробничому процесу комбінованих лісооброблювальних цехів. Вибір варіанта технологічного маршруту і перехід від одного варіанта до іншого в процесі обробки лісоматеріалів може здійснюватися системою управління виробництвом автоматично на підставі аналізу поточної інформації про його стан або за командою оператора, який спостерігає за виробництвом [13].

Настроювальна гнучкість передбачає можливість забезпечення ефективного функціонування гнучкого біооброблювального процесу в разі змінної тривалості циклу обробки різних лісоматеріалів.

Шляхом проведення досліджень встановлено, що розмірно-якісні параметри лісоматеріалів, які надходять у цех для обробки, варіюються в досить широких межах й істотно впливають на тривалість циклу їхньої обробки. Тому настроювальну гнучкість необхідно визначати ще на етапі проектування біооброблювального процесу.

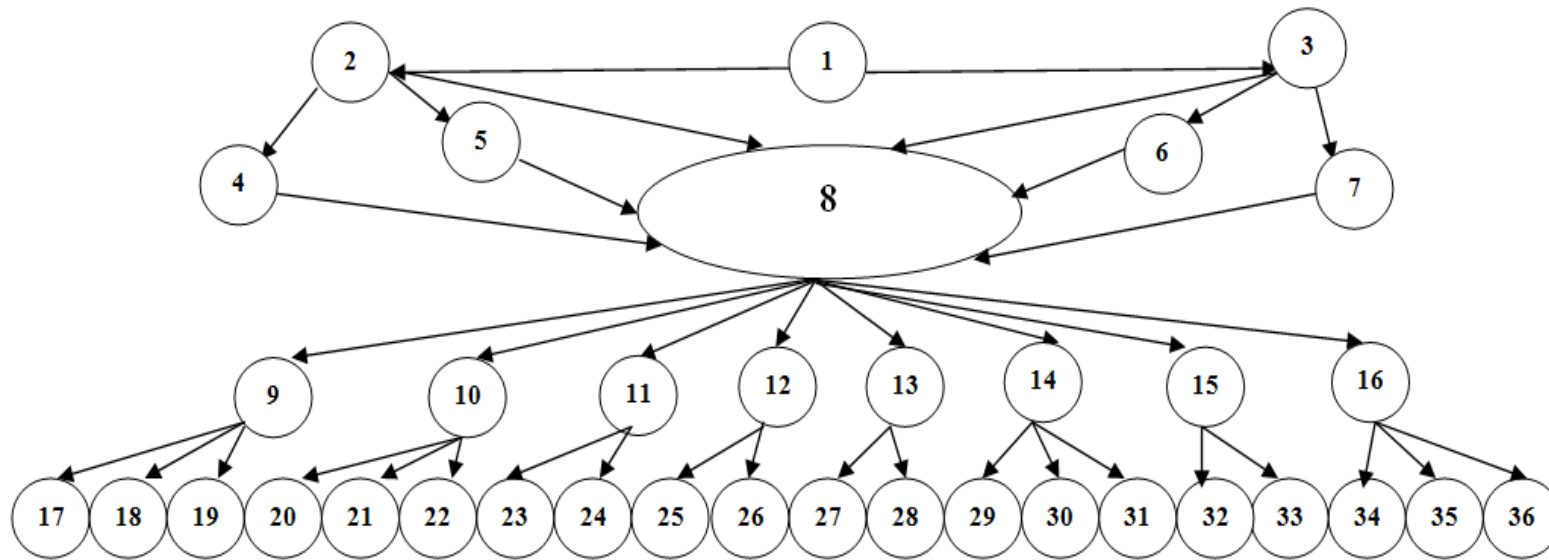


Рисунок 6.2 – Класифікаційно-графова модель гнучкості:

1 – цех переробки; 2 – технологічна гнучкість; 3 – гнучкість виробництва; 4 – маршрутна гнучкість; 5 – настроювальна гнучкість;
 6 – гнучкість номенклатури; 7 – гнучкість за об'ємом випуску готової продукції; 8 – ознаки класифікації; 9 – різновид виробництва;
 10 – рівень комбінування; 11 – різновид комбінування; 12 – спосіб подачі сировини; 13 – кількість технологічних потоків;
 14 – структура технологічних потоків; 15 – спосіб взаємозв'язку з основними технологічними потоками; 16 – тип внутрішньо цехової транспортної системи; 17 – виробництво продукції; 18 – виробництво дров; 19 – виробництво тріски, стружки, брикетів;
 20 – низький рівень комбінування; 21 – середній рівень комбінування; 22 – високий рівень комбінування;
 23 – комбінування сировини з напівфабрикату; 24 – комбінування сировини з немодифікованого матеріалу;
 25 – подача сировини з поділом за видом біоматеріалу; 26 – подача сировини із змішаним подаванням; 27 – однопоточні;
 28 – багатопоточні; 29 – структури з розгалуженням потоків; 30 – структури без розгалуження потоків; 31 – структури з взаємопов'язаними потоками; 32 – системою трансфертів; 33 – використанням кранів; 34 - конвертна транспортна система;
 35 - підвісна транспортна система; 36 - змішана транспортна система.

Гнучкість переналагодження виробництва відображає тривалість переходу біооброблювального процесу до випуску нового різновиду біопродукції в межах можливих варіантів номенклатури і характеризується кількістю переналагоджень протягом певного часу [13].

Гнучкість номенклатури відображає здатність виробництва до оновлення лісопродукції і характеризується кількістю найменувань готової продукції та термінами підготовки нового виробництва. Під час проектування гнучкого дрібносерійного виробництва необхідно розробити маршрутну й операційну технології. Потрібно зазначити, вартість оновлення продукції на технологічних лініях з жорсткою автоматизацією обумовлюється вартістю всієї біопереробної лінії [94].

Взаємозв'язок різних видів гнучкості біооброблювального процесу забезпечує його універсальність та класифікується як біозаготівельне підприємство.

Біооброблювальні цехи поділяються також за різновидом комбінування. У разі комбінування за сировиною, на головний верстат біопереробної лінії надходять різні за призначенням сортименти для їхньої подальшої обробки на загальних верстатах. Такий різновид комбінування забезпечує максимальне завантаження обладнанням. Інший різновид комбінування – за напівфабрикатами – застосовується у багатопотокових цехах, коли окремі технологічні лінії, оброблювальні різні за призначенням сортименти поєднують для передачі частково оброблених лісоматеріалів (напівфабрикатів) з однієї лінії на іншу з метою їхньої подальшої обробки. Такий різновид комбінування застосовують для повної обробки деревини, що надходить у цех [13].

Подаючи сировину в біооброблювальний цех, її розподіляють за різновидами лісоматеріалів або без розподілу (змішана подача). Подача лісоматеріалів в цех без поділу їх за призначенням унеможливає простоювання верстатів унаслідок відсутності сировини, а також дає змогу зменшити майданчик під запас сировини перед цехом шляхом складування всієї деревини в загальні штабелі. Проте в деяких випадках потрібно застосовувати відокремлювальну обробку лісоматеріалів, а отже, подавати їх у цех окремо. Така необхідність виникає в разі потреби отримувати на виході з цеху готову продукцію (наприклад, технологічну тріску) з певної породи.

За кількістю технологічних потоків лісооброблювальні цехи розподіляють на однопотокові й багатопотокові. У багатопоточних цехах

потоки взаємопов'язані, що дає змогу рівномірно завантажити верстати на окремих операціях і скоротити простоювання цеху.

За структурою технологічних потоків комбіновані цехи розподіляють так: без розгалуження потоків, з розгалуженням потоків, із взаємопов'язаними потоками. У технологічних потоках без розгалуження заготовки в процесі оброблення передають від одного верстата до іншого послідовно. Продуктивність таких потоків відповідає найменшій продуктивності верстатів, що до них належить.

У сучасних біооброблювальних цехах як внутрішньоцехові транспортні системи застосовують конвеєрні, підвісні й підлогові транспортні засоби. У біооброблювальному цеху із використанням гнучкого лісооброблювального процесу можуть застосовуватися всі зазначені типи транспортних систем. Однак застосування підвісних транспортних засобів (мостового крана, кран-балки) дає змогу доставити вантаж у будь-яку точку виробничого майданчика цеху, що забезпечує розміщення верстатів у найбільш доцільній послідовності, а також незалежність їхньої роботи.

Отже, біообробний процес комбінованого цеху має складну виробничу структуру. Частина параметрів системи – випадкові величини, які функціонують за різними законами розподілу. Щоб змоделювати подібні системи та визначити параметри їхнього функціонування використовують математичний апарат стохастичної імітації.

Розроблена класифікація гнучких біообробних процесів дає змогу визначити їхні основні характеристики й скористатися нею під час моделювання цих процесів [13].

6.3 Розроблення й дослідження роботи ефективної багатоваріантної гнучкої технології утилізації рослинних відходів

Передусім потрібно було визначити склад паливного брикета і шляхом підбору компонентів забезпечити його підвищену теплоутворювальну здатність за умови зменшення кількості залишкового помелу під час спалювання. Це завдання можна визначити, врахувавши, що на відміну від матеріалу рослинного походження, який містить відходи деревної кори і зв'язувач відходи поліетиленової плівки, відповідно до корисної моделі така технологія передбачає додатковий вміст тиксотропної домішки (відходи виробництва шкіряної сировини) – шкіряний пил. Співвідношення компонентів (у мас. відс.) буде таким:

Матеріал рослинного походження –	93,5-68,0, мас. відс.
Зв'язуюче –	4,7-27,2, мас. відс.
Тиксотропна домішка –	1,8-4,8, мас. відс.

Шкіряний пил, що дає тиксотропний ефект, під час спалювання брикета запобігає витіканню з нього поліетилену – найкалорійнішої частини палива. Таким чином вирішують одне з найважливіших технічних завдань щодо засобів вогневого знешкодження відходів деревини, шкіряної сировини та термопластів.

Склад такого брикетованого палива наведено в таблиці 6.1. Методику приготування композиції для отримання експериментальних зразків, що імітують її елементи – паливні брикети з підвищеними експлуатаційними характеристиками можна проілюструвати прикладами (табл. 6.1.).

Таблиця 6.1 – Склад запропонованого брикетованого палива

Компоненти	Вміст компонентів у паливному брикеті, мас. відс.			Вміст компонентів у контрольному паливному брикеті, мас. відс.	
	1	2	3	4	5
Номер зразка паливного брикета					
Відходи кори лісоматеріалів листяних порід, ГОСТ 9462-88	93,5	80,3	68,0	94,3	67,6
Відходи поліетиленової плівки, ГОСТ 10354-82	4,7	16,1	27,2	4,7	27,0
Шкіряний пил, ГОСТ 939-88	1,8	3,6	4,8	1,0	5,4

Як приклад першим запропоновано змішати у змішувачі з Z-подібною мішалкою 93,5 мас. відс. подрібнених відходів деревини (кори), розміри частинок яких становить не більш ніж 25 мм, а вологість – не більше ніж 18 % з 4,7 мас. відс. відходів поліетиленової плівки (розмір частинок більше 6 мм) та 1,8 мас. відс. шкіряного пилу (розмір частинок 20–55 мм). Суміш підігрівають за допомогою гарячого повітря (140–160 °С) 2–5 хв. і завантажують у прес-форму, зачиняють по контуру та пресують під тиском 5,0–15,0 МПа протягом 0,3–0,5 хв. з охолодженням, звільняють від тиску, відчиняють і виймають готовий брикет.

Зразки брикета 2–5 виготовляють аналогічно до прикладу 1, вони різняться тільки кількістю компонентів для отримання паливного брикета (табл. 6.1). Властивості кожної композиції (приклади 1–5 табл. 6.1) наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Властивості композицій порівняно з відомими

Властивості	Показники для складу композиції					
	Пропонованої ¹					Відомої ²
	1	2	3	4	5	
Щільність, кг/м ³	750	795	820	725	810	740
Водопоглинання, % (24 год, дист. вода, 20 °С)	47	12	4	56	7	51
Руйнівна напруга, МПа						
– під час розтягування	17	19	21	14	15	11
– під час вигинання	21	24	29	17	19	9
Крихкість, %	6	4	0,5	8,5	7	6
Теплоутворювальна здатність, кДж/кг	18 670	21 810	27 690	17 230	24 980	17 440
Зольність, %	6	6,5	8	11,5	12,5	13

¹ Зразки брикетів отримані при тиску пресування 10 МПа.

² Середні значення показників відомої композиції.

Наявність в паливному брикеті тиксотропної домішки шкіряного пилу дає змогу підвищити його теплотворну здатність та зменшити вихід попелу під час спалювання. Виходити за межі нижнього (композиція 1) і верхнього (композиція 3) значень вмісту шкіряного пилу (1,8–4,8 мас. відс.) у паливній композиції недоцільно, оскільки в такому разі властивості останньої погіршуються. Таким чином, запропонована композиція для отримання паливного брикета забезпечує якіснішу переробку заготовлених відходів деревини й поліетиленової плівки в разі отримання підвищеної теплотворної здатності в умовах спалювання і сприяє утилізації та знешкодженню відходів шкіряного виробництва. Створюються передумови для реалізації нового різновиду твердого палива з мінімальним виходом залишку попелу під час спалювання, унаслідок чого вдосконалюється процес виробництва та покращуються умови праці під час отримання теплової енергії у промисловості, комунальному господарстві, експлуатації побутових печей населенням та використанні інших енергетичних установок малої потужності.

Гнучку мобільну установку доцільно використовувати для переробки відходів безпосередньо на місці їхнього утворення. Бажано такі установки (патент № 65904) встановити на тракторі (кл. 1.4–2 т.) з трьома лініями переробки біомаси (рис. 6.3).

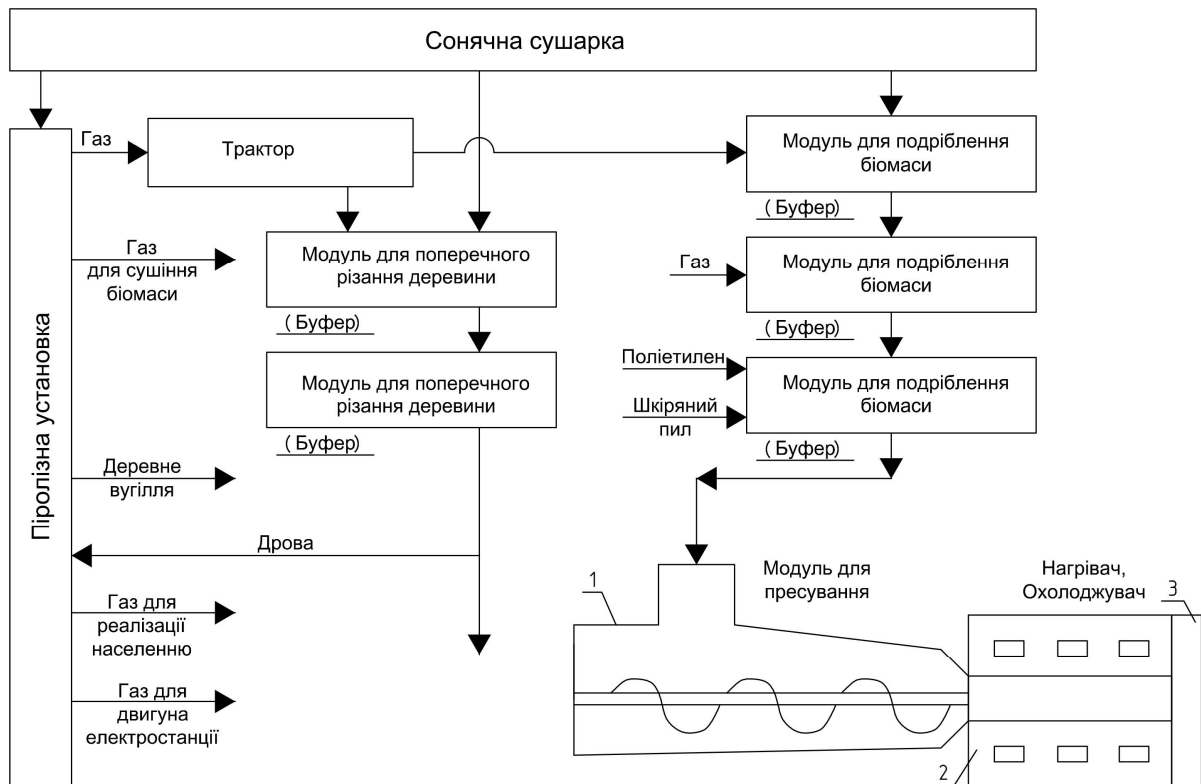


Рисунок 6.3 – Схема перероблення та утилізації деревних і рослинних відходів на тверде біопаливо: 1 – шнековий робочий орган для брикетування біомаси; 2 – охолоджувач; 3 – закриття

Перша лінія – виробництво дров. Друга – виробництво євродров (сумішевих брикетів). Третя піролізна – виробництво газу та деревного вугілля. Відповідно до поставленого завдання – (виробництва дров) установку оснащують модулем для поперечного різання неліквідної деревини та модулем для розколювання полін. Друга лінія установки повинна оснащатися модулем для подрібнення та модулем для сушіння біомаси. Для виготовлення євродров потрібен модуль для пресування. Для забезпечення оптимального режиму роботи необхідно використовувати допоміжні модулі: МЗБ – модуль змішування біомаси; МЗ – модуль зневоднення біомаси; МТ – модуль для збирання тирси; МЩ – модуль пакування щепи; МБ – модуль пакування брикетів; МД – модуль пакування дров; МТр – модуль транспортування; МУ – модуль управління.

Основними станами виготовлення паливних брикетів із рослинної та деревної сировини є її подрібнення, сушіння, брикетування, охолодження та пакування продукції. Кожен із цих станів є енергоємним. Варіанти технологічних маршрутів обробки рослинних та деревних відходів представлено на рисунку 6.3.

Всі зазначені модулі (основні та допоміжні) установлюють на рамі 1, яка навішується за трьохточковою схемою на задній начіпній пристрій трактора з маніпулятором. Модуль поперечного різання деревини (рис. 6.4) складається із пильного диска (2), закритого кожухом з накопичувачем тирси рами насування лотка (3), для стовбура неліквідної деревини та напрямних (4). Модуль для розколювання деревини – із гідроциліндра (5), повзун (6) та ножа (7). Замість цього модуля легко монтується модуль для зневоднення біомаси та використовується гідроциліндр 5.

Маршрут виробництва дров такий (рис. 6.4): оператор кладе стовбур неліквідної деревини 1,5–2 м завдовжки на лоток (3) та подає його на пильний диск (2). Відрізають цурпалок (8), який під дією сили тяжіння падає за напрямною (4) між повзуном (6) та ножем (7). У разі подачі оливи до гідроциліндра (5) повзун тисне на чурак (8) та насуває його на ніж (7) і розколює на дрова. Гідроциліндр можна використовувати не тільки для розколювання деревини, але й для зневоднення біомаси (модуль зневоднення біомаси). Сушіння пиломатеріалів, як ключовий технологічний процес характеризується значною енергомісткістю, що спонукає до пошуку шляхів її зниження. Досвід свідчить про високу ефективність сонячних сушарок із огляду на інтенсивність процесу сушіння, можливість отримання достатньо низької кінцевої вологості матеріалу і його високу якість.

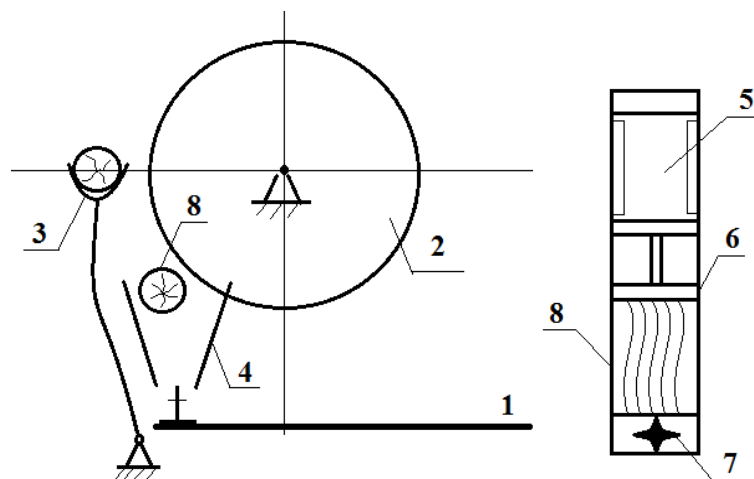


Рисунок 6.4 – Лінія виготовлення дров:

МПРД – модуль для поперечного різання деревини; МРД – модуль для розколювання деревини; 1 – рама; 2 – пильний диск; 3 – лоток для деревини; 4 – напрямні; 5 – гідроциліндр; 6 – повзун; 7 – ніж

Маршрут виготовлення дріб'язку із рослинної та деревної сировини такий: сировина надходить у модуль подрібнення (МП) і подається в

модуль – сушник (МСБ), а потім у модуль – змішувач. Біомасу змішують у змішувачі за допомогою Z-подібної мішалки.

Суміш підігрівають гарячим повітрям при 140–160 °С 2–5 хв та завантажують у прес-форму, зачиняють по контуру та пресують під тиском 5,0–15,0 МПа протягом 0,3–0,5 хв з охолодженням, звільняють від тиску, відчиняють та виймають готовий брикет.

Можна подавати щепу в модуль пресування (МП) при сухій біомасі.

За допомогою регульованого шнекового транспортера біомасу подають до входу піролізної установки (третя лінія) У процесі піролізу виділяються піролізні гази, які подаються в топку піролізної установки і згорають. Здійснюючи процес піролізу, далі їх подають до трактора, на реалізацію для населення, для сушіння біомаси та до двигуна електростанції. Цей процес відбувається безперервно і не потребує використання додаткового палива. Унаслідок процесу піролізу утворюється деревне вугілля.

Для зменшення простоювання ліній між їхніми модулями встановлюють буферні пристрої.

6.4 Оцінювання впливу тривалості інтервалів часу надходження відходів на продуктивність технологічної лінії

Дослідження доводять [38], що на місця складування відходів на прибудинковій території потрапляє велика кількість вторинної деревини. На рисунку 9.5 зображено графік накопичення відходів за місяцями на одній прибудинковій території м. Харків. Підсумувавши дані за містами України в 2013 році, отримаємо більше ніж 2 млн. т уживаної деревини.

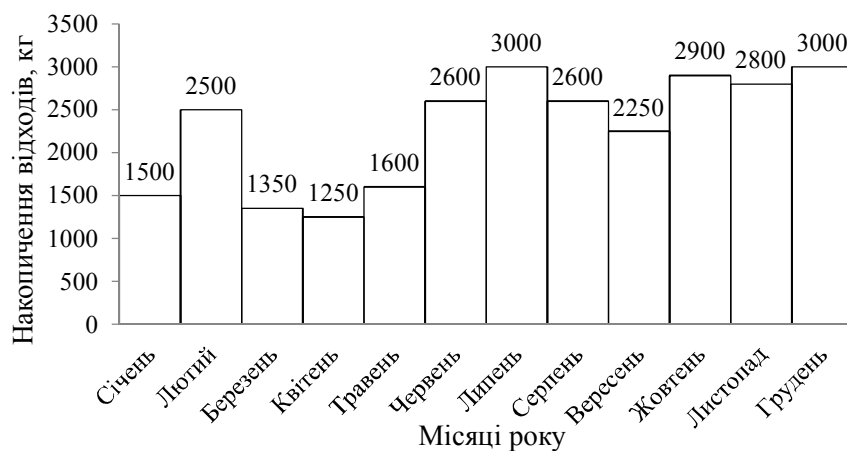


Рисунок 6.5 – Графік накопичення відходів вторинної деревини за місяцями на окремо взятій прибудинковій території м. Харків

Кількість та енергетичний потенціал біомаси обчислюють, ураховуючи коефіцієнт доступності. Різновиди вторинної деревини утворюються за місяцями: січень, лютий – ялинки та старі меблі (ДСП + ДВП); усі інші місяці року – старі вікна та двері, підлога, меблі, обрізки різної деревини, ящики, піддення.

У вживаній деревині можуть міститися антипірени, антисептики, фарби, лаки, клей, штучні плівки, метал, скло та інші компоненти. Основним критерієм придатності вживаної деревини, який визначає напрямок її подальшого використання, є вміст у ній шкідливих речовин, внесених із захисними сумішами для деревини, а також із опоряджувальними сумішами. Так, відходи виробництва меблів і деревних композиційних матеріалів, крім лігноцелюлозного матеріалу, містять клей, лак, плівки тощо в кількості 5–20 %. Таким чином, використання вживаної деревини передбачає, насамперед, її сортування, що приводить до додаткових матеріальних витрат. Саме тому в умовах реалій економіки України ця група потенційних деревних ресурсів залишається невикористаною. Сортувати вживану деревину за додаткову плату можуть працівники ЖКГ, але для цього необхідно забезпечити їх спецтехнікою.

Потрібно зауважити, що на прибудинковій території, крім вжитої деревини, накопичується і природна біомаса: листя дерев, трава, сухі гілки і гілки, які обрізають у процесі догляду за деревами. Цю біомасу теж потрібно переробляти й утилізувати, оскільки їхнє накопичення негативно впливає на санітарний стан довкілля.

Цю проблему можна вирішити за допомогою мобільної установки, установленної на трактор (кл. 1.4÷2 т) з гнучкими технологіями переробки та утилізації рослинних і деревних відходів. Мобільна установка повинна мати такі модулі: поперечного різання та розколювання деревини, сушіння біомаси з використанням енергії відпрацьованих газів двигуна трактора, подрібнення та пересування біомаси.

Під час роботи необхідно оцінити вплив продовжуваності інтервалів часу надходження біомаси до модуля на продуктивність роботи. Проміжок інтервалів роботи установки та інтервалів надходження відходів на обробку є випадковими величинами. Математичний аналіз експериментальних даних засвідчив, що інтервали надходження сортименту на мобільну установку можуть бути апроксимовані законом розподілу Єрланга (з параметром $k = 9$). Під час імітації гнучкого технологічного процесу на установці було встановлено ступінь впливу параметрів Єрланга (k) на продуктивність роботи технологічної лінії.

6.5 Вплив дозавантаження обладнання цеху деревною сировиною від рубок догляду за лісом (парком)

У процесі досліджень об'єктом спостережень було обрано пиловочні колоди, що залишилися на місці рубок після перевірки їх на придатність до використання. В деяких випадках вимірювали параметри сировини від рубок проріджування або реконструкції (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Характеристика спостережень пиловочних колод на місці рубок після перевірки їх на придатність до використання

Підприємство	Рік спостережень	Загальна кількість спостережень	Кіл-сть серій	Середнє значення замірів у серії
Старосалтівське лісництво	2011	983	12	83
Вовчанське лісництво	2011	212	2	105

На підставі отриманих даних було проведено перевірку гіпотези про відповідність експериментальних спостережень за розподілом діаметрів і пиловочних колод, отриманих під час проведення рубок догляду за лісом, і логнормального розподілу за критерієм χ^2 Пірсона при п'ятивідсотковому рівні значущості. Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Графіки емпіричних і теоретичних розподілів діаметрів колод останніх етапів рубок догляду за лісом та змінювання коефіцієнта завантаження обладнання цеху за різного складу деревної сировини наведено на рисунках 6.6, 6.7. Коефіцієнт завантаження обладнання щодо частки сировини від рубок догляду (А) у загальному обсязі оброблення деревини в цеху подано на рисунку 6.6.

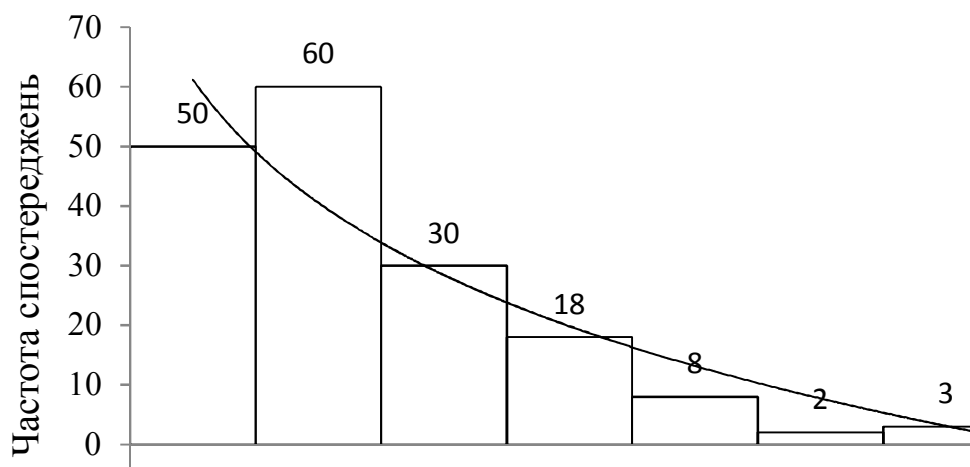


Рисунок 6.6 – Гістограма і теоретичний логнормальний розподіл діаметрів гілок відповідно до рубок догляду в Старосалтівському лісництві

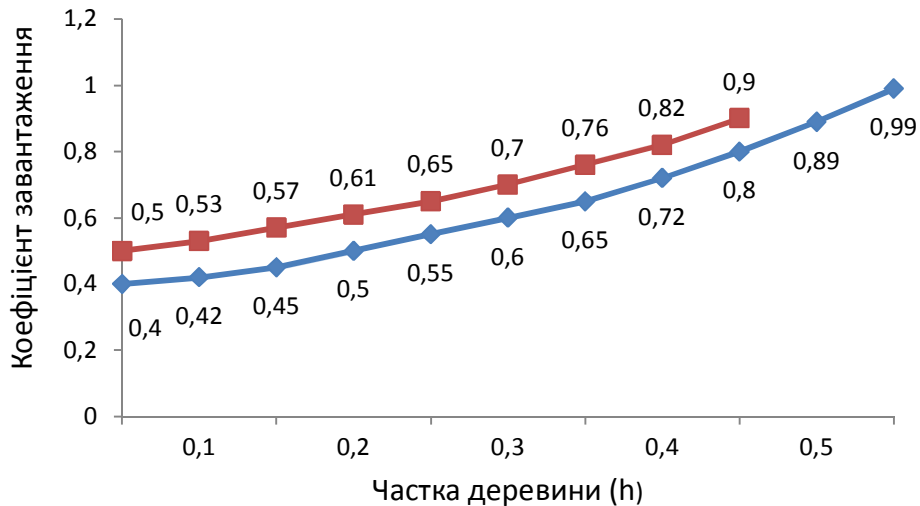


Рисунок 6.7 – Змінювання коефіцієнта завантаження обладнання цеху на різних складах деревної сировини

Таблиця 6.4 – Основні характеристики експериментальних спостережень за розподілом діаметрів і пиловочних колод, отриманих під час проведення рубок догляду за лісом, і логнормального розподілу за критерієм χ^2 Пірсона при п'ятивідсотковому рівні значущості

Підприємство	Номер серії	Кількість ступенів свободи	Оцінка параметрів розподілення		Розраховуване χ^2	Табличне χ^2
			Середнє логарифмів діаметрів	Середньо-квадратичне відхилення логарифмів діаметрів		
Старосалтівське лісництво	1	7	2,969	0,336	6,762	14,1
	2	6	2,707	0,347	11,806	12,6
	2	5	2,893	0,332	13,943	11,1
	4	6	2,987	0,354	5,744	12,6
	5	5	2,636	0,335	6,64	11,1
	6	7	3,106	0,317	2,428	14,1
	7	5	2,76	0,338	2,43	11,1
	8	5	2,858	0,275	7,794	11,1
	9	6	2,821	0,354	16,728	12,6
	10	4	2,785	0,252	2,91	9,5
	11	6	2,839	0,266	4,22	12,6
	12	5	2,786	0,297	1,241	11,1
Вовчанське лісництво	1	9	2,844	0,234	8,549	16,9
	2	9	2,689	0,302	11,004	16,9

Характеристики паливних брикетів можна вдосконалити, застосувавши фізикомеханічний вплив на їх компоненти.

6.6 Економічна ефективність та екологічні наслідки промислового виробництва біоенергії

Для виготовлення екологічно чистого твердого біопалива останнім часом доволі часто використовують деревну масу (в умовах значного подорожчання природного газу), оскільки це дає змогу отримати додаткову теплову енергію з поновлювальних джерел сировини (відходів деревини). До того ж вартість твердого біопалива (наприклад пелет) у перерахуванні на одиницю енергії (ГДж) менша, ніж вартість природного газу, у 2,3–2,6 рази. Потенційні ресурсні можливості енергетичної деревної біомаси в Україні (за умови її повного використання) становить 6,5–7,0 млн м³. За інформацією Держлісагентства України (2010 рік) за еквівалентною теплотворною здатністю 4,0 м³ деревної біомаси замінюють 1000 м³ природного газу.

На виробництво 1 т пелет витрачають 4–5 м³ деревних відходів. Під час спалювання 1000 кг пелет виділяється стільки теплової енергії, скільки в разі спалювання таких різновидів палива: 1600 кг деревини; 500 кг кам'яного вугілля; 480 м³ газу; 500 л дизпалива; 675 л мазуту.

За даними Державної служби статистики України, протягом січня-червня 2015 року вітчизняні підприємства експортували 56,45 тис. т деревних пелет, що у вартісному вираженні становить 5,82 млн. дол.

Наявність в Україні значної сировинної бази твердого біопалива уможливорює його використання для забезпечення енергозбереження.

Технологічний процес виготовлення складається з таких послідовних етапів: подрібнення, сушіння і пресування деревної маси.

Під час розрахування ефективності переробки деревини на тверде біопаливо потрібно враховувати, що для отримання однієї тонни сухої подрібненої біомаси необхідно витратити приблизно 400–500 кВт електроенергії, тобто спалити 200 кг подрібненої деревної маси із природною вологістю. До того ж середні витрати електроенергії на виготовлення однієї тонни брикетів становлять 60–80 кВт, а на одну тонну гранул – 90–110 кВт. Технологічний процес пресування становить приблизно 20 % від усіх витрат.

Для розрахування економічної ефективності виробництва твердого біопалива з відходів деревини потрібно визначити показник, який відображає співвідношення рівня витрат та очікуваних результатів. Економічний ефект визначається на підставі встановлених цін і тарифів на

продукцію і послуги, встановлених чинних законодавством нормативів оплати за трудові та природні ресурси, чинних нормативів відрахувань із заробітної плати тощо.

Економічний ефект (E) розраховують за формулою:

$$E = P - B, \quad (6.9)$$

де P – вартісна оцінка результатів виробництва за розрахований період;

B – вартісна оцінка витрат на виробництво продукції за розрахований період.

Для визначення періоду, необхідного для відшкодування витрачених коштів на організацію виробництва, розраховують термін окупності витрат (T_o). Його визначають як відношення капітальних витрат (B_k) до економічного ефекту (E) (чистого прибутку) за формулою:

$$T_o = \frac{B_k}{E}. \quad (6.10)$$

Зрозуміло, що сума всіх витрат не повинна перевищувати прибуток від реалізації продукції. Тільки в такому разі виробництво можна вважати рентабельним.

Як вихідні дані для розрахування собівартості виробництва твердого біопалива, прибутку та терміну окупності проекту необхідно дотримуватися таких умов:

1. Продуктивність установки – 100 кг/год.
2. Установка працює в одну зміну – 8 год/добу, 22 дн. на місяць, 12 міс. за рік .
3. Середня вартість сировини – 100 грн/м³.
4. Вартість пелет – 2300 грн./т.
5. Витрати сировини – 4 м³ деревних відходів на 1 т пелет.

Капітальними витратами вважають:

- вартість трактора МТЗ-80 – 280 тис. грн;
- вартість установки з виробництва пелет – 150 тис. грн.

У процесі калькулювання технологічної собівартості виробництва твердого біопалива обов'язковими є такі чинники:

1. Сировина і матеріали.
2. Паливо на технологічні цілі.
3. Основна заробітна плата.
4. Додаткова заробітна плата.

5. Нарахування на заробітну плату.
6. Витрати на утримання та експлуатацію устаткування.
7. Інші виробничі витрати.

Сировиною є також деревні відходи, вартість яких теж потрібно враховувати. Базовими для розрахунків є технічно обґрунтовані норми витрат сировини і матеріалів. Їхню вартість установлюють на підставі ціни на придбання, включаючи витрати на транспортування, зберігання і доставку. Вартість сировини й матеріалів власного виробництва в окремих випадках враховують за їхньою виробничою собівартістю, але в разі розрахування нормативів – за їхніми оптовими цінами.

Паливо і енергія на технологічні цілі становлять усі різновиди палива та енергії, які безпосередньо витрачають у технологічному процесі. До них належить і вартість палива, що витрачається під час виробництва твердого біопалива (пелет). Двигун трактора МТЗ-80 працює на 80 % від газогенератора, на 20 % – на дизельному пальному (ДП). Ця вартість встановлена на підставі кількості витраченого палива та цін на нього.

Вартість палива встановлена на підставі ринкових цін (2015 рік): ДП – 17,00 грн/л, газ – 8,00 грн/л.

До основної заробітної плати належать витрати на виплату заробітної плати, обчисленої відповідно до прийнятої системи оплати праці та трудомісткості виконаних робіт. Систему оплати праці становлять тарифні ставки (оклади) і відрядні розцінки для робітників, зайнятих на виробництві.

Розмір нормативу тарифної заробітної плати робітників визначають як добуток числового значення денної тарифної ставки певного виду робіт або середньої тарифної ставки робітників, які обслуговують установку, на нормативні витрати праці. Потрібно зазначити, що в лісовому господарстві тарифікується не рівень професійних умінь (кваліфікація) робітника, як в інших галузях, а складність (розряд) виконуваних робіт.

Тарифні ставки тракториста і робітників розраховано на підставі чинних нормативів тарифної заробітної плати, затверджених Галузевою угодою між Державним агентством лісових ресурсів України і профспілкою працівників лісового господарства України на 2013-2015 роки.

Додаткову заробітну плату становлять витрати на виплату виробничому персоналові лісогосподарських підприємств додаткової заробітної плати.

Додаткова заробітна плата становить витрати, нараховані за працю понад установлені норми, за трудові успіхи та винахідливість і за особливі

умови праці. Вона включає доплати, надбавки, гарантійні й компенсаційні виплати, передбачені законодавством, премії за виконі виробничі завдання і функції. Додаткову заробітну плату встановлено на рівні 20 % від основної заробітної плати для тракториста-машиніста, і 15 % – для робітників.

Додаткову заробітну плату визначають за нормою, що встановлюють у відсотках до основної заробітної плати, відповідно до встановлених умов використання праці робітників на підприємствах лісового господарства у певних умовах виробництва. Суму її визначають як добуток суми основної заробітної плати на середні норми додаткової заробітної плати, встановлені Кодексом законів України про працю, іншими актами законодавства України з дотриманням норм і гарантій, передбачених законодавством, генеральною та галузевою угодами.

До нарахувань на заробітну плату належать відрахування на пенсійне забезпечення, на соціальне страхування, на випадок безробіття, на індивідуальне страхування. Ці відрахування здійснюють за встановленими нормами, згідно із законодавством, від сум, які підлягають обкладанню прибутковим податком, і виплат на оплату праці працівників, зайнятих на виробництві. У розрахунках рівень нарахувань прийнято у розмірі 37,2 %.

До витрат на утримання і експлуатацію устаткування належать:

- витрати на повне відновлення основних виробничих фондів та капітальний ремонт як амортизаційні відрахування від вартості машин, механізмів, транспорту та інструментів зі складу основних фондів, що належать підприємству, а також тих, що перебувають у користуванні підприємства за умовами оренди;
- витрати на проведення поточного ремонту, технічного огляду і технічного обслуговування устаткування;
- інші витрати, пов'язані з утриманням та експлуатацією устаткування.

Витрати на утримання та експлуатацію устаткування калькують і враховують окремо за видами машин, механізмів тощо. Норматив амортизації встановлено відповідно до Переліку основних засобів сільськогосподарських підприємств з розподілом їх на групи. Для трактора і установки з виробництва твердого біопалива обрано норму амортизації у розмірі 15 %, норматив на технічний догляд та поточний ремонт становить 5 % балансової (залишкової) вартості із розрахунку на календарний рік .

Витрати на технічний догляд і поточний ремонт включають вартість запчастин, оплату трудових витрат щодо виконання ремонтних та

допоміжних робіт.

Інші виробничі витрати становлять ненормовані витрати, пов'язані з виконанням робіт щодо встановленого технологічного процесу.

Вони включають витрати, не враховані в розглянутих вище нормативах, а саме: вартість малоцінних та швидкозношуваних предметів, інструментів та реманенту, допоміжні матеріали, що використовують безпосередньо на виробництві тощо.

Нормативи оплати інших основних витрат установлюють у відсотках до основної і додаткової заробітної плати робітників у межах 10 % .

Сума витрат, визначених за наведеними вище статтями калькуляції, становить технологічну собівартість виробництва продукції.

У таблиці 6.5 наведено розрахунок собівартості виробництва паливних пелет, яка становить 1989,12 грн/т. У таблиці 6.6 наведено розрахування простого терміну окупності капітальних витрат на виробництво паливних пелет.

Термін окупності капітальних витрат на виробництво паливних пелет з відходів деревини становить 10,5 місяців.

Головними перевагами використання відновлювальних джерел енергії, до яких належить рослинна сировина та відходи, є їх висока теплотворна здатність, дешевизна і екологічна безпека, оскільки під час згорання утворюється мінімальна кількість попелу і шкідливих речовин.

Різноманітність видів і способів отримання біомаси дає змогу задовольнити енергетичні потреби щодо так званої «чистої енергії» на місцевому рівні. Окрім екологічних переваг використання біомаси як носія енергії, потрібно враховувати економічні та суспільні аспекти розвитку місцевих громад.

Аргументами на користь використання біомаси з метою енергозбереження є такі:

- різноманітність простих методів отримання енергії з біомаси, що не потребують зайвих трудовитрат;
- біомасу отримують і використовують без значних технологічних інвестицій;
- накопичена у біомасі енергія є найменш витратним джерелом відновлюваної енергії;
- переорієнтація частини сільськогосподарських площ на отримання біомаси;
- децентралізація виробництва енергії тощо.

Таблиця 6.5 – Розрахунок собівартості паливних пелет

№ з/п	Показники	Кількість	
	Продуктивність установки, кг/год	100	
1	Виробництво пелет, т	Кількість тонн за зміну (8 год.)	0,8
		Кількість тонн за місяць (22 дні)	17,6
		Кількість тонн за рік (264 дні)	211,2
	Капітальні витрати, тис. грн.	430	
2	Вартість трактора МТЗ-80, тис. грн.	280	
3	Вартість установки по виробництву твердого біопалива, тис. грн	150	
	Поточні витрати		
4	Кількість змін за добу	1	
5	Кількість робочих годин за зміну	8	
6	Вартість сировини, грн/м ³	100,00	
7	Необхідний обсяг сировини для виробництва 1 пелет, м ³	4,0	
8	Вартість сировини за зміну, грн	320,00	
9	Витрати пального за зміну (усього), л	77,3	
	Зокрема: дизельного пального (20 %), л	15,46	
	газу (80 %), л	61,84	
10	Вартість дизельного пального, грн/л	17,00	
11	Вартість газу, грн/л	8,00	
12	Кількість робітників, ос.	4	
	Зокрема: тракторист-машиніст,	1	
	робітники	3	
13	Місячна тарифна ставка тракториста-машиніста (5 розряд), грн	2 836	
14	Місячна тарифна ставка робітника, грн	2 784	
15	Основна заробітна плата в місяць, грн (усього)	11 188	
16	Додаткова заробітна плата в місяць, грн:		
	тракториста (20 %)	567,20	
	робітників (3 ос*, 15 %)	1252,80	
	Зокрема заробітна плата за місяць (основна + додаткова), тис. грн (усього)	13,00	
17	Нарахування на заробітну плату (37,2 %), тис. грн	4,836	
18	Витрати на утримання й експлуатацію машин і устаткування (20 %), тис. грн/рік	86,00	
19	Інші витрати (10 % від повної заробітної плати), тис. грн	1,3	
	Всього витрат, грн.: за зміну	1 591,29	
	за місяць	35 008,50	
	за рік	420 102,00	
	Собівартість пелет, грн./т	1989,12	

Таблиця 6.6 – Окупність капітальних витрат

Показники	Кількість
Собівартість пелет, грн/т	1 989,12
Ціна пелет (з ПДВ) , грн/т	2 760,00
ПДВ	460,00
Прибуток, грн/т	310,88
Податок на прибуток, %	18
Чистий прибуток, грн/т	254,92
Чистий прибуток за місяць, грн	4 486,59
Капітальні витрати, грн	430 000
Термін окупності витрат, міс.	10,5

З погляду екологічної безпечності перевагою біопалива є значне зменшення емісії SO₂ і CO₂, залишку попелу після спалювання, а також можливість використання попелу як добрива.

Потрібно зауважити, що існують певні недоліки та обмеження щодо використання біомаси. До них належать неможливість забезпечити споживачів достатньою кількістю біомаси, необхідність транспортувати її на великі відстані; неоднорідність якісних характеристик біомаси; потреба значних коштів на її отримання й переробку; обмеження щодо надання преференцій на зменшення емісії вуглекислого газу тощо.

Аналізуючи екологічні характеристики деревних брикетів, щонайперше потрібно порівняти теплотворну здатність брикета з іншими різновидами палива (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – Порівняльна характеристика теплотворної здатності різних видів палива

Різновид палива	Теплотворна здатність, МДж/кг
Дерево (тверда маса, волога)	10
Дерево (тверда маса, суха)	12
Буре вугілля	16
Брикети з відходів деревини	18
Чорне вугілля	20
Природний газ	32

Дані таблиці свідчать про те, що теплотворна здатність деревного брикета співвідносна із здатністю вугілля і становить 4300–4500 ккал/кг. Продукти згорання кам'яного вугілля значно забруднюють атмосферу. Уміст сірки у вугільному шлаку в 30 разів більший, ніж у брикетному попелі, і шлаку утворюється (що потребує утилізації) у 20 разів більше. У дизельному паливі й мазуті містяться майже всі елементи таблиці Менделєєва. Під час їхнього спалювання виділяється величезна кількість шкідливих для людського організму речовин зокрема канцерогенів.

У таблиці 6.8 наведено рівні забруднювальних речовин, які виділяються в атмосферу під час спалювання різних видів палива. Очевидно, що паливо з деревини (насамперед пелети й брикети) забруднюють атмосферу менше, ніж мазут (особливо вугілля), оскільки ефект щодо викидів парникових газів, зокрема CO₂ практично нульовий, а застосування деревного палива як енергоносія повною мірою відповідає положенням Кіотського протоколу, який стосується обмеження і зменшення викидів парникових газів та видалення вологи.

Обсяг викидів забруднювальних речовин під час спалювання брикетів з деревини залежить не тільки від його різновиду й складу, але й від вологості і коефіцієнта корисної дії котла. Отже, ефективне використання деревного палива обумовлюється його підготовкою, ураховуючи максимальне видалення вологи. Ці вимоги, зокрема, задовольняє таке деревинне паливо, як пелети й брикети.

Деревні гранули є енергетично стабільним, безвідходним і екологічно чистим різновидом біопалива. У Європі широко застосовують паливні гранули. Їхнє використання підтримують міжнародні екологічні фонди (NEFCO, SIDA та ін.), а також громадські організації і застосування біопалива є національним пріоритетом. Брикети й пелети використовують, якщо потрібно вирішити як глобальні, так і локальні екологічні проблеми. Однією із найбільш значущих серед глобальних проблем є зменшення парникового ефекту і ризику утворення кислотних опадів унаслідок зменшення викиду діоксиду сірки. Зі свого боку зменшення концентрації кислотних опадів призводить до знищення дефоліації рослин і, як наслідок, – до збереження лісів. Деревні гранули, як похідний продукт деревини, є відновлюваною сировиною.

Таблиця 6.8 – Рівні викидів продуктів спалювання різних видів палива

Вид палива	Викиди забруднювальних речовин у повітря без систем очищення, тон на 1 тис. т палива				
	CO ₂	NO ₂	SO ₂	Тверді часточки (пил неорг.)	Усього
Природний газ	1,18	3,52	0,00	0,00	4,70
Деревинні брикети, пелети	4,68	9,31	0,28	4,11	17,69
Дерешина дров'яна	4,9	9,4	0,3	4,3	18,9
Тирса деревинна	5,0	9,6	0,5	5,0	20,0
Деревні відходи, обрізки	5,2	9,9	0,4	5,2	20,7
Швидкоросла деревина	4,8	9,5	0,0	8,4	22,7
Піски, сучки, кора	5,6	11,4	0,8	13,4	31,3
Мазут	5,20	5,20	35,30	0,30	45,90
Брикет торф'яний	8,04	26,81	3,00	13,02	50,87
Кам'яне вугілля	9,58	63,56	9,20	65,32	147,66

Важливою локальною проблемою є зменшення обсягів і екологічно безпечне використання відходів, а також зниження ризику надзвичайних ситуацій під час транспортування палива, унаслідок чого забруднюється довкілля. Небезпека вибухів, аварій, шкідливих викидів є досить незначною.

Екологічно безпечним є використання брикетів і пелет для приватних споживачів. Брикети й пелети використовують як паливо для коминів, печей і спеціальних котлів, оскільки вони забезпечують рівномірне й тривале горіння полум'я. Під час їхнього спалювання унеможлиблюється підвищення концентрації сірки у повітрі в приміщені, а також у приземному шарі повітря і в ґрунті навколо помешкання. Низька корозійна агресивність димових газів, що утворюються під час спалювання гранул, дає змогу конденсувати вологу димових газів і вивільняти приховану теплоту пароутворення, а також збільшити термін експлуатації котельного устаткування. Після спалювання деревних гранул утворюється незначна кількість відходів (1–3 %), які можуть використовуватися як добриво, особливо якщо врахувати те, що майже не містять сірки.

ВИСНОВКИ

1. Україна як аграрна держава має значний потенціал для розвитку власного ринку біопалива, що надзвичайно важливо в умовах нестабільності світової економіки та росту цін на традиційні енергоносії.

2. Серед усього різноманіття місцевих видів палива насамперед необхідно звертати увагу на використання найпоширеніших серед них у регіоні, тобто тих, що на тепер і в перспективі мають найбільший потенціал. Рослинні і деревні відходи мають хороші енергетичні характеристики, є сезонними і утворюються в певних районах.

3. Брикетування відходів сприяє вирішенню проблем зберігання сировини незалежно від пори року і особливостей складування, перевезення, автоматизації завантаження в котли.

4. Проведений аналіз свідчить про те, що за умов упровадження твердопаливного виробництва перспективним є застосування брикетних машин середньої продуктивності зі шнековим робочим органом.

5. Використання гнучких технологій у разі утилізації рослинних і деревних відходів сприяє переходу від механічної до органічної моделі управління підприємством, підвищенню кваліфікації і розширенню компетенцій виробничого персоналу, його автономії і збільшенню відповідальності за результати діяльності підприємства, їх конкурентоспроможності в ринкових умовах господарювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агрогумат почва плюс [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.agrogumat.ua/agrogumat-plus>. – Назва з екрана.
2. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. – Москва : Лесная промышленность, 1978. – 222 с.
3. Бажанов Е. А. Брикетирование древесных отходов / Е. А. Бажанов. // Деревообрабатывающая промышленность: научно-техн. журн. – Москва : 1966. – № 4. – С. 16 – 18.
4. База даних, створена в ході виконання Завдання 32 Міжнародного Енергетичного Агентства [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.ieabcc.nl>. – Назва з екрана.
5. Біоенергетичний потенціал лісостепової і поліської зон України та перспективи його використання: монографія / за заг. ред. В. І. Ладики. – Суми: Університетська книга, 2009. – 304 с.
6. Ветшева В. Ф. Переработка дровяного сырья / В. Ф. Ветшева, Л. Н. Малыгин. – Москва: Лесная промышленность, 1981. – 65 с.
7. Вильке Г. А. Автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий / Г. А. Вильке. – Москва : Лесная промышленность, 1972. – 416 с.
8. Випробування абсорбуючих властивостей Staldren [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.staldren.com.ua/RU/staldrenabsorbtest>.
9. Вологдин Ю. В. К вопросу повышения эффективности производства деревянной тары / Ю. В. Вологдин, К. Я. Овчинников, Т. А. Хуаде // Комплексная переработка и использование древесины : сб. научн. трудов – Химки : ЦНИИМЭ, 1983. – С. 138-142.
10. Гнатовская И. В. Переработка низкокачественной древесины на лесозаготовительных предприятиях центрального региона России : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства / И. В. Гнатовская. – Москва: МГУЛ, 2005. – 23 с.
11. Голуб Г. А. Проблеми техніко-технологічного забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем / Г. А. Голуб // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету : наук. журн.: – Серія : Технічні науки, – Вінниця : ВНАУ, 2011, № 7, – С. 59-66 – Режим доступу : <http://repository.vsau.org/card.php?lang=&id=3543>. – Назва з екрана.

12. Директива Європейського Парламенту та ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлювальних джерел. [Електронний ресурс] : Офіційний вісник Європейського союзу – Режим доступу: http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28.pdf. – Назва з екрана.

13. Дубровін В. О. Методика узагальненого технічно-досяжного енергетичного потенціалу біомаси / В. А. Дубровін, Г. А. Голуб, С. В. Драгнєв та ін. – Київ : Віола-принт, 2013. – 25 с

14. Дьяконов О. В. Вплив технологій на ефективність комплексної переробки біомаси [Електронний ресурс] / О. В. Дьяконов // Стратегия развития городов : молодежь и будущее (инновационный лифт) : матеріали V міжнар.наук.-практ. інтернет-конференції (Харків, 21 квітня 2015р.). – Режим доступу : http://ps.kname.edu.ua/images/Новости/стратегия/Энергообеспечение_энергосохранение/9_Дьяконов_О.В.pdf.

15. Дьяконов О. В. Щодо стратегії реагування на зміни клімату лісогосподарського комплексу Харківщини / В. І. Д'яконов, В. П. Богомоллова, О. В. Дьяконов, Л. П. Присяжна, Є. С. Крамаренко // Сборник научных трудов Вісник НТУ ХПИ : Нові рішення в сучасних технологіях №24 – Харків : Вестник НТУ «ХПИ», 2011. – С. 117-120.

16. Дьяконов О. В. Методичні рекомендації по вибору типу і типорозміру механізованого комплексу для підготовки палива для газифікованих двигунів : научное издание / О. В. Дьяконов. // Вісн. харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка : наук. видання / ХНТУСГ. – Харків, 2011. – Вип. 107: Механізація сільськогосподарського виробництва, т. 2. – С. 329-335.

17. Дьяконов О. В. Біоенергетичні газогенератори в історії / В. І. Д'яконов, О. В. Дьяконов, Є. С. Крамаренко, А. О. Шептур // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка : сб. наук. праць – Серія : Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладн. у ремонтному вир-ві. – Харків : ХНТУСГ, 2011. – Вип. 110 : – С. 211-218.

18. Дьяконов О. В. Використання деревних відходів для газифікованих двигунів / О. В. Дьяконов, В. І. Д'яконов // Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке : матеріали міжнар. форуму молоді, (Харків, 4-7 квітня 2011 р.). – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. – С.571.

19. Дьяконов О. В. Забезпечення безпеки життєдіяльності в період глобального потепління на Слобожанщині / О. В. Дьяконов, В. І. Д'яконов // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Серія : Технічні науки та архітектура – Харків : ХНУМГ. – 2011. – Вип. 99. – С. 113-117.

20. Дьяконов О. В. Концептуальні положення оптимального проектування машин підготовка палива для газифікованих двигунів як енергетичних систем механотронного класу / О. В. Дьяконов, В. І. Д'яконов // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка : сб. наук. праць – Серія : Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладн. у ремонтному вир-ві. – Харків : ХНТУСГ, 2011. – Вип. 110. – С. 370-377.

21. Дьяконов О. В. Проектування машин для завантаження котлів газифікованих двигунів / О. В. Дьяконов, В. І. Д'яконов // Молодь і технічний прогрес в АПК : матеріали міжнар наук.-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених, (Харків, 6-8 квітня 2011 р.). – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. – С.96

22. Дьяконов О. В. Що до стратегії регулювання на зміну клімату на Слобожанщині / О. В. Дьяконов В. І. Д'яконов // Вісник ТДАТУ : сб. наук. праць – Мелітополь : ТДАТУ, 2009. – Вип. 110. – 135-141 с.

23. Дьяконов О. В. Розробка структурної моделі машини для підготовки палива для газогенераторних двигунів мехатронного класу, як об'єкту управління в системі «машина-оператор-навколишнє середовище» / О. В. Дьяконов, В. І. Д'яконов, Є. С. Крамаренко // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Серія : Механізація сільськогосподарського виробництва – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. – Вип. 107. – т. 2 – С. 289-294.

24. Дьяконов О. В. Сучасний агроекологічний стан Слобожанщини та шляхи його покращення / Д'яконов В. І. // Безпека життєдіяльності в навколишньому середовищі : матер. міжнар. науково-практичної конференції (Харків, 20.01-20.02.2011 р.) – Харків : ХНУМГ. – 2011. – С. 117-121.

25. Д'яконов В. І. Утилізація рослинних і деревних відходів паркової зони міста / В. І. Д'яконов, О. В. Дьяконов, О. С. Скрипник // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – Вип. 124. – С. 49-52.

26. Дьяконов О. В. Використання теплової енергії відпрацьованих газів для сушіння біомаси / О. В. Дьяконов, В. І. Дьяконов // Безпека життя і діяльності людини. Освіта. Наука. Практика : матеріали XIV наук.-метод. конф., (Харків, 21-22 травня 2015р.). – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бектова, 2015. – С. 97-98.

27. Дьяконов О. В. Дослідження перспективності енергозабезпечення лісового господарства за рахунок спалювання відходів деревини у газогенераторах мобільної техніки / О. В. Дьяконов, В. І. Дьяконов // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Серія : Механізація сільськогосподарського виробництва – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2012. – Вип. 124. – т. 2 – С. 289-294.

28. Дьяконов О. В. Конструкція пристрою для переробки неліквідної деревини / О. В. Дьяконов, В. І. Дьяконов, В. П. Богомоллова, І. О. Конопля та ін. // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Серія : Механізація сільськогосподарського виробництва – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2012. – Вип. 124. – т. 2 – С. 407-412.

29. Дьяконов В. І. Особливості функціонування гнучких технологій переробки рослинних та деревинних відходів / В. І. Дьяконов, О. С. Скрипник, О. В. Дьяконов // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. вып. 83. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2015. – С.113-117.

30. Дьяконов О. В. Концептуальні положення проектування машин для підготовки палива газифікованих двигунів / О. В. Дьяконов, В. І. Дьяконов // матер. міжнар. наук.-практ. конф. студ. асп. і молодих вчених: Молодь і технічний прогрес в АПК (Харків, 5-6 квітня 2012 р.). – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2012. – С. 21-25.

31. Дьяконов В. І. Ресурсний потенціал та перспективи використання енергії біомаси для газифікованих двигунів / В. І. Дьяконов, О. В. Богомоллов, В. П. Богомоллова, О. В. Дьяконов та ін. // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Серія : Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2011. – Вип. 119. – С.62-67.

32. Дьяконов О. В. Санітарно-гігієнічні вимоги та організація праці на газогенераторних автомобілях / О. В. Дьяконов, В. І. Дьяконов // матер. міжнар. наук.-практ. конф. : Технічний прогрес в АПК (Харків, 22-23 березня 2012 р.). – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2012. – С. 21-25.

33. Д'яконов О. В. Стан і перспективи використання енергії біомаси для газифікованих двигунів / О. В. Д'яконов // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Харків, 2011. – Вип. 107, т 2. – С. 345-355.
34. Д'яконов О. В. Стратегія формування екологічного каркасу міських територій Слобожанщини / О. В. Д'яконов, В. І. Д'яконов // Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. – Серія : Механізація сільськогосподарського виробництва – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013. – Вип. 135. – С. 481-487.
35. Д'яконов О. В. Сучасне енергійне використання рослинної та деревної біомаси / О. В. Д'яконов, М. М. Кіриєнко // Безпека життя і діяльності людини. Освіта. Наука. Практика : матеріали XIV наук.-метод. конф., (Харків, 21-22 травня 2015р.). – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бектова, 2015. – С. 100-101.
36. Д'яконов О. В. Енергетична ефективність біопалива / О. В. Д'яконов, В. І. Д'яконов, О. С. Скрипник // Безпека життя і діяльності людини. Освіта. Наука. Практика : матеріали XIV наук.-метод. конф., (Харків, 21-22 травня 2015р.). – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бектова, 2015. – С. 98-99.
37. Д'яконов О. В. Переробка вживаної деревини з прибудинкової території міста / О. В. Д'яконов, В. І. Д'яконов, О. В. Чеботарьова // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – серія : Безпека життя і діяльності людини. Освіта. Наука. Практика / ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. – Харків – 2015. – Вип. 120 (1). – С. 22-24.
38. Д'яконов О. В. Енергія сонця / О. В. Д'яконов, В. І. Д'яконов // «Безпека життя і діяльності людини. Освіта. Наука. Практика»: матеріали XIV наук.-метод. конф., (Харків, 21-22 травня 2015р.). – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бектова, 2015. – С. 99-100.
39. Калетнік Г. М. Науково обґрунтовані та практичні підходи використання соломи та рослинних решток у сільському господарстві / Г. М. Калетнік, В. М. Булгаков, І. В. Гриник // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. – 2011. – Вип. 9. – С. 62-68.
40. Кухарець С. М. Алгоритм розподілу органічних ресурсів у агроєкосистемах [Електронний ресурс] / С. М. Кухарець // Зб. наук. пр. Вінницького нац. агр. ун-ту. – Серія : Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – №10. – т. 1 (58), С. 61-65. – Режим доступу : <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/2915>.

41. Лившиц Н. В. Механизация околостаночных операций в лесообрабатывающих цехах леспромхозов / Н. В. Лившиц, Б. Е. Меньшиков. – Москва : Лесная промышленность, 1975. – 176 с.
42. Лившиц Н. В. Обоснование применения математического моделирования для исследования лесообрабатывающих цехов / Н. В. Лившиц, В. В. Обвинцев, В. В. Чамеев // Межвуз. сб. научн. трудов. – Ленинград : ЛТА, 1975. – Вып. 4. – С. 85-90.
43. Луц С. М. Зоотехнічні аспекти внесення підстилки на фермах великої рогатої худоби / С. М. Луц // Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сільськ. госп-ва ім. П. Василенка. – 2012. – Вип. 120. – С.162-166.
44. Модин Н. А. Брикетирование измельченной древесины и древесной коры / Н. А. Модин, А. Н. Ерошкин. – Москва : Лесная промышленность, 1971. – 112 с.
45. Морару І. Не лише молоко, а й... Або скільки користі від гною / І. Морару // Агроексперт : практичний посібник аграрія. – Київ : ТОВ «Аграр Медісн Україна», 2011. – № 5. – С. 105-107.
46. Про затвердження порядку проведення експертизи для підтвердження належності палива до альтернативного : Наказ Держкоменергозбереження від 10.12.2004 р. № 183 [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1647-04>.
47. Никишов В. Д. Комплексное использование древесины / В. Д. Никишов. – Москва : Лесная промышленность, 1985. – 246 с.
48. Новітні технології біоенергоконверсії : монографія / Я. Б. Блюм, Г. Г. Гелетуца, І. П. Григорюк та ін. – Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. – 326 с.
49. Обвинцев В. В. Совершенствование технологии тарных цехов лесозаготовительных предприятий : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : спец. 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства / В. В. Обвинцев. – Ленинград : УЛТИ, 1985. – 18 с.
50. Органічні добрива на основі відходів тваринництва та птахівництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bestreferat.ru/referat-183734.html>
51. Рушнов Н. П. Основные направления развития производства щепы в леспромхозах : сб. науч. тр / Н. П. Рушнов, В. Я. Матюнин, В. С. Суханов. – Химки: ЦНИИМЭ, 1983. – С. 5-13.
52. Памфилов В. В. Влияние ударных нагрузок на структуру и механические свойства древесины / В. В. Памфилов, отв. ред. Л. А. Рымаренко. – Брянск : Приокское книжное издательство, 1965. – 73 с.

53. Пат. 65904 Україна, МПК2011.1 В 27 В 5/00. Пристрій для переробки неліквідної деревини на дрова / Д'яконов О. В., Дьяконов В. І., Богомолова В. П. (Україна) – № 201011994; заявл. 11.10.2010 ; опубл. 26.12.2011, Бюл. № 24. – 2 с.

54. Пат. 104089 Україна, МПКС10L 5/44 (2006.01) Паливний брикет / Дьяконов О. В., Д'яконов В. І., Полянський О.С. (Україна) – №201506879; заявл. 10.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. – 2 с.

55. Продуктивність кукурудзи залежно від строків збирання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://propozitsiya.com/ua/produktivnist-kukurudzi-zalezjno-vid-strokov-zbirannya>

56. Підвищення родючості глинистого ґрунту, застосування добрив у польовій сівозміні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://bukvar.su/botanika-i-selskoe-hoz-vo/page,4,32014-Povysheniemplodorodiya-glinistoiy-pochvy-primenenie-udobreniiy-v-polevom-sevooborote.html>

57. Погорілий В. Жатки для збирання пізніх / В. Погорілий, А. Мигальов // The ukrainian Farmer. – Київ : ТОВ «АГП Медіа», 2011. – № 9. – С. 70-72.

58. Филатов А. А. Показатели комбинирования производства на комплексных лесных предприятиях : сб. науч. тр. / А. А. Филатов, О. И. Федькова, Г. Н. Сверчков и др. – Химки : ЦНИИМЭ, 1979. – С. 68-72.

59. Поляков О. Догляд за озимим ріпаком. Короткий календар основних агроприйомів / О. Поляков, С. Плетень, С. Томашов // Пропозиція : Інформаційний щомісячник. Український журнал з питань агробізнесу. – Київ : ТОВ «Компанія Юнівест Маркетинг», 2010. – № 2. – С. 62-63

60. Машины для збирання зернових та технічних культур [Електронний ресурс] : Посібник / за ред. В. І. Кравчука, Ю. Ф. Мельника. – Серія : Сільськогосподарська техніка – XXI. – Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Погорілого. – 2009, – 296 с. – Режим доступу : http://vthntusg.at.ua/_ld/0/18_zernovi_disk.pdf.

61. Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010 – 2015 р. : Постанова КМ України від 01.03.2010 р. № 243 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/243-2010-п>.

62. Про порядок видачі свідоцтва про належність палива до альтернативного № 1307 від 05.10.2004 р. : Постанова КМ України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1307-2004-п>
63. Прес-підбирачі MasseyFerguson [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.hesston.com/products/square-balers/2200-series-large-square-balers>.
64. Прес-підбирачі Vermeer [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www2.vermeer.com/vermeer/NA/en/N/equipment/balers/605_super_m_constalk_specia.
65. Пришвидшення мінералізації соломи та поживних решток [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zeolit.com.ua/attach/ceovit_259.pdf.
66. Про альтернативні види палива : Закон України № 1391 – XIV від 14.01.2000 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/law/1391-14>.
67. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-7-ukr-draft.pdf>.
68. Редькин А. К. Лесоперерабатывающие цехи лесозаготовительных предприятий / [А. К. Редькин, В. Д. Никишов, А. А. Шадрин и др.]. – Москва : МГУЛ, 2002. – 101 с.
69. Сільське господарство України. Статистичний збірник / За редакцією Н. С. Власенко [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.zerno.org.ua/download/file/96-silske->.
70. Скрильник Є. Ефективність використання післяживних решток [Електронний ресурс] / Є. Скрильник // Пропозиція : Інформаційний щомісячник. Український журнал з питань агробізнесу. – Київ : ТОВ «Компанія Юнівест Маркетинг», 2013. – № 7. – С. 62-66 .
71. Совершенствование работы деревообрабатывающих цехов : сб. науч. тр. / А. К. Редькин, В. Д. Никишов, В. Е. Рублев и др. – Москва : ВНИПИЭИлеспром, 1979. – С. 38-47.
72. Кузнецова А. Из соломи будем строить, из соломы топим мему / А. Кузнецова // Агробізнес Україна : інформаційно-рекламний журнал. – Київ : Ю. Дивак, 2011. – № 65(52). – С. 36-38.
73. Солома [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.sp-co.ru/info/raw_materials/66/.

74. Соняшник як об'єкт збирання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zhmenka.com/sonyashnik-seleksiya-nasinnictvo-texnologiya-viroshhuvannya/sonyashnik-yak-ob-yekt-zbirannya/>.
75. Васильев В. А. Справочник по органическим удобрениям. Пожнивные остатки / В. А. Васильев, Н. В. Филиппова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Росагропромиздат, 1988. – 255 с.
76. Сухина А. Сушіння кукурудзи в качанах / А. Сухина. // Пропозиція : Інформаційний щомісячник. Український журнал з питань агробізнесу. – Київ : ТОВ «Компанія Юнівест Маркетинг», 2014. – № 1. – С. 50-54
77. Сучасні технології заготівлі кормів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://buklib.net/books/34616/C.62-68>.
78. Тарарико Ю. А. Формирование устойчивых агроэкосистем / Ю. А. Тарарико. – Киев, ДИА, 2007. – 558 с.
79. Тараріко Ю. О. Енергозберігаючі агроекосистеми / Ю. О. Тараріко. – Київ, ДІА, 2011. – 575 с.
80. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств / С. Н. Рыкунин, Ю. П. Тюкин, В. С. Шалаев – Москва: МГУЛ, 2005. – 224 с.
81. Крамар В. Г. Топливные свойства пожнивных остатков кукурузы/ В. Г. Крамар, Н. М. Жовмир, В. И. Зубенко, С. М. Чаплыгин // Пром. теплотехника. – Киев : Институт технической теплофизики НАН Украины, 2009. – № 5. – С. 76-80.
82. Управління поживними рештками в технологій min-till та no-till на прикладі підприємств Криму [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.zerno.org.ua/articles/technology?start=10>.
83. Феоктистов А. Е. Первичная обработка древесины / А. Е. Феоктистов, О. А. Щепотьев. – Москва : Лесная промышленность, 1969. – 176 с.
84. Фергин В. Р. Теория и расчет совмещенных поставов / В. Р. Фергин // Деревообрабатывающая промышленность : науч.-техн. и произв. журн. – Москва : Деревообрабатывающая промышленность, 2000. – №2. – С. 4-7.
85. Фергин В. Р. Гибкая технология раскря пиловочного сырья / В. Р. Фергин // Деревообрабатывающая промышленность : науч.-техн. и произв. журн. – Москва : Деревообрабатывающая промышленность, 1996. – №5. – С. 5-7.

86. Хухрянский П. Н. Контурное прессование древесины методом удара / П. Н. Хухрянский // Мебель и деревообработка : реф. информ. – Москва : ВНИПИЭЛЕСПРОМ, 196., – Вып. 25. – С. 37.

87. Чамеев В. В. Совершенствование технологических процессов лесопильно-тарных цехов лесозаготовительных предприятий : автореф. дисс. канд. техн. наук / В. В. Чамеев – Москва : МГУЛ, 1992. – 20 с.

88. Чим збирає врожаї житниці Європи? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://a7d.com.ua/machines/12561-chim-zbiraye-vrozhayi-zhitnicya-uevropi.html>.

89. Чувелев А. Я. Исследование размерных характеристик круглых лесоматериалов и их влияния на параметры лесобработывающих машин: дисс. ... канд. техн. наук : 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства / А. Я. Чувелев. – Москва : 1976. – 146 с.

90. Шадрин А. А. Технология и проектирование гибких лесобработывающих процессов лесозаготовительных предприятий : дисс. ... докт. техн. наук : 05.21.01 Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства / А. А. Шадрин. – Москва, 2009. – 239 с.

91. A Spanish 16 MW straw power plant increases cereal farmer's income [Електронний ресурс]. – Mode of access : <http://bioenergycrops.com/blog/2013/05/02/a-spanish-16mw-straw-power-plant-increases-cereal-farmers-income/>.

92. Advanced straw-fired power plant income [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.dpcleantech.com/biomass-projects/biomass-power-plant-project-case-studies/liaoyuan>.

93. Baled Corn Stover - A Potential Winter Feed For Tennessee Cow-Calf Operations income [Electronic resource]. – Режим доступу : <http://animalscience.ag.utk.edu/beef/pdf/Drought/ASB369-BaledCornStalks.pdf>.

94. Biomass Energy Centre (UK). Straw [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,17972&_dad=portal&_schema=PORTAL.

95. Biomass plant from straw combustion in Sanguesa [Electronic resource]. – Режим доступу : http://www.acciona-energia.com/media/219313/ACCIONA_Sanguesa%20biomass%20plant_EN.pdf.

96. Capacity of China's Straw-fueled Power Plants Reaches 1.2 Mlnkw [Електронний ресурс]. – Mode of access : <http://english.cri.cn/3126/2007/06/12/1042@237651.htm>.

97. DP CleanTech signs contract with Polish Energy Partners for 30 MW straw-fired plant [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.dpcleantech.com/medias/news/dp-cleantech-signs-contract-with-polish-energy-partners-for-30-mw-straw-fired-plant>.
98. Energy and fertilizer from straw (Denmark) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.dtu.dk/english/News/2013/11/Energy-and-fertilizer-from-straw>.
99. FYN Power Station [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.vattenfall.dk/da/file/10445FynsvarketUK080121_7841590.pdf.
100. Siemons R. Bioenergy's role in the EU energy market. A view of developments until 2020 / R. Siemons, M. Vis, D.van den Berg, I. et al. // Report to the European Commission. – Neston : ESD Ltd, – 2004. – 270 p.
101. Torben S. Straw to Energy. Status, Technologies and Innovation in Denmark [Electronic resource] / S. Torben. – Tjele : Agro Business Park A/S, – 2011. – Mode of access : http://inbiom.dk/Files//Files/Publikationer/halmpjeceuk_2011_web.pdf
102. Dibácsi Z. Study on Biomass Trade in Poland [Electronic resource] / Z. Dibácsi, D. Hujber, M. Lipcsik, T.Simon : Energy Centre- Energy Efficiency, Environment and Energy Information Agency Non-profit Limited Company, 2010. – 43 p. – Mode of access : http://www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/outputlib/4biomass_Hungary_trade_study_uploaded.pdf
103. Golec A. Experience with biomass district heating in Poland. / A. Golec, A. Grzybek // Presentation at Central European Biomass Conference. Graz, January, 2005 : Proceedings. – Missouri, Biofuels, Food and Feed Tradeoffs, 2007, – P. 26-29.
104. The potential of straw for the energy mix has been underestimated. Study: Straw could supply energy to several millions of households in Germany [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.ufz.de/index.php?en=32109>.
105. Andrews S. S. White Paper. Crop Residue Removal for Biomass Energy Production : Effects on Soils and Recommendations / S. S. Andrews – Washington : Leader, Soil Quality National Technology Development Team USDA-Natural Resource Conservation Service, 2006. – [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053255.pdf

106. Van der Sluis E. Local Biomass Feedstocks Availability for Fuelling Ethanol Production. / E. Van der Sluis, R. Shane, L. Stearns / Biofuels, Food and Feed Tradeoffs Conference, April, 2007 : Proceedings. – Missouri, Biofuels, Food and Feed Tradeoffs, 2007, – P. 12-13.

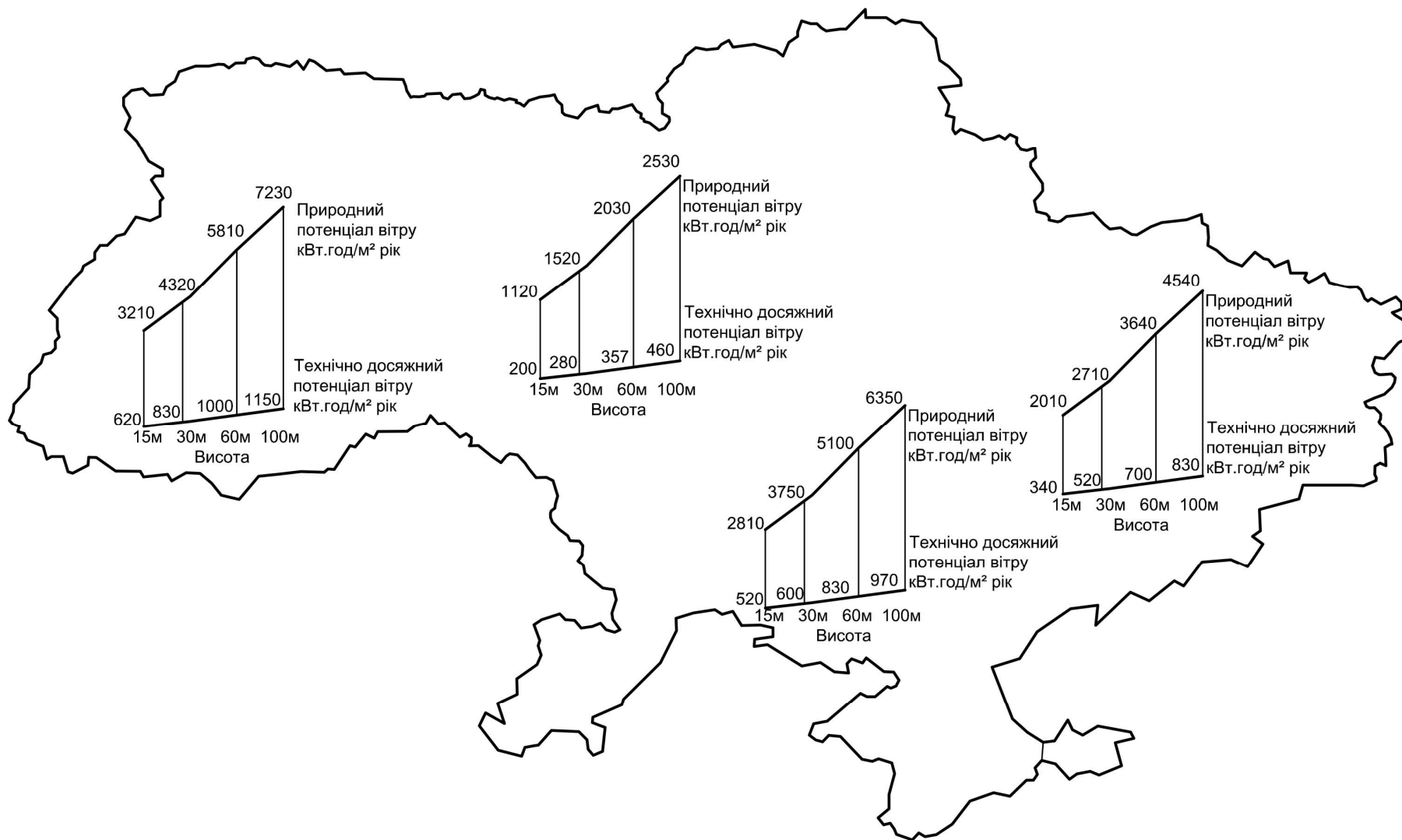
107. Ray D. E. Biomass feedstock availability in the United States: 1999 state level analysis [Electronic resource] / D. E. Ray, S. E. Slinsky, R. L. Graham et al. – Oak Ridge : Oak Ridge National Laboratory. – 1999. – P. 1-16. – Mode of access : <http://bioenergy.ornl.gov/resourcedata/index.html>.

108. Voytenko Y. Bioenergy in Ukraine. Sustainable pathways for agro-bioenergy development / Y. Voytenko. – Saarbrücken : LAMBERT Academic Publishing. – 2012. – 296 p.

ДОДАТКИ

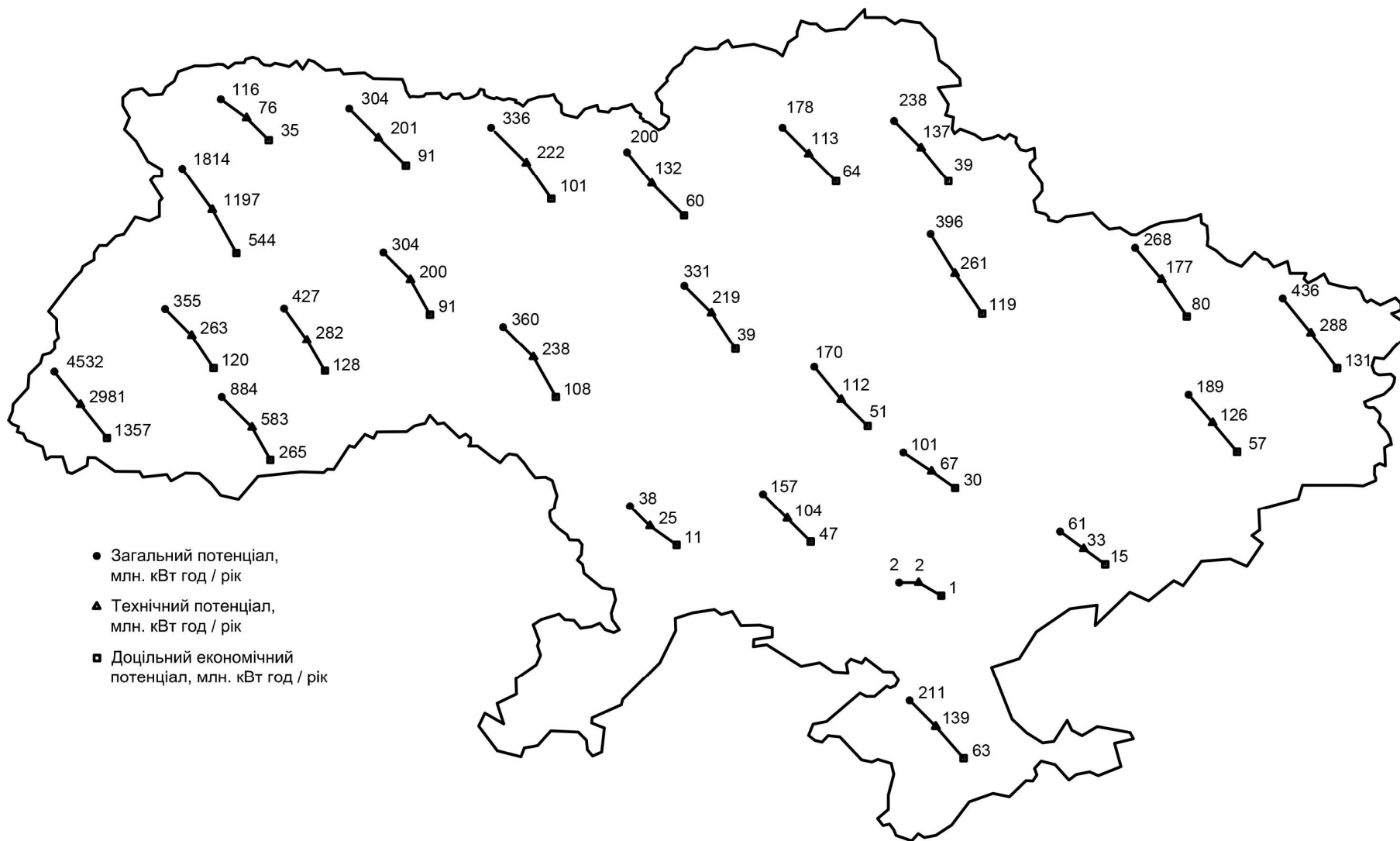
Питомі показники енергетичного потенціалу вітру

132



Питомі показники енергетичного потенціалу малих ГЕС

133



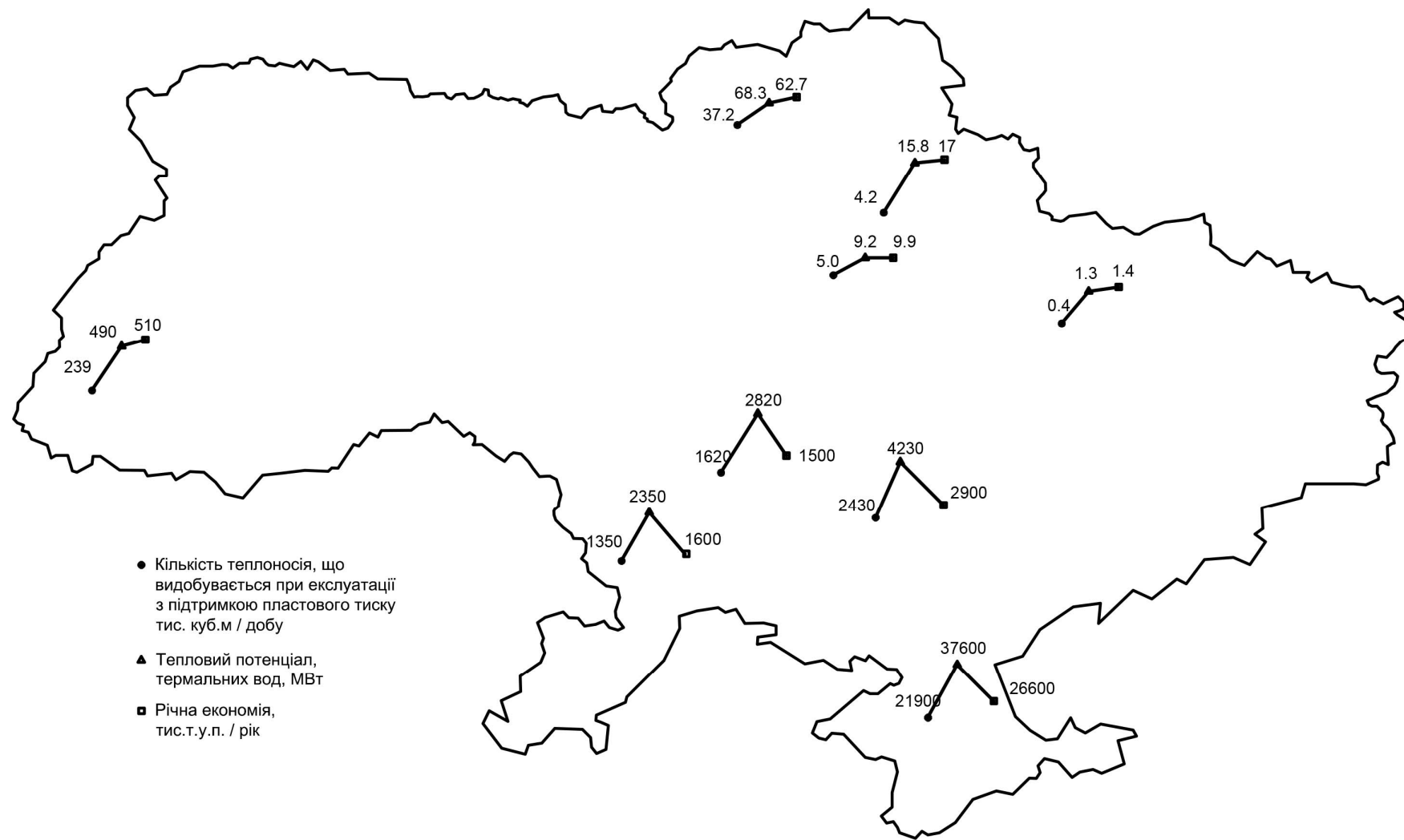
Розподіл питомої сумарної сонячної радіації на території України протягом року (кВт·год / м²)

134



Питомі показники потенціалу геотермальної енергетики України

135



**Рослини, які можуть бути використані як сировина
для енергетичного палива**



Квіти топінамбура



Саджанець
енергетичної верби



Суцвіття артишоку



Топінамбур



Верба



Артишок



Очерет



Квітка сиди



Троянда багатоколірна



Тополя



Сиди



Сорго суданське

Наукове видання

**НАПРЯМИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ:
АКЦЕНТ НА ТВЕРДОМУ БІОПАЛИВІ
ТА ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ЙОГО ВИГОТОВЛЕННЯ**

МОНОГРАФІЯ

Відповідальний за випуск *М. В. Хворост*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *Є. Г. Панова*

Дизайн обкладинки *Г. А. Коровкіна*

Підп. до друку 14.12.2015 р.

Друк на ризографі

Тираж 300 пр.

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 6,3

Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.