

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

СТРАШКО АРТУР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри механізації
сільського господарства
канд. техн. наук, доцент
_____ Анатолій ПОЛЯКОВ
«__» _____ 2023_ р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ ГРАНУЛ З ВТОРИННОЇ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ СИРОВИНИ

Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Керівник:
канд. с.-г. наук, доцент
Євген ЧАПЛИГІН

Оцінка: _____ / _____ / _____
бали/за шкалою ЄКТС/за національною шкалою

Київ – 2023

Зміст

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА	
ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА З ВІДХОДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ.	9
1.1 Енергетичний потенціал рослинних відходів	9
1.2 Основні види та характеристики твердого біопалива з рослинних відходів	16
1.3 Основні характеристики біопалива	22
1.4 Стандарти біопалива	28
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ГРАНУЛЮВАННЯ.....	32
2.1 Дослідження сучасного стану обладнання та технологічних процесів для виготовлення палива з твердих рослинних відходів	32
2.2 Дослідження конструкції основного обладнання для виготовлення твердого біопалива	36
2.3 Висновки за розділом	49
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ	
РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ.....	50
3.1 Чинники, що впливають на процеси виготовлення паливних гранул...50	
3.1.1 Вплив фізико-механічних властивостей твердих рослинних відходів та технологічних параметрів на якість виготовленого гранул.....	50
3.1.2 Оцінка пружних коефіцієнтів композитного зразка біологічного палива за значеннями пружних коефіцієнтів	53
3.1.3 Вплив вологості рослинних відходів на процес гранулювання.....	56
3.1.4 Вплив фракційного складу паливних гранул.....	57
3.1.5 Вплив температури біологічної сировини та тиску при пресуванні на густину виготовленого біологічного палива	60
3.2 Вплив конструктивних параметрів пресового обладнання на технологічний процес виготовлення твердого біопалива	64

3.3 Особливості технологічного процесу гранулювання	69
3.4 Модель процесу гранулювання з використанням матриць з різними каналами.....	73
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	80
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	85
5.1. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	85
5.2 Промислова санітарія.....	89
5.3 Заходи пожежної безпеки.....	91
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ БІБЛІОГРАФІЧНИХ ДЖЕРЕЛ.....	94

ВСТУП

Актуальність теми. Україна сьогодні залишається енергетично дефіцитною державою, яка приблизно на 53% покриває свої потреби в енергоспоживанні, імпортуючи при цьому 75 % обсягу необхідного природного газу та 85% нафтопродуктів та сировини нафти [2].

Дефіцит первинних джерел енергії активно повинен покриватися ВДЕ (відновлювані джерела енергії). Так, у ЄС було прийнято постанову щодо активізації процесу розвитку відновлювальної енергетики, відповідно до якої країни європейського союзу до 2025 року зобов'язані збільшити частку до 20 % відновлювальних джерел енергії при видобутку електроенергії та тепла [2].

Національним планом дій до 2025 року з відновлюваної енергетики встановлено загальну мету, згідно якої внесок відновлюваних джерел енергії до валового кінцевого енергоспоживання у відповідності до зобов'язань України як члена Енергетичного співтовариства має досягти 15 % [3].

Біомаса є ваговою складовою відновлювальних джерел енергії і має великий потенціал, доступний для енергетичного використання – більше 25 млн. тон умовного палива на рік за оцінками 2022 року. Шляхом залучення цього потенціалу до виробництва енергії в найближчій перспективі можна задовольнити 15- 20% потреби держави в первинній енергії [4].

Актуальність проблеми полягає у раціональному й ефективному використанні рослинних відходів, як сировини для виготовлення екологічно чистого твердого біопалива, оскільки вирішує питання отримання додаткової теплової енергії та дає змогу покращити екологічну ситуацію навколишнього середовища.

Отже дослідження та розробки, направлені на розширення бази застосування біомаси в автономних енергетичних установках, удосконалення технологій виготовлення біопалива, зокрема з твердих рослинних відходів є важливими для забезпечення енергетичної безпеки України і актуальними

для вирішення завдань заміщення альтернативними видами палива природного газу.

Оцінка потенціалу будь-якого використання енергоресурсу передбачає врахування екологічних, економічних та технологічних складників його використання, а також потребу ресурсного оцінювання потенціалу цього енергоресурсу для задоволення конкретних енергетичних потреб.

Метою роботи є дослідження процесу виробництва паливних гранул, ефективне і раціональне використання рослинних відходів, а також встановлення впливу режимних параметрів на кількісні і якісні показники гранулювання.

Задачі дослідження:

1. Провести дослідження технологічних режимів та аналіз обладнання з виробництва паливних гранул.
2. Обґрунтування підходів щодо оцінки основних обсягів утворюваних рослинних відходів, які доступні для подальшого використання.
3. Дослідження технології сушіння, подрібнення і пресування рослинної маси у тверде біопаливо.
4. Проаналізувати рівень теплотворної здатності твердого біопалива.
5. Оптимізація основних конструктивних параметрів і технологічних режимів процесу гранулювання.
6. Провести аналіз результатів досліджень.

Об'єкт дослідження: відходи рослинного походження, паливні гранули, машини та обладнання для подрібнення рослинних відходів, обладнання для пресування і гранулювання відходів, енергетичний потенціал використання твердого біопалива.

Предмет дослідження: визначення оптимальних режимних параметрів процесу переробки вторинних відходів сільськогосподарського виробництва з метою отримання твердого біопалива.

Методи дослідження: Подрібнення відходів. Брикетування. Аналіз результатів досліджень виконувати за допомогою графо - аналітичного методу та математичного аналізу.

Особистий внесок здобувача. Магістерська кваліфікаційна робота є завершеним самостійно виконаним науковим дослідженням. Наукові розробки, положення та пропозиції щодо вдосконалення технологічного процесу виробництва твердого біопалива з вторинних відходів сільськогосподарського виробництва та аналізу ефективності процесу гранулювання, які містяться в кваліфікаційній роботі, одержані автором самостійно.

Структура і обсяг магістерської роботи. Робота складається із вступу, шести розділів, висновків та пропозицій, списку використаної літератури. Кваліфікаційна робота виконана комп'ютерним набором. Загальний обсяг роботи становить 85 сторінок основного тексту, з використанням 38 літературних джерел, ілюстрована 25 рисунками та 13 таблицями.

АНОТАЦІЯ

Страшко А.О. «Дослідження технологічного процесу та режимів роботи обладнання для виробництва паливних гранул з вторинної сільськогосподарської сировини». Київ, 2023.- Рукопис.

В роботі розглянуто підходи щодо оцінки обсягів вторинних відходів сільськогосподарського виробництва для подальшої їх переробки у тверде біопаливо. Визначено та обґрунтовано найбільш доцільний спосіб подрібнення та пресування біомаси, який забезпечує основні вимоги до пресованої продукції зі зниженими затратами енергії. Встановлено залежності ефективності технологічного процесу пресування від конструктивно-технологічних параметрів роботи грануляторів. Проведено аналіз результатів теоретичних досліджень. Виконаний аналіз конструкцій сучасного обладнання з виготовлення твердого біопалива методом

пресування вторинних відходів та отримання паливних гранул дозволяє вибрати їх оптимальний варіант, що забезпечує високу якість продукції.

Ключові слова: подрібнювачі стеблової маси, рослинні відходи, гранули, гранулятори, технологічний процес, аналіз, ефективність виробництва.

ANNOTATION

Strashko A.O. «Research of the technological process and modes of operation of equipment for the production of fuel pellets from secondary agricultural raw materials». Kyiv, 2023.- Manuscript.

The paper considers approaches to assessing the volumes of agricultural production waste for their further processing as solid biofuels. The most expedient way of shredding and pressing of bioremedy, which provides requirements for pressed products with the reduced energy consumption, is substantiated and determined. The dependence of the efficiency of the pressing process on the structural and technological parameters of the granulator has been established. The analysis of the results of theoretical research was carried out. The analysis of modern constructions of equipment for the production of solid biofuels by the method of pressing of waste and obtaining pellets allows them to choose their optimal option, which provides high quality products.

Key words: stem mass shredders, vegetable waste, pellets, granulators, technological process, analysis, production efficiency.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ БІОЛОГІЧНОЇ МАСИ В УКРАЇНІ

1.1. Сучасний стан і перспективи розвитку біологічної енергетики в Україні

«Зацікавленість у альтернативних джерелах енергії зростає пропорційно цінам на традиційні види палива, газова криза і боротьба з парниковим ефектом значною мірою посприяли тому, що розвиток біоенергетики став складовою частиною політичних і економічних планів багатьох країн. Так, Європейський Союз заявив про намір збільшити частку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в структурі енергетики до 20% до 2025 року. За оцінками експертів, у 2020 році виробництво твердого біопалива у всьому світі склало 10-12 млн тонн, а вже через 10-15 років воно складе 200 млн. тон» [2].

«Основні світові обсяги біопалива виробляють США і Канада, в ЄС щорічно використовується 8 млн. т. пелет, а виробляється 4-5 млн. т., тому ставку на експорт до Західної Європи роблять виробники і Північної Америки і країн Східної Європи» [3].

«Рентабельність виробництва гранул та брикетів досить висока: 1 т. гранул коштує в середньому 100 євро і замінює 0,5 т. дизельного палива.

Україна щорічно виробляє близько 200 тис. т. гранул, але 96-97% від цього обсягу відправляється на експорт до Європи, де біоенергетика підтримується на державному рівні та впроваджується в масштабних проектах. Так, наприклад, у Швеції прийняті закони, що стимулюють розвиток біоенергетики економічними методами, - збільшення податку на викиди вуглекислого газу, субсидіюванням 30-70% вартості переведення котелень з граційних енергоресурсів на біопаливо» [3].

«У Німеччині до 2025 року планується ввести 1 000 000 котелень, що працюють на біопаливі, тут вже кілька років виплачують дотації

домовласникам, що встановили котли на біопаливі. У деяких країнах Європи біопаливом вже опалюється до 2/3 житлових приміщень» [3].

«Данія щороку використовує понад 1,5 млн. т. соломи для потреби енергетики. Станом на 2020 рік там працювали більше 15 тисяч фермерських котлів, потужністю від 0,1 МВт до 1 МВт і близько 80 великих (до 12 МВт) котелень, що спалюють соломку для потреб міського теплопостачання» [3].

«Україна, незважаючи на досить високий енергетичний потенціал біомаси знаходиться позаду лідерів. Причиною повільного розвитку біоенергетики нашої країни є слабка нормативна база, відсутність підтримки держави у нововведеннях та розвитку даної сфери, мала обізнаність населення та відсутність фінансової підтримки.

Україна є енергетично залежною державою: частка імпорту в структурі поставок первинних видів енергії без урахування палива для атомних електростанцій у різні роки становила від 53 до 72%.

Основними пріоритетами енергетичної політики проголошено енергоефективність, використання відновлювальних джерел енергії та зниження негативного впливу на навколишнє середовище» [5].

1.2. Аналіз відновлювальних джерел енергії

«В умовах існування об'єктивної загрози вичерпання корисних копалин як джерел одержання палива для потреб людства, все більшої актуальності набуває необхідність вирішення проблеми пошуку альтернативних джерел для покриття енергетичних потреб. Першочерговим завданням національної енергетики є пошук і використання альтернативних видів палива, альтернативність яких полягає, передусім, в їхній екологічності та відновлюваності.

Ситуація ускладнюється тим, що ефективність виробництва та використання палива з біомаси поки що є нижчою за ефективність застосування традиційних видів палива» [5].

«Біомаса — четверте за значенням паливо у світі, яке дає близько 2 млрд т у. п. на рік, а це – майже 14% загального споживання первинних енергоносіїв. При цьому понад 70% поновлюваних джерел енергії походить із біомаси. Відбувається швидкий перехід до її раціонального використання. Виробництво та споживання біопалива зростає в усьому світі. Україні дуже важливо не залишитись осторонь передових світових тенденцій у цьому напрямку, особливо зважаючи на недостатню забезпеченість власним викопним паливом» [5].

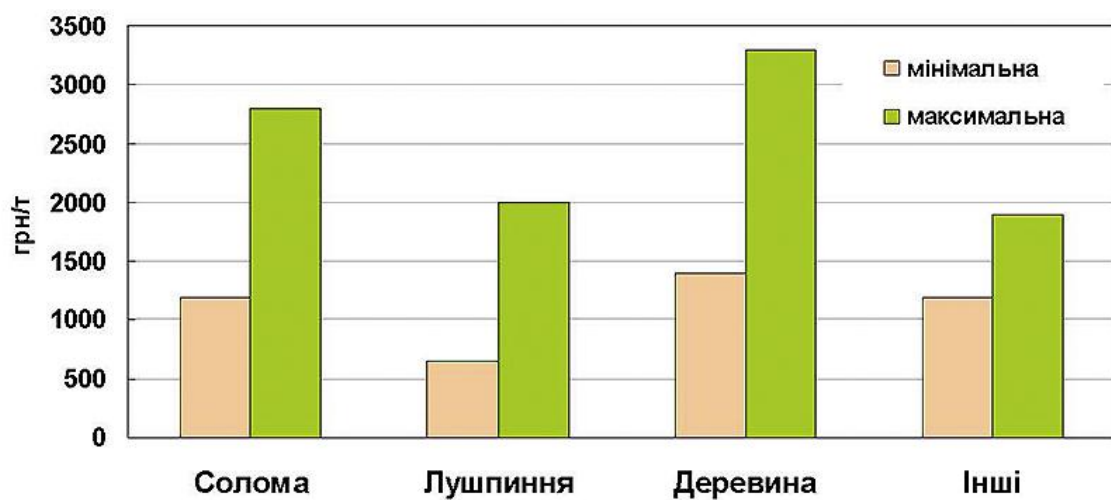


Рисунок 1.1 – Коливання цін на паливні гранули на внутрішньому ринку за пропозиціями виробників

«Згідно з енергетичним балансом України за 2020 р., частка ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні становить 3,62%, в тому числі біомаса — 2,28%, а це — 63% усіх ВДЕ або 1,61 млн т н.е..

Виключно важливим є питання забезпечення необхідним обсягом палива всіх запланованих до впровадження біоенергетичних установок. Оцінку розподілу біопалива за видами представлено на рисунку 1.2» [5].

Оцінка загального обсягу та структури споживання твердих біопалив в Україні (90% від усіх біопалив і відходів)

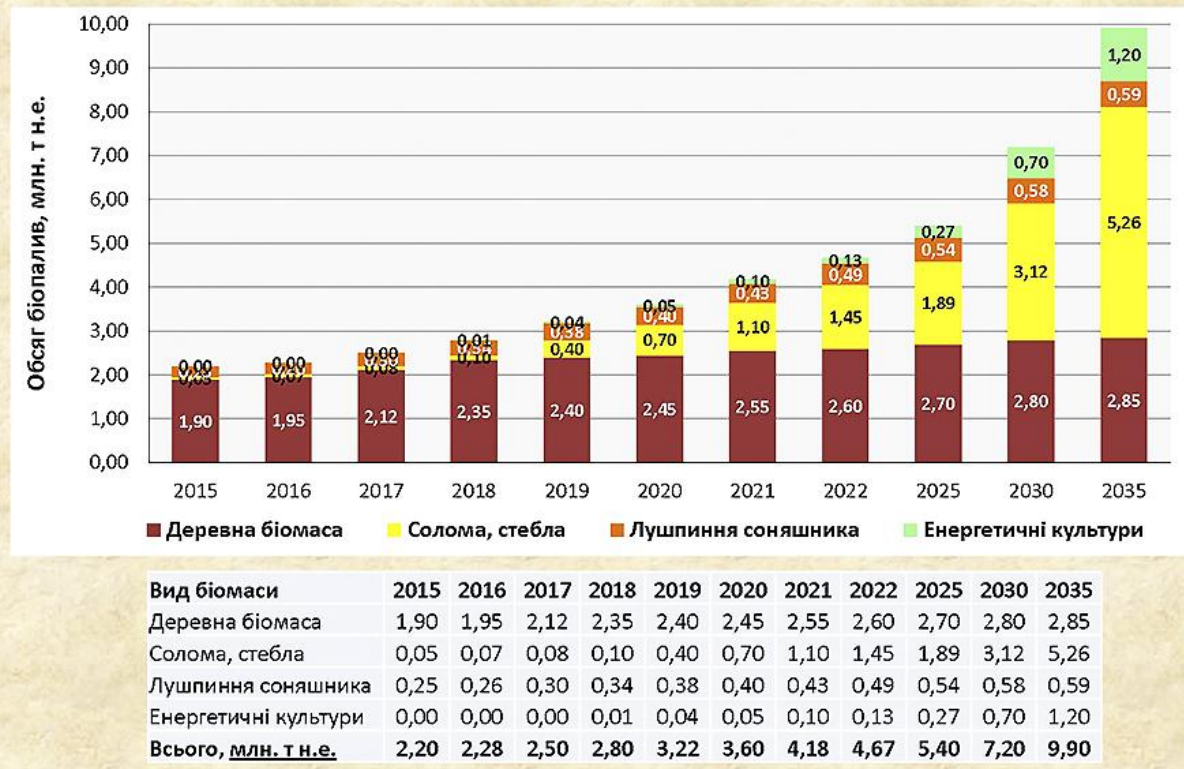


Рисунок 1.2 – Структура видів рослинної біомаси для виробництва теплової енергії в Україні

«Із даних рисунку видно, що для досягнення поставлених цілей найближчими роками потрібне широке залучення відходів сільського господарства (соломи, стебел кукурудзи/соняшника) та енергетичних культур до паливно–енергетичного балансу країни. Прогнозується, що у 2020 р. для виробництва енергії буде використовуватися близько 0,82 млн. т у. п. біомаси енергокультур.

Для умов України найбільш придатними для вирощування (з метою отримання твердого біопалива) є верба, міскантус і тополя. Для отримання необхідної кількості біопалива з енерго культур під їхнє вирощування потрібно задіяти загалом понад 118 тис. га у 2020 р. Це складатиме лише близько 3% вільної площі сільськогосподарських земель в Україні» [5].

1.3. Енергетична політика України в секторі біоенергетики

«Серед позитивних змін, внесених Законом, можна відзначити такі:

- до терміну «біомаса» включено не тільки відходи, але й продукти відповідних галузей господарства, що відповідає європейському визначенню:

- Біомаса — невикопна біологічно відновлювана речовина органічного походження, що здатна до біологічного розкладу, у вигляді продуктів, відходів та залишків лісового та сільського господарства (рослинництва й тваринництва), рибного господарства та технологічно пов'язаних із ними галузей промисловості, а також складова промислових або побутових відходів, що здатна до біологічного розкладу» [5].

«Обов'язкову вимогу щодо місцевої складової скасовано та замінено на надбавку до «зеленого» тарифу за використання обладнання українського виробництва. Надбавка становить 5% і 10% при використанні, відповідно, 30% і 50% обладнання місцевого виробництва.

Незважаючи на певний прогрес у розвитку біоенергетичних технологій протягом минулого року, дотепер залишається ряд бар'єрів і неврегульованих питань, що потребують якнайшвидшого вирішення» [5].

Основні проблеми такі:

Виробникам теплової енергії з альтернативних видів палива (в тому числі біомаси) потрібен безперешкодний доступ до теплових мереж. Місцеві теплові комунальні енерго на сьогодні не зацікавлені в підключенні об'єктів альтернативної теплової генерації та чинять перешкоди при видачі технічних умов на підключення. Ці перешкоди потребують врегулювання шляхом внесення змін до Закону України «Про тепlopостачання», які б давали пріоритетний доступ об'єктам альтернативної теплової генерації до теплових мереж.

«Більшість енергетичних культур досі не віднесена до розряду сільськогосподарських та їхнє вирощування на землях сільськогосподарсько-

го призначення неможливе. Наявна процедура включення до реєстру сільгоспкультур є довгою (передбачаються польові випробування протягом понад 3 років). Необхідне спрощення процедури внесення до реєстру для енергетичних культур» [6].

«Прийнятий нещодавно Закон України «Про побічні продукти тваринного походження, не призначені для споживання людиною» може створити додатковий бар'єр для впровадження біогазових технологій в Україні. Закон був розроблений із метою забезпечення гармонізації вітчизняного законодавства у сфері поводження з відходами тваринного походження до вимог міжнародного законодавства (Регламентів ЄС №1069/2009 та № 142/2011). Біоенергетична Асоціація України вважає, що виконання норм цього документу безперечно буде підвищувати рівень харчової, екологічної та санітарно–епідемічної безпеки в нашій країні та сприятиме подальшій інтеграції в ЄС» [6].

«Держлісгоспи не мають достатньої техніки, мотивації й, фактично, права для значного збільшення заготівлі деревного палива. Разом із тим існує ціла низка обмежень для приватних компаній за цим видом діяльності. Потрібно врегулювати питання заготівлі деревного палива приватними компаніями, що мають відповідну техніку, в лісах державної форми власності. Щодо держлісгоспів, необхідно спростити процедуру внесення змін у розрахункові лісосіки з метою отримання дозволу на збільшення обсягів рубок» [6].

1.4 Оцінка енергетичного потенціалу біологічної маси в Україні

«Незважаючи на зростаючу роль біоенергетики і, зокрема, біопалива у світовому паливно-енергетичному балансі, в Україні спостерігається брак достовірної та детальної інформації про споживання й постачання біомаси, відсутня стандартизована система для вимірювання та обліку її ресурсів. Нестача інформації про обсяги біомаси перешкоджає посадовцям і

розробникам біоенергетичних проектів проводити задовільну сталу енергетичну політику» [6].

«З усього різноманіття методик оцінки ресурсів біомаси на сьогоднішній день в Україні апробований та знайшов широке використання в розробленні біоенергетичних проектів ресурсно-орієнтовний статистичний метод оцінки за методикою ВЕЕ (Biomass Energy Europe) Проекту «Біоенергетика в Європі», який фінансувався в рамках сьомої рамкової програми Європейської Комісії, спрямований на гармонізацію оцінок ресурсів біомаси в Європі та сусідніх країнах. Україну в проекті ВЕЕ представляли дві організації: Національний університет біоресурсів і природокористування України та Науково–технічний центр «Біомаса» [6].

«У 2018 р. Інститутом відновлюваної енергетики НАН України, Інститутом технічної теплофізики НАН України та Національним університетом біоресурсів і природокористування України розроблена методика узагальненої оцінки технічно досяжного енергетичного потенціалу біомаси, з якої виробляються тверді, рідкі та газоподібні енергоносії, що також використовує ресурсно–орієнтовний статистичний метод. Ця методика узгоджена з Державним агентством з енергоефективності та енергозбереження України та рекомендується ним як методичний матеріал для спеціалістів, що працюють у галузі відновлюваної енергетики, енергозбереження, працівників центральних та місцевих органів влади, науковців, тощо. Вона дозволяє з єдиних позицій виконувати оцінку енергетичного потенціалу біомаси як на рівні держави, так і на обласному та районному рівнях» [7].

«Енергетичний потенціал біомаси, за оцінками 2020 р. становить більше 27 млн. т у. п./рік (табл. 1.1). Основними складовими потенціалу є первинні відходи сільського господарства (солома, відходи виробництва кукурудзи на зерно та соняшника) та енергетичні культури, вирощування яких у промислових масштабах активно розвивається в країні останніми

роками. Економічний потенціал відходів сільського господарства становить 12,2 млн. тон у. п./рік, енергетичних культур — 10 млн. тон у. п./рік» [7].

«Таблиця 1.1 – Енергетичний потенціал біологічної маси в Україні

Вид біомаси	Теоретичний потенціал,	Частка, доступна для отримання енергії,	Економічний потенціал,
	млн т	%	млн т
Солома ріпаку	4,2	40	0,84
Відходи виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	40,2	40	4,39
Відходи виробництва соняшника (стебла, корзинки)	20,9	40	1,72
Вторинні відходи с/г (лушпиння, жом)	6,8	63	0,69
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	4,6	96	1,97

Примітка» [7].

«На енергетичні потреби в Україні використовується лише близько 10% загального потенціалу біомаси — 2,7 млн. тон умовного палива на рік (табл. 1.2). Головним чином, це — деревна біомаса у вигляді дров, тріски, гранул/брикетів (загалом 86% усього річного обсягу використання біомаси), та лушпиння соняшника (8%). Найменш активно застосовуються рослинні відходи — 94 тис. т соломи на рік, що становить < 1% економічного потенціалу соломи в Україні» [7].

«Таблиця 1.2 – Використання біомаси для виробництва теплової енергії в Україні

Вид біомаси / біопалива	Річний обсяг споживання*		Частка в річному обсязі споживання,	Частка використання економічного потенціалу,
	натуральні одиниці	тис. т у. п.	%	%
Солома зернових культур та ріпаку	94 тис. т	48	1,8	0,9
Дрова (населення)	5,0 млн м ³	1200	45,1	
Деревна біомаса (крім споживання населенням)	3,2 млн т	1089	40,9	>90
Лушпиння соняшнику	380 тис. т	208	7,8	41

Примітка» [7].

«Висновки щодо доступного енергетичного потенціалу біомаси ґрунтуються на теоретичній оцінці, виходячи зі статистичних даних по рівню сільсько господарського виробництва (урожайності основних культур, структури сільського господарства, коефіцієнту утворюваних відходів), рівню лісистості регіону, величини рубок головного користування та відходів деревини, що утворюються на деревообробних підприємствах, рівню заготівлі дров у даному регіоні та загальній потужності виробників біопалива рослинного походження (гранул, брикетів), деревообробних та переробних підприємств та інших підприємств, що використовують біомасу, в т. ч. для енергетичних потреб» [7].

«Урожайність енергетичних культур прямо залежить від кліматичних, ґрунтових та інших умов. Культури мають різну потребу у водному режимі, можуть значно відрізнятися по морозо- та посухостійкості.

Незважаючи на досить активний в останні роки розвиток вирощування енергетичних культур в Україні, існує ряд проблем, які вимагають розв'язання. Одна з них — відсутність енергокультур у класифікаторі сільськогосподарських культур. На сьогодні енергетична верба включена в класифікатор як технічна культура, тоді як міскантусу та інших енергокультур там немає взагалі. Це може створити юридичні та інші проблеми на певному етапі господарської діяльності виробників цих культур» [8].

1.5. Особливості та характеристика біологічної маси як палива.

«Основа біомаси – це органічні сполуки вуглецю, які у процесі з'єднання з киснем при спалюванні або в результаті природного метаболізму виділяється тепло. Засвоєна органічними сполуками енергія сонячного проміння тисячоліттями нагромаджуються в глибинах Землі у вигляді викопного палива: вугілля, нафти, газу. Разом із цим, альтернативне паливо з біомаси можливо одержати, не чекаючи мільйона років (рисунок 1.3)» [8].

«Сільське та лісове господарство – ключові галузі матеріального виробництва, що виробляють біомасу. За допомогою фізичних, хімічних, біохімічних процесів біомаса може бути трансформована у біопаливо: тверде (гранули, агробіомаси, тюки соломи, дрова), газове (біометан, біоводень), рідке (біодизель, біоетанол).

Базові принципи впровадження технології енергетичного використання біопалива:

Кожен вид біомаси здатний дати широкий спектр різнотипних енергетичних продуктів» [8].

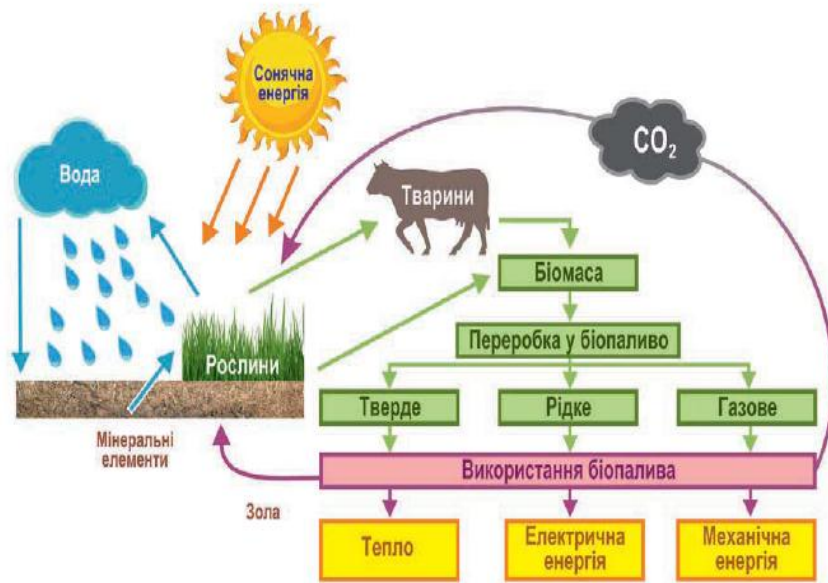


Рисунок 1.3 – Життєвий цикл енергетичної біологічної маси

«При виробництві дизельного біопалива від переробки відходів насіння олійних культур (соломи, макухи та лушпиння) можна отримати масу речовин, які мають комерційну цінність. Наприклад, спалювання соломи у твердопаливних котлах дозволяє отримати теплоту і перетворити її в електроенергію. При цьому, побічним корисним продуктом є зола, яку можна повернути у ґрунт як добриво.

Загальний економічний ефект для агропромислових галузей від упровадження переробки біомаси потрібно оцінювати комплексно.

Виробництво біопалива виправдане тоді, коли використовуються ритмічно поновлювальні запаси дешевої сировини» [8].

«Наприклад, сектор гідроенергетики, де виробіток енергії пропорційний величині потоків води, сконцентрованих за рахунок природних процесів. Прикладами таких запасів можна також назвати відходи тваринницьких ферм, відходи деревини лісопилок, міські стоки, первинні та вторинні агровідходи різного походження (солома, стебла, лушпиння, качани, тощо). При розробленні стратегії ресурсозберігаючих технологій і в державному, і в місцевому масштабі дуже важливо якісно та кількісно оцінити можливі потоки відповідної сировини, що називається оцінкою

потенціалу біомаси на деякій території. Якщо попередня концентрація сировини відсутня, то її збирання може бути технічно складним і високовартісним» [5].

«Біопаливо — це похідні органічних сполук, і завжди існує альтернатива використання останніх як хімічної сировини або конструкційних матеріалів.

Наприклад, з натуральної сировини можна виробляти пластмаси та фармацевтичні препарати; композиційні матеріали на основі рослинних волокон можна використовувати в будівництві; соломі можна використовувати як добрива, будівельні матеріали тощо» [6].

«Для вибору раціонального виду біомаси для енергетичного використання необхідно враховувати особливості місця реалізації проекту. За процесом отримання та варіантами можливого подальшого використання біомасу поділяють на такі групи:

1) органічні та органомісткі відходи переробних галузей і комунального господарства, утилізація або знешкодження яких є проблемою для виробника;

2) вторинна сировина сільськогосподарського виробництва, яка використовується або в перспективі повинна бути використана для виробництва органічних добрив і відновлення родючості ґрунту (відходи тварин, нетоварна частина врожаю сільськогосподарських культур тощо);

3) біомаса, яка спеціально вирощується для енергетичних потреб (енергетичні культури, ріпак для виробництва біопалива, культивування водоростей, вирощування фітомаси тощо)» [6].

«Варто відмітити, що біомаса 1-ї групи (за класифікацією вище), яку виробник на першому етапі згоден надавати безкоштовно або платити за її утилізацію для уникнення екологічних проблем, після впровадження ефективного способу її використання як джерела енергії отримує статус вторинної сировини. Це, у свою чергу, природно спонукає виробника колишніх відходів вимагати плати за нову сировину» [5].

«За технологічними процесами та витратами для збору, зберігання та підготовки для подальшого використання виділяють такі класи біомаси:

- біомаса, яка є побічним продуктом або відходами зосередженого стаціонарного виробництва, що накопичується в спеціалізованих сховищах або на майданчиках і не потребує додаткових значних витрат для збору, накопичення, зберігання та підготовки для подальшого використання. Наприклад, відходи переробних галузей, паперово–целюлозної та деревообробної промисловості, гнойова біомаса тваринницьких комплексів тощо;

- біомаса, яка є вторинною продукцією розосередженого в просторі та часі сільськогосподарського або лісогосподарського виробництва, що потребує додаткових витрат для збору, транспортування, накопичення, зберігання. Наприклад, нетоварна частина врожаю сільськогосподарських культур, нетоварна деревина та гілля, які отримують під час планових чищень лісових і полезахисних насаджень, садів, виноградників тощо;

- біомаса, яка спеціально виробляється для енергетичних потреб, й отримання якої потребує значних витрат на вирощування, збирання, транспортування та підготовки до використання. Найбільшого розповсюдження набула класифікація біомаси за походженням. Так, відповідно до рекомендацій довідника «Best Practices and Methods Handbook» проекту «Біоенергетика в Європі» (BEE – Biomass Energy Europe), який спрямований на гармонізацію оцінок ресурсів біомаси в Європі та сусідніх країнах, виділяють чотири категорії біомаси для енергетичного використання (табл. 1.3)» [5].

«Паливні характеристики біомаси. Біомаса, що використовується як паливо, має низку особливостей, порівняно з традиційними енергоносіями систем опалення. Деякі з характеристик твердого біопалива, у першу чергу зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні), за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. У той же час, його основні паливно–технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі» [6].

«Біомаса, як і будь-яке біопаливо, складається з горючої частини та баласту (зола та волога). Зола та горюча частина утворюють суху масу палива. Вологість палива – змінна величина, тому в довідкових таблицях, наприклад, протоколах випробування вміст золи та летких речовин наводять у % на суху масу. Тоді як на практиці в котельнях переважно ці показники визначаються у % на робочу масу вологого палива. З метою систематизації показників якості палива застосовують індекси, найбільш розповсюджені з яких наведені на рисунок 1.4» [6].

«Таблиця 1.3 – Класифікація біомаси за походженням

Категорія	Тип	Приклади
I. Лісова біомаса	Стовбурова деревина	Деревина з рубок головного користування
	Первинні лісові залишки (залишки при заготівлі деревини)	Деревина з рубок догляду, лісосічні відходи або порубкові залишки (гілки, вершини дерев) і пні
	Вторинні лісові залишки (відходи перероблення деревини)	Тирса та тріска, кора, залишки деревини, чорний луг
	Лісова біомаса з плантацій із короткою ротацією на землях лісів	
	Дерева поза лісами	Деревина з лісосмуг
II. Енергетичні рослини	Олійні культури	Соняшник (о), ріпак (о), соя (о), ятрофа (б)
	Цукромісткі культури	Цукрова тростина (б), цукровий буряк (о), солодке сорго (о)
	Крохмаломісткі культури	Кукурудза (о), пшениця (о), ячмінь (о)
	Деревні культури не із земель лісів	Тополя (б), верба (б)
	Трав'янисті культури	Міскантус (б)

Примітка» [6].

«Продовження таблиці 1.3

III. Залишки сільськогосподарства розглядаються як додаткова продукція сільськогосподарської діяльності:	Первинні або пожнивні залишки, побічна продукція рослинництва	Солома, стебла соняшника та кукурудзи
	Вторинні залишки, отримують при переробленні основної сільськогосподарської продукції	Жом, лушпиння
	Гній	
IV. Органічні відходи	Органічні відходи включають відходи, що зазнають біологічного розкладу, з домогосподарств, промислові та від торгівельної діяльності	Побутові відходи, що біологічно розкладаються; біогаз із полігонів ТПВ; осад стічних вод
Позначення: (о) – однорічні енергетичні рослини; (б) – багаторічні енергетичні рослини.		

Примітка» [6].

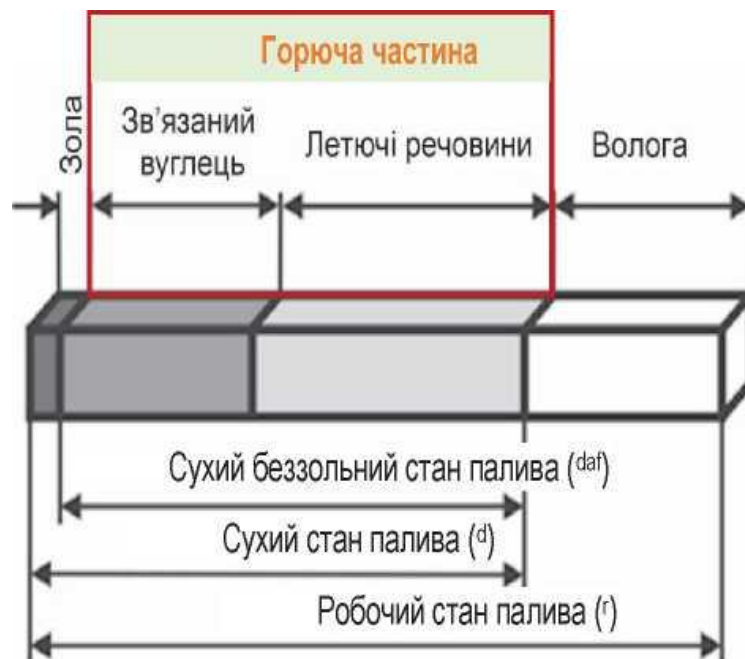


Рисунок 1.4 — Компоненти які входять до біологічної маси

«Робочий стан палива позначається верхнім індексом r або p — це стан палива з таким вмістом води та зольністю, з яким воно виробляється (добувається), відвантажується та використовується.

Сухий стан палива (верхній індекс d) — стан палива без вмісту загальної води.

Сухий беззольний стан палива (верхній індекс daf) — умовний стан палива, що не містить загальної води та золи.

Вихід летких речовин у біопаливі високий (зазвичай понад 70%), тому більшість тепла при його спалюванні виділяється у топковому просторі, а не у шарі палива, що горить» [6].

Основні характеристики твердої біологічної маси і біологічного палива наведені в таблиці 1.4.

«Вологість визначає необхідність попереднього сушіння та може вплинути на вибір технології перетворення. В основному, солом зернових культур має порівняно низький вміст води (в межах 20%) і може бути гранульована/спалена без додаткового сушіння. Варто зазначити, що оптимальними показниками відносної вологості для соломи є 11...15%. Солому з відотною вологістю вище 22% не бажано використовувати як паливо, оскільки це погіршує процес спалювання» [6].

Таблиця 1.4 – Основні характеристики твердої біологічної маси та біологічного палива

Тип біомаси / біопалива	Вологість, %	Щільність, кг/м ³	Насипна щільність, кг/м ³	Зольність, %	Нижча теплота згорання, Мдж/кг
----------------------------	-----------------	---------------------------------	--	-----------------	---

«На противагу соломі, деревна біомаса характеризується високою вологістю (40...50%), що призводить до необхідності додаткової сушки перед гранулюванням. Потрібно звернути увагу на те, що складування деревної

біомаси у вигляді тріски з вологістю вище 30...40% є не завжди ефективним із погляду використання площ складування, а також, протягом тривалого часу такого зберігання може призвести до пріння та навіть самозаймання тріски.

Нижча теплота згорання різних видів біомаси істотно залежить від її вологості ($W\%$), наприклад, може варіюватися від 8...10 МДж/кг для деревної тріски або лісосічних відходів (W 40...50%) до 17...19 МДж/кг для гранул з деревини (W 10%). У загальному вигляді залежність нижчої теплоти згорання деревини та соломи зображена на рис 1.5. Зольність також впливає на теплотворну здатність, але ступінь цього впливу, навіть з урахуванням можливих коливань, не такий великий. Вологість біомаси та пов'язана з нею нижча теплота згорання повинні бути прийняті до уваги при складанні контрактів на постачання біомаси/біопалива на енергетичний об'єкт» [6].

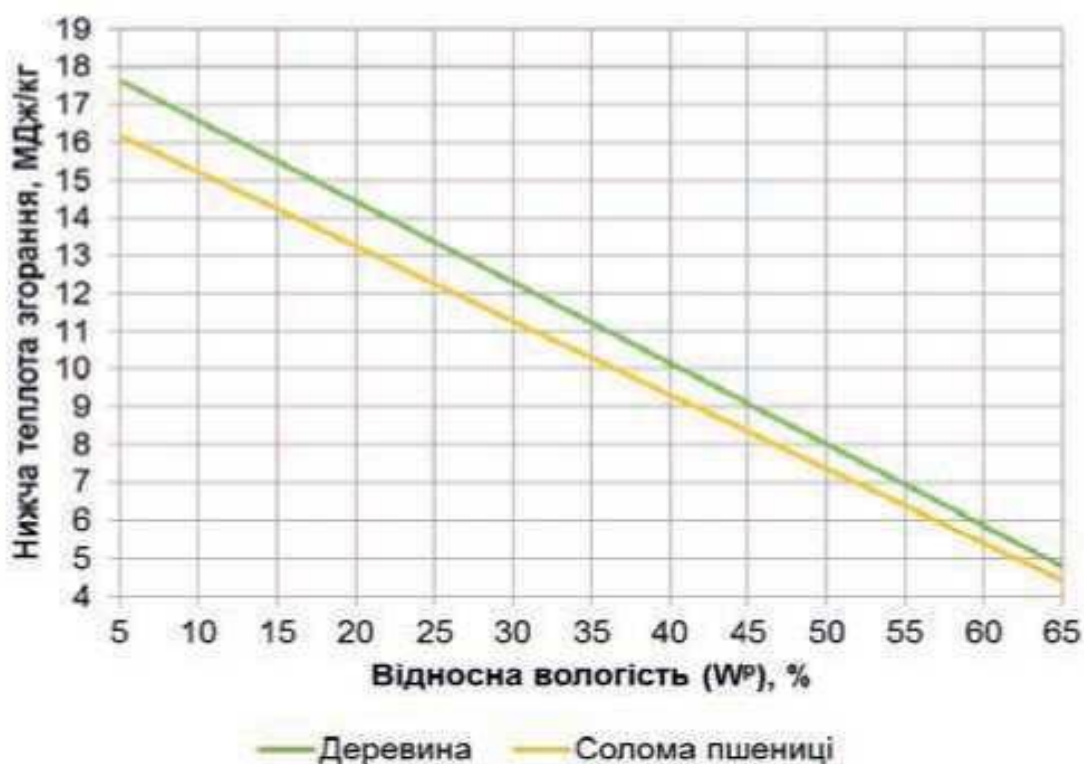


Рисунок 1.5 – Графік залежності показників нижчої теплоти згорання біологічної маси різної сировини від відносної вологості.

«Ще одним важливим параметром є об'ємна (насипна) щільність, оскільки вона визначає можливу (економічно обґрунтовану) відстань перевезення біомаси. Неущільнена біомаса, як, наприклад, солома січка (насипна щільність близько 50 кг/м^3) або лісосічні відходи (насипна щільність 150 кг/м^3) повинні бути використані безпосередньо на місці або можуть перевозитися на дуже короткі відстані (декілька кілометрів). Наприклад, лісосічні відходи можуть бути доставлені до найближчої лісової дороги, де відбувається їхнє подрібнення до стану тріски (насипна щільність 300 кг/м^3). Подрібнена або ущільнена біомаса у вигляді деревної тріски, гранул ($650\ldots700 \text{ кг/м}^3$) або тюків соломи (понад 100 кг/м^3) може бути обґрунтовано перевезена на $200\ldots250$ і більше кілометрів (за певних умов). При використанні деревної біомаси у вигляді тріски особливу увагу необхідно звертати на її якість, що залежить від розміру фракції, вологості та вмісту забруднювальних речовин (грунту, каміння тощо)» [6].

«Фракційні розміри тріски важливі з погляду її транспортування механічними пристроями. Якщо партія тріски дуже неоднорідна, то є ймовірність блокування пристроїв. Приміром, тріска, що містить великі шматки, може заблокувати шнековий конвеєр. Якщо в паливі міститься багато пилу та тріски менше допустимого розміру, то воно стає менш проникним для повітря. Тому основною умовою якості паливної тріски є забезпечення якнайбільш однорідного фракційного складу, недопущення попадання в неї великих кусків та обмеження кількості маленьких часток.

Важливою характеристикою енергетичного використання тюкованої соломи та інших агро відходів є вага та розміри тюка. Для спалювання на потужних енергетичних установках найчастіше використовують великогабаритні тюки завширшки $1,2 \text{ м}$, заввишки $0,9$ або $1,3 \text{ м}$ і вагою $350\ldots600 \text{ кг}$, що робить їхнє транспортування, складування та зберігання економічно доцільним» [6].

«Рослинні відходи як паливо порівняно із традиційними його видами та деревною біомасою мають ряд властивостей, що можуть негативно

впливати на процес спалювання. Це вимагає досить ретельного підходу до їхнього застосування. Так, солома може містити хлор і лужні метали (табл. 1.5), завдяки чому в процесі її спалювання утворюються такі хімічні сполуки, як хлорид натрію та хлорид калію» [6].

«Таблиця 1.5 – Елементарний склад біопалива

Показники	Свіжа солома («жовта»)	Лежала солома («сіра»)	Солома озимої пшениці	Стебла кукурудзи*	Стебла соняшника*	Деревна тріска
Вологість, %	10...20	10...20	11,2	45...60 (після збирання) 15...18 (висушені на повітрі	60...70 (після збирання) –20** (висушені на повітрі	40
Нижча теплота згорання, МДж/кг	14,4	15	14,96	16,7 (с.р.) 5–8 (W 45...60%) 15–17 (W 15...18%)	16 (W<16%)	10,4
Вміст летких речовин, %	>70	>70	80,2	67	73	>70
Зольність, %	4	3	6,59	6...9	10...12	0,6...1,5
Елементарний склад, %:						
вуглець	42	43	45,64	45,5	44,1	50
водень	5	5,2	5,97	5,5	5	6
кисень	37	38	41,36	41,5	39,4	43
Температура плавлення золи, °С	800- 1000	950- 1100	1150	1050- 1200	800- 1270	1000- 1400

Примітка» [6].

«Ці сполуки викликають корозію сталевих елементів енергетичного обладнання, особливо при високих температурах. Іншою особливістю соломи як палива є відносно низька температура плавлення золи — 800...950 °С (для порівняння — у деревини ~1200°С)» [6].

«Стебла кукурудзи також містять хлор й лужні метали. Вміст хлору становить 0,2% маси сухої речовини, що є близьким до показника «сірої» соломи. Вміст калію, виходячи з наявних даних для стрижнів кукурудзи, такий же, яку соломі (6,1 мг/кгс.р.). Температура плавлення золи в стебел кукурудзи вища, ніж у соломи — 1050...1200 °С. Це є позитивним фактором із погляду застосування як палива. Крім того, в стеблах кукурудзи майже на порядок менший вміст сірки, ніж в соломі» [6].

1.6. Основні види та характеристики твердого біологічного палива з відходів рослинництва

«Найбільш широко застосовують тверде біопаливо, виготовлене з твердих рослинних відходів у вигляді пелет та брикетів [3, 5] (рис. 1.6)» [7].



Рисунок 1.6 – Зразки пелет із різної біологічної сировини

а – лущиння гречки; б – солома культур зернових; в – стружка деревна; г - торф; д – лущиння соняшника; ж – лущиння рису

«Пелети – це спресовані частинки рослинного походження, що мають форму циліндрів максимального діаметра до 25 мм і завдовжки від 10 до 50 мм. Вони можуть бути виготовлені з деревини, торфу, трави, лушпиння, соломи, вугільного пилу та багатьох інших видів рослинної сировини, а також їх сумішей» [7].

«Циліндрична форма паливних гранул забезпечує їм сипкість і дозволяє застосовувати автоматизацію у подавальних пристроях енергетичних установок.

Паливні брикети – це спресовані вироби циліндричної, прямокутної, шестигранної або будь-якої іншої форми, довжиною 100-300 мм (рис. 1.7). При виготовленні брикетів циліндричної форми, їх довжина не повинна перевищувати діаметр у п'ять разів, який більший ніж 25 мм, та зазвичай становить $60 \div 75$ мм. Стандартних розмірів у даній продукції немає» [7].



Рисунок 1.7 – Види форм та конфігурацій паливних брикетів з біологічної сировини різного походження

«Паливні пелети і брикети мають високу конкурентоспроможність порівняно з іншими видами традиційного палива. Так, для їх виробництва витрачається близько 3 % енергії, при цьому під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько 10 %, а при виробництві електроенергії – 60 %. Їх теплотворна здатність в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вугілля. При спалюванні 2000 кг пелет виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Горіння такого палива в топці котла відбувається більш ефективно – кількість золи не перевищує 0,5...1,0 % від загального об'єму використаного палива. Крім того, ціни на таке паливо не залежать від зростання цін на викопні види палива і на підвищення екологічних податків. Порівняльну характеристику різних видів твердого біопалива наведено в таблиці 1.6» [7,8].

Слід зазначити, що у виробництві твердого біологічного палива останнім часом пропонується використовувати біологічну масу у вигляді опалого листя дерев. Невелика частка навіть такого безкоштовного сировини може бути значним внеском у процес зменшення спалювання природних копалин.

1.7 Стандарти на біологічне паливо.

«Для максимального одержання економічної ефективності при використанні на енергетичні цілі рослинної біомаси, необхідно забезпечити підвищення питомої теплоти згоряння твердого палива, керованість процесом горіння та зручність транспортування до енергетичних установок.

Для цього необхідно дотримуватись основних вимог технології виготовлення продукції, використовувати якісну сировину, яка повинна відповідати встановленим вимогам, тобто створювати якісне стандартизоване паливо» [8].

Таблиця 1.6 – Порівняльна характеристика різних видів твердого біологічного палива

Вид палива	Вологість матеріалу, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %
Гілки плодових дерев	20	10,5	—	—
Виноградна лоза	20	14,2	—	—
Тріски дерев, тирса	40-45	10,5-12,0	0	2
Брикети з деревини	7-8	16,8-21,0	—	—
Пелети з деревини	9-10	17,5-19,5	0,1	1
Солома	20	10,5-12,5	—	—
Солома в тюках	14-17	14,2	—	—
Пелети з соломи	8-10	16,5-18,8	0,2	4
Брикети з соломи	6-10	15,4-21,0	—	—
Брикети з полови	—	16,7	—	—
Стебла соняшнику	20	12,5	—	—
Брикети з лушпиння соняшнику	6-8	21,0-21,8	—	—
Пелети з лушпиння соняшнику	6-8	18,5-20,0	—	—
Стебла кукурудзи	20	12,5	—	—
Брикети з качанів	—	18,0	—	—

«На сьогоднішній день ще не встановлено українського стандарту на біопаливні брикети, окрім проекту ДСТУ «Брикети та гранули паливні. Технічні умови. Частина 1. Брикети та гранули паливні з деревинної сировини» розробленого в Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Тому більшість виробників орієнтується на стандарти західноєвропейські. В європейських країнах у 90-х роках відбулася перша хвиля стандартизації для підприємств та виробників паливних брикетів» [8].

«Стрімкий розвиток виробництва та споживання паливних брикетів, а також зростання кількості представників суміжних цього ринку, стали передумовою для введення нових норм в ЄС щодо якості паливних брикетів.

За новим стандартом EN 14961-2 вимог, введеного в дію 1 січня 2011 року, були не тільки посилено, а й доповнено новими критеріями, які підтверджуються міжнародним сертифікатом EN plus» [8].

«За новими стандартами брикети розподіляються за якісними характеристиками на три основних класи:

- EN Plus-A1 – це брикети найвищої якості діаметром до 8мм із зольністю до 0,5%. Фактично цей стандарт замінив собою стандарт на брикети DIN plus.

- EN Plus-A2 – це брикети із зольністю до 1,5% або це стандарт на промислові брикети.

- EN-B – це брикети із зольністю до 3%. В нашій країні з такими характеристиками зустрічаються брикети із вторинних сільськогосподарських відходів» [8].

«Найбільш жорсткі вимоги встановлені для паливних брикетів першого сорту A1. Максимально допустима зольність для таких брикетів становить 0,5 % (брикети з хвойних порід дерева) і 0,7 % (із листяних порід). Такі брикети рекомендовано до використання у приватному секторі. Другий сорт паливних брикетів A2 може мати зольність до 1 % і бути вироблений із змішаних сортів дерев. Брикети такого стандарту зазвичай використовуються у котельних широкого профілю. Так звані промислові брикети за новими нормами віднесені до третього сорту. Вони призначені для використання на потужних теплових станціях промислового типу» [8].

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ

2.1. Аналіз сучасного стану обладнання та технологічних процесів для виготовлення палива з твердих рослинних відходів

«В основі технології виробництва паливних гранул лежить процес пресування шнеком біо-відходів (лушпиння соняшнику, гречки та ін) і дрібно подрібнених відходів деревини (тирси) під високим тиском, а в ряді випадків і при нагріванні від 250 до 350 С °. Одержувані паливні гранули не включають в себе ніяких зв'язувальних речовин, крім одного натурального - лігніну, що міститься в клітинах рослинних відходів. При використанні агросировини можливе додавання сполучних елементів. Температура, присутня при пресуванні, сприяє оплавленню поверхні брикетів, яка завдяки цьому стає більш міцною, що важливо для транспортування брикет» [9].

«Сировиною для виробництва гранул є - тирса різних порід деревини, тріска, лушпиння соняшнику, гречки, солома і багато інших рослинних відходів.

Основним чинником, що визначає механічну міцність, водостійкість і калорійність гранул, є їх щільність. Чим щільніше гранула, тим вище показники якості. Чим нижче щільність гранул, тим менше їх калорійність. Наприклад, при щільності гранул 650-750 кг/м³ калорійність становить 12-14 МДж / кг; при щільності 1200-1300 кг/м³ - 25-31 МДж / кг» [9].

«Якість гранул в значній мірі залежить від вологості вихідної суміші. Розрізняють оптимальну і критичну вологості. Оптимальна вологість становить 4-10%, при ній досягаються найкращі механічні характеристики брикетів (слід враховувати, що для деяких видів сировини верхньою межею вологості є 6-8%). Критичною називається вологість, при якій можливе утворення гранул. Критична вологість знаходиться в межах 10-15%» [9].

«Весь процес виробництва умовно можна розділити на кілька етапів: подрібнення, сушіння, кондиціонування, пресування, охолодження, розфасовка і упаковка.

На початку виготовлення біопалива зібрані рослинні відходи подаються на попереднє подрібнення. Після подрібнення сировина проходить сепарування з вилучення з неї каміння, коріння та інших домішок, а матеріал надходить на остаточне подрібнення. Після подрібнення біосировина підлягає сушінню, а потім кондиціонуванню для одержання необхідної вологості перед пелетуванням. Виготовлені пелети проходять спочатку охолодження, а потім просіювання перед дозуванням на вагах. Заключний процес в технології виготовлення біопалива перед складуванням готової продукції і відправлення її споживачеві є фасування» [9].

«Залежно від стану вхідної сировини, її технологічних параметрів та фізико-механічних характеристик, кількість технологічних операцій та послідовність їх виконання може бути змінена у будь-якому окремо взятому випадку. Так, наприклад, при застосуванні сировини з вологістю до 12 % (лушпиння соняшника або суха стружка), етап сушіння відсутній. Схемне рішення виробництва біопалива з твердих рослинних відходів зображено на рисунку 2.1» [9].

«Повний технологічний процес комплексу по виготовленню біопалива, наведений на рисунку 2.1 та полягає у наступному. Дрібнофракційна сировина підвозиться автотранспортом і зсипається на механізований рухомий склад 1, звідки сировина з регульованою швидкістю подачі спрямовується до ланцюгового (скребкового) транспортеру 2 і потім на дисковий сепаратор 3» [9].

«На сепараторі від сировини відділяються каміння, коріння інші домішки, які потрапляють до переносного контейнера, а сировина самопливом потрапляє до завантажувальної секції 25 агрегату сушки-подрібнювача 4. До агрегату 4 подаються продукти горіння з теплогенератора 5 і засмоктується холодне атмосферне повітря через трубу

6. Початково змішуються продукти горіння і холодне повітря. Пропорція змішування регулюється автоматично, що забезпечує підтримку заданої температури теплоносія. Потім теплоносії змішується з вологою сировиною і засмоктується в агрегат сушки-подрібнювача 4. В останньому сировина подрібнюється і потім висушується, піднімаючись в потоці теплоносія до динамічного класифікатора, що знаходиться у головній секції агрегату сушки-подрібнювача» [10].

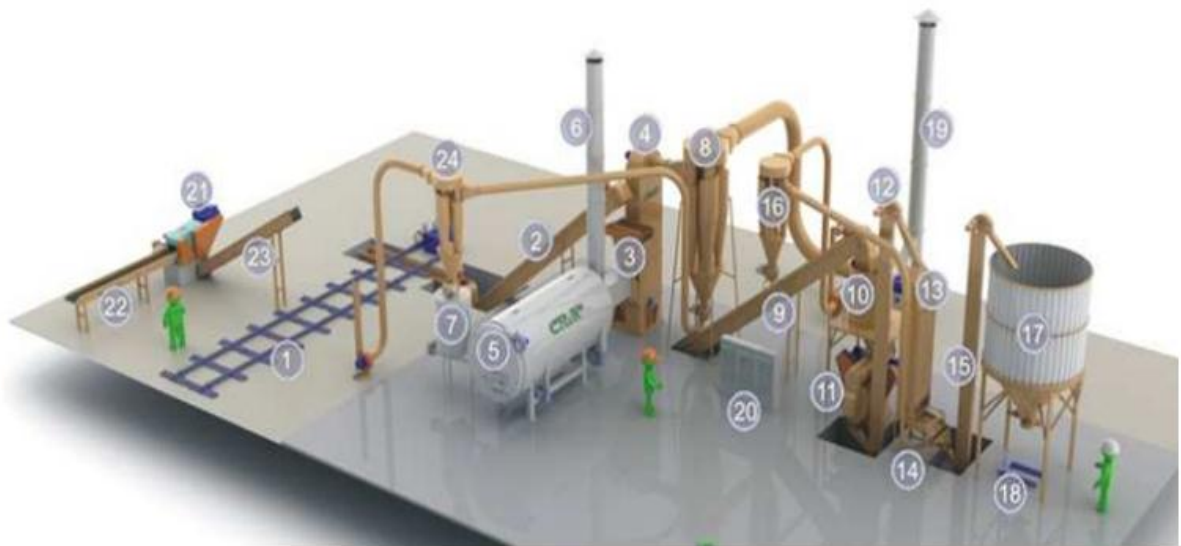


Рисунок 2.1 – Схемне технологічне рішення виробництва біопалива з твердих відходів рослинництва: 1 - колія; 2, 9, 22, 23 - транспортери; 3 - сепаратор; 4 – сушильний та подрібнювальний агрегат; 5 – тепловий генератор; 6 – труба атмосферного повітря; 7 – бункер для палива; 8, 16 - циклони; 10 - бункер; 11 – утворювач пелет; 12, 15 – норії; 13 – охолоджувач гранул; 14 - сортувальник; 17 - бункер готової продукції; 18 - ваги; 19 - труба димова; 20 - пульт управління; 21 - машина для подрібнювання; 24 – система пневматичного транспорту

«Динамічний класифікатор, частота якого задається з пульта управління 20, пропускає дрібну і суху сировину, а великі і вологі частинки сировини повертає до ротора агрегата. Такий процес повторюється до одержання необхідної вологості і ступеня подрібнення сировини.

Подрібнена і висушена сировина засмоктується в осадочний циклон 8 за рахунок розрідження, що створюється димососом. В циклоні сировина осідає за рахунок відцентрової сили і рухається вниз, а відпрацьований теплоносії викидається в димову трубу 19. З циклона сировина через шлюзовий затвор подається в шнековий або ланцюговий транспортер 9, далі надходить в бункер пелетоутворювача 10. Всередині бункера знаходиться пристрій, що перешкоджає злежуванню сировини» [10].

«З бункера сировина подається шнековим живильником з регульованою швидкістю подачі до змішувача (кондиціонера) преса, сюди ж подається вода або пара. У змішувачі відбувається кондиціонування продукту, тобто доведення вологості сировини до рівня, що необхідне для процесу гранулювання. Зі змішувача зволожена сировина через віддільник феромагнітних домішок виводиться в прес-пелетоутворювач 11.

В камері пресування пелетоутворювача сировина затягується між матрицею, що обертається і пресувальними роликами (вальцями) і продавлюється в радіальні отвори матриці, де під дією великого тиску відбувається формування гранул» [10].

«Виштовхнуті з отворів гранули зрізаються нерухомим ножем, зсипаються через рукав кожуху на вертикальний транспортер-норію 12, який подає їх в охолоджувальну колонку 13. В охолоджувальну колону 13 через шар пелет вентилятором циклона 16 засмоктується повітря, яке їх охолоджує і одночасно видаляє частину незгранульованої сировини в циклон 16. В процесі охолодження вологість гранул зменшується за рахунок випареної вологи, і в них відбуваються фізико-хімічні зміни. В результаті вони набувають необхідну твердість, вологість і температуру. З охолоджувальної колонки, гранули надходять на сортування 14, де відбувається відокремлення кондиційних виробів від крихти, яка направляється на повторне гранулювання» [10].

«Норією 15 гранули подаються в бункер готової продукції 17. На ньому розташовано дозатор, а під ним електронні ваги 18. Готову продукцію

завантажують у великі мішки (біг-беги), або здійснюють розфасовку у 15-и кілограмові поліетиленові мішки, які укладаються на піддон» [10].

«Заповнені біг-беги або піддони з мішками навантажувальником або гідравлічним візком транспортуються на склад готової продукції. Теплогенератор 5 завантажується паливом в автоматичному режимі з бункера палива 7. Поповнення бункера паливом відбувається автоматично за рахунок повернення частини підготовленої до пресування сировини від осадочного циклону 8 системою пневмотранспорту 24.

При надходженні на переробку довгих рослинних відходів, вони подаються у подрібнювальну машину 21 транспортером 22. З неї тріска потрапляє до транспортеру 23 і далі на механізований рухомий склад 1» [10].

2.2 Дослідження конструкції виробничого обладнання для виготовлення твердого біопалива.

«Попереднє подрібнення рослинних відходів (очерету, стебел камишу, соломи, сіна, люцерни тощо) до фракції 5...10 мм здійснюється подрібнювальними та соломорізальними машинами (рис. 2.2. і 2.3)» [11].



Рисунок 2.2 – Подрібнювач відходів рослинництва СУ-1500 продуктивністю 1200 кг/год



Рисунок 2.3 – Різальна машина для стеблових компонентів (соломи)

«Для остаточного подрібнення рослинних відходів (соломи, лушпиння, тирси, тощо) до фракції 0,5...1,5 мм перед подачею до преса в лініях гранулювання та брикетування можуть застосовуватись наступні типи дробарок (рис. 2.4, 2.5, 2.6)» [11].



Рисунок 2.4 – Молоткова дробарка ДМ-2000 для подрібнення компонентів біологічної маси



Рисунок 2.5 – Дробарка А1-ДМ2Р для подрібнення рослинних компонентів різного типу



Рисунок 2.6 – Дробарка молоткова «ЗУБР» продуктивністю від 1 до 5 т/год.

«У деяких технологіях виготовлення пелет замість подрібнення молотковою дробаркою можуть застосовуватись дезінтегратори (рисунок 2.7)» [11].



Рисунок 2.7 – Конструкція дезінтегратора з двома електричними двигунами

«Дезінтегратор забезпечує подрібнення сировини до рівня 5...10 мкм з рівнем вологості до 40 %. При цьому відбувається зниження енерговитрат на сушіння біоматеріалу з перерозподілом потужностей: зниження потужності пресового обладнання в 25 разів при збільшенні ланки подрібнення (заміна молоткової дробарки на дезінтегратор) до 2 разів.

Для доведення вологості матеріалу до нормативних значень використовують сушарки барабанного або стрічкового типу. Вибір типу сушарки визначається видом сировини, вимогами до якості продукції і джерелом одержання теплової енергії.

В технологічному процесі виробництва твердого біопалива сушка є найбільш енергоємним процесом. Варіант сушарки призначеної для сушки рослинних відходів вологістю 50- 75 % до необхідної вологості 10-15 % наведено на рисунку 2.8» [11].



Рисунок 2.8 – Сушильна лінія барабанна АВМ для відходів

«Для сушки соломи, стебел зернових культур, стружки інших рослинних відходів, а також в лініях з виробництва паливних пелет або брикетів може використовуватись трубчаста сушарка (рис. 2.9) [12].

Сушильний комплекс барабанного типу продуктивністю до 1000 кг/год, призначений для сушки соломи, лущиння соняшника, гречки, тирси, комбікорму та інших сипких матеріалів в комплектації ліній гранулювання та брикетування, наведено на рисунку 2.10» [12].



Рисунок 2.9 – Трубчаста сушарка для сировини



Рисунок 2.10 – Сушильний комплекс подрібненої біологічної сировини барабанного типу продуктивністю до 1000 кг/год

«Для додаткового зволоження сировини застосовують звичайно шнекові змішувачі, що мають можливість подачі води або пари. Пару застосовують для зниження міцності і збільшення пластичності сировини.

З метою охолодження пелет можуть застосовуватись протитоккові охолоджувачі (рис. 2.11). В таких установках біопаливо надходить в охолоджувач і рівномірно розподіляється за допомогою спеціального розподільника. Повітря проходить через шар продукту у протитоківому напрямку, охолоджуючи його. Замість циклона, що використовується у технологічній лінії по виготовленню біопалива, можуть застосовуватись просіювальні машини (рис. 2.12), які потрібні для відділення дрібної фракції, що виникає при частковому подрібненні окремих гранул, і доведенні кінцевого продукту до необхідних якісних показників» [12].



Рисунок 2.11 – Протитоковий охолоджувач готового біологічного продукту (ІСК Group Україна)



а



б

Рисунок 2.12 – Просіювач готового біологічного продукту фірми SALMATEC – (а), просіювач ІСК Group, Україна – (б)

«Принцип роботи просіювача полягає у розділенні початкової суміші на фракції шляхом послідовного її просіювання через кілька ярусів решіт, що здійснюють зворотно-поступальні і коливальні рухи, та виділенні легких

домішок і пилу з крупної фракції шляхом проходження її через висхідний потік повітря у витяжному каналі.

Для невеликих господарств може бути прийнятний комплекс обладнання для виробництва пелет, показаний на рисунку 2.13» [13].

«Виділяють два основних види пелетоутворювачів (пресгрануляторів) – з плоскою і циліндричною матрицею (рис. 2.14).

Преси виготовляються з міцних матеріалів з жорсткими корпусами. У компактних моделях пресів-грануляторів перевага віддається плоским матрицям. Приклади компоновки таких пресів з електроприводом на загальній рамі наведено на рис. 2.15, 2.16» [15].



Рисунок 2.13 – Обладнання з виробництва паливних гранул для дрібних сільськогосподарських підприємств

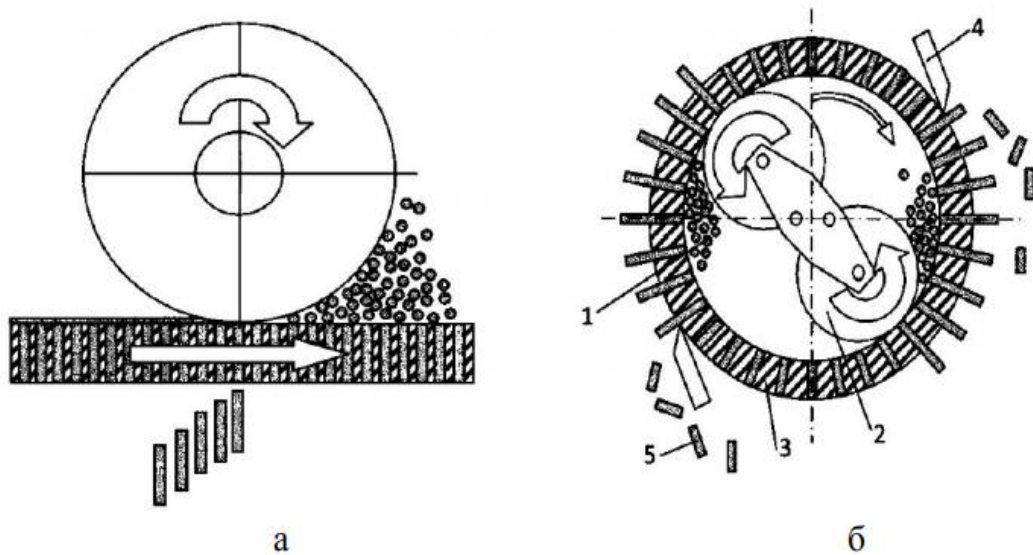


Рисунок 2.14 – Основні конструктивні схеми прес-грануляторів
 а – з матрицею плоскою; б – з матрицею циліндричною; 1 – сировина;
 2 – ролики притискувальні; 3 – матриця перфорована; 4 – ножі; 5 – гранули



Рисунок 2.15 – Варіант компоновки електричного привода і прес-гранулятора на загальній рамі



Рисунок 2.16 – Варіант компоновки та роботи преса-гранулятора (у розібраному стані) і електричного привода

«У верхній частині корпусу преса-гранулятора розміщується робочий вузол – матриця з притискувальними роликами (рис. 2.17). Матриця і ролики виготовлені із спеціальних загартованих зносостійких сплавів» [12].



Рисунок 2.17 – Робоча матриця з роликами притискувальними, розташованими в корпусі преса-гранулятора

«Плоска матриця звичайно має товщину не менше 20 мм з отворами (фільєрами) комбінованого профілю (рис. 2.18)» [13].



Рисунок 2.18 – Набір матриць плоских для грануляторів

«Притискувальні ролики (котки) мають зубчасту поверхню, що створює контактне напруження зминання сировини на матриці, тому через філь'єри матриці сировина продавлюється та обрізається ножами. В конструкціях можуть використовуватись два, три або чотири ролики (рис. 2.19, 2.20).

Розміри притискувальних роликів повинні відповідати робочій площині матриці з отворами. Циліндричні матриці найчастіше застосовуються у стаціонарних промислових установках (рис. 2.21, 2.22).

При виготовленні палива у вигляді брикетів, відходи рослинного походження пресуються переважно на шнекових, гідравлічних та штемпельних (пуансонних) пресах різних конструкцій. Перевагою таких пресів, що характеризуються зміною тиску в камері пресування, у порівнянні з грануляторами для виготовлення пелет, є зниження вимог до фракційного складу сировини перед пресуванням та можливість створювати брикети підвищеної густини» [13].



Рисунок 2.19 – Конструкція преса-гранулятора з двома притискувальними роликами



Рисунок 2.20 – Конструкція преса-гранулятора з чотирма роликами



Рисунок 2.21 – Циліндрична матриця з внутрішнім роликом



Рисунок 2.22 – Сформовані паливні гранули на виході з циліндричної матриці

«В шнекових пресах (рис. 2.23) формування матеріалу відбувається при одночасному її просуванню по циліндру преса. Недоліком шнекових

пресів є виготовлення брикетів невисокої густини, а гідравлічних – невисока продуктивність» [14].

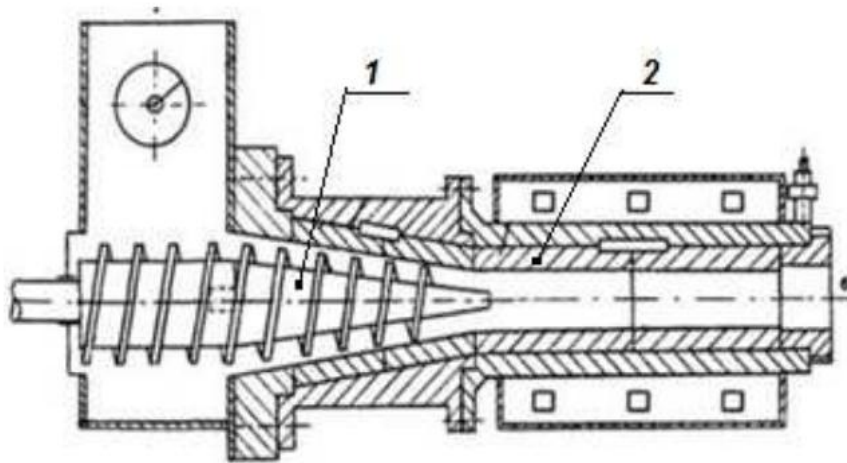


Рисунок 2.23 – Шнековий прес для пресування біологічної сировини:

1 – шнек пресувальний; 2 – матриця формуюча

2.3 Висновки за розділом

З аналізу різних технологій комплектування виробничого обладнання [20, 21, 22] можна зробити висновок, що процеси гранулювання і брикетування рослинних вторинних відходів з метою виготовлення паливних гранул є найбільш раціональними в технологічному процесі виробництва біологічного палива. Такий виробничий процес реалізується в технологічному безперервному режимі, дає можливість отримати готові вироби об'ємом у 3-5 разів меншим за початковий розмір сировини і мають достатню робочу густину продукту, що поліпшує ефективність подальшого використання гранул в якості палива.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГРАНУЛЮВАННЯ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

3.1. Чинники, що впливають на процеси виготовлення твердого біопалива

«На енергозатрати в процесі виготовлення пелет і брикетів з рослинної сировини та їх якість суттєво впливають такі основні параметри:

- фізико-механічні характеристики біосировини;
- технологічні:
- створюваний на неї тиск і температура та конструктивні:
- геометричні розміри та компоновка матриці або камери пресування, шорсткість їх бічної поверхні.

Між цими параметрами немає чіткого функціонального зв'язку. Наприклад, з практики виробництва пелет відомо, що інколи солома одного і того ж сорту пшениці з різних полів гранулюється з різними кінцевими фізико-механічними характеристиками, а з деяких ділянок взагалі не вдається отримувати пелети задовільної якості» [15].

3.1.1. Вплив фізико-механічних властивостей рослинних твердих відходів на якість виготовленого біологічного палива.

«Вплив основних параметрів технологічного процесу виготовлення біопалива з твердих рослинних відходів на його реологічні властивості. Якість виготовленого біопалива з твердих рослинних відходів значно залежить від його реологічних властивостей, зокрема пружності, пластичності, в'язкості, що характеризуються модулем Юнга та коефіцієнтом Пуассона» [15].

«В роботі вивчалась залежність коефіцієнта Пуассона спресованої деревинної тирси сосни від тиску пресування. Встановлено, що коефіцієнт Пуассона зі зростанням тиску спочатку зростає, а після досягнення тиску пресування 8...10 МПа, зменшується за асимптотою. Абсолютна величина коефіцієнта Пуассона тим вище, чим нижче вологість початкової деревинної тирси (рис. 3.1)» [15].

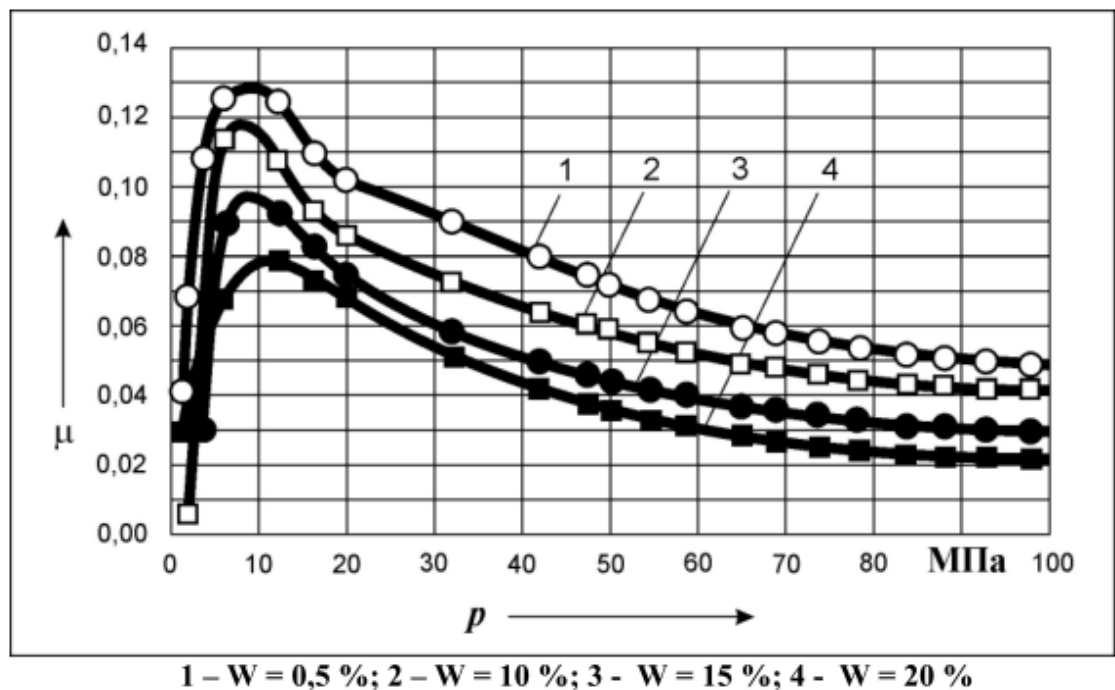


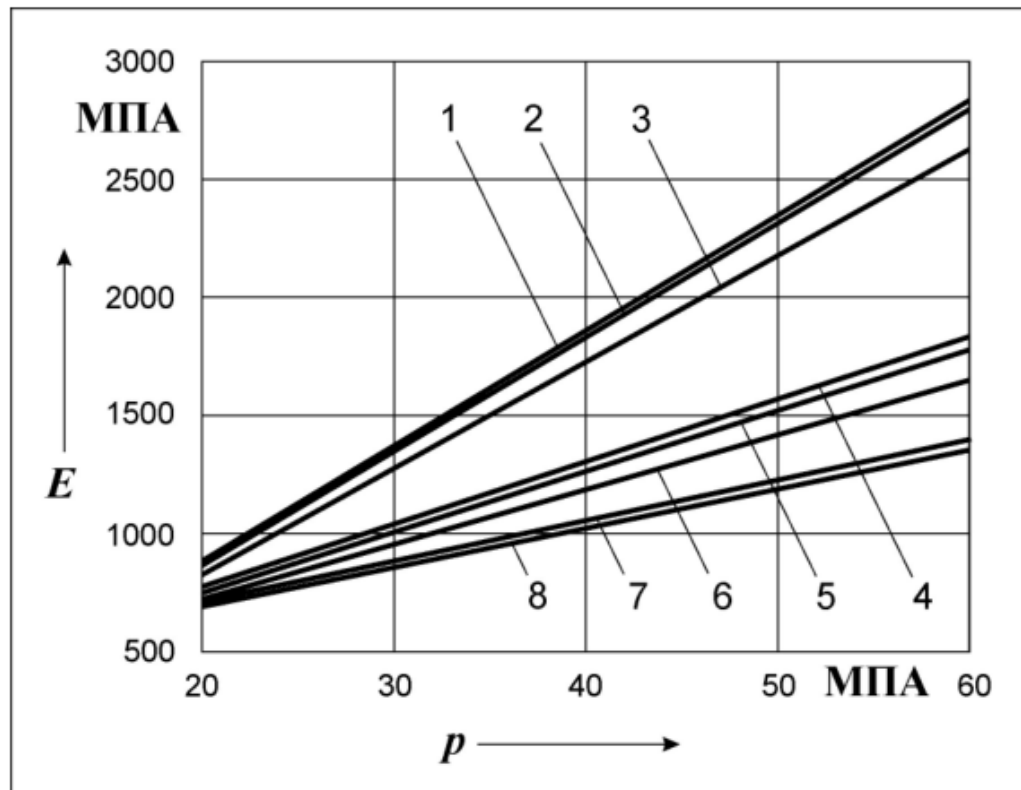
Рисунок 3.1 – Вплив тиску пресування (P) деревної тирси з сосни фракційним складом $\delta \leq 2$ мм на коефіцієнт Пуассона μ в залежності від вологості W тирси

«Аналогічна залежність зміни коефіцієнта Пуассона спостерігається при зміні фракційного складу і виду деревини (береза, ялина). Для оптимальної вологості за умовою ущільнення ($W=10\%$) при тиску пресування $p=20\ldots30$ МПа коефіцієнт Пуассона пропонується приймати $\mu=0,07\ldots0,08$.

Дослідження модуля Юнга на стиснення для спресованої деревинної тирси показали, що його величина на стиск прямо пропорційна тиску, при

якому тирса була спресована (рис. 3.2). При зростанні температури величина модуля Юнга знижується, причому найбільше його зниження спостерігається при зростанні температури спресованої тирси до 100° С.

При подальшому зростанні температури зниження модуля Юнга на стиск різко гальмується» [15].



1 - $\delta \leq 0,5$ мм, $t = 24^\circ\text{C}$; 2 - $\delta \leq 1$ мм, $t = 24^\circ\text{C}$; 3 - $\delta \leq 2$ мм, $t = 24^\circ\text{C}$; 4 - $\delta \leq 0,5$ мм, $t = 100^\circ\text{C}$; 5 - $\delta \leq 1$ мм, $t = 100^\circ\text{C}$; 6 - $\delta \leq 2$ мм, $t = 100^\circ\text{C}$; 7 - $\delta \leq 0,5$ мм, $t = 150^\circ\text{C}$; 8 - $\delta \leq 1$ мм, $t = 100^\circ\text{C}$

Рисунок 3.2 – Залежність модуля Юнга (E) від тиску (P) на процес гранулювання біомаси

«При рекомендованому тиску пресування деревинних пелет $p = 30$ МПа модуль Юнга стиснення E при робочих температурах у камері пресування $t = 100...150^\circ\text{C}$ складає для тирси з ялини 900 МПа, для тирси з сосни – 900...1000 МПа і для тирси з листяних порід – 600...700 МПа.

Для визначення модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона було запропоновано методику та проведено експериментальні дослідження з

використанням спеціального пресувального обладнання, яке забезпечує високий тиск (400-500 МПа) ущільнення рослинних відходів, як дисперсного матеріалу, до стану з незначним об'ємним вмістом газорідинної фази» [17].

3.1.2. Оцінка пружних коефіцієнтів двох компонентного зразка біологічного палива за значеннями пружних коефіцієнтів.

«Нехай складові двох компонентної композитної гранули відповідно задаються модулями Юнга E_1, E_2 і коефіцієнтами Пуассона ν_1, ν_2 .

Співвідношення складових будимо характеризувати об'ємною концентрацією $\gamma = V_1 / V$, де V_1 - об'єм першої складової, V - об'єм всієї гранули. Згідно з теорією ефективного модуля даному композиту ставиться у відповідність однорідне середовище, для якого необхідно визначити вказані пружні характеристики.

Підходи Фойгта і Рейсса разом з варіаційним принципом Лагранжа дозволяють визначити певні проміжки для значень деяких ефективних коефіцієнтів. У відповідності з цими підходами модуль зсуву μ та модуль стиснення K задовольняють наступним нерівностям:

$$\mu_r \leq \mu \leq \mu_f, \quad K_r \leq K \leq K_f, \quad (3.1) \text{» [18].}$$

«Модулі Фойгта і Рейсса визначаються через модулі складових компонентів за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \mu_f &= \gamma_1 \mu_1 + (1 - \gamma_1) \mu_2, \quad \mu_r = \frac{\mu_1 \mu_2}{(1 - \gamma_1) \mu_1 + \gamma_1 \mu_2}, \\ K_f &= \gamma_1 K_1 + (1 - \gamma_1) K_2, \quad K_r = \frac{K_1 K_2}{(1 - \gamma_1) K_1 + \gamma_1 K_2}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Інтервали можливих значень ефективних модулів, які задаються формулами (3.1)-(3.3), часто виявляються достатньо великими. У деяких випадках вказані інтервали можна суттєво зменшити, якщо скористатися

варіаційним принципом Хашіна-Штрикмана. Варіаційний принцип Хашіна-Штрикмана є узагальненням варіаційного принципу Лагранжа. Він був розроблений авторами для дослідження неоднорідних пружних матеріалів. Разом з неоднорідним тілом, яке досліджується, розглядається деяке однорідне пружне тіло (тіло порівняння)» [18].

«На основі лагранжіана будується функціонал, який має мінімум в положенні рівноваги, якщо тензор модулів пружності тіла, що досліджується, «менше» тензора модулів пружності тіла порівняння і має в положенні рівноваги максимум, якщо тензор модулів пружності «більше» тензора модулів пружності тіла порівняння. Якщо $K_1 > K_2$ і $\mu_1 > \mu_2$, то вказаний підхід дає наступні співвідношення для модуля зсуву та модуля стиснення:

$$\mu_h \leq \mu \leq \mu_s, \quad K_h \leq K \leq K_s,$$

де

$$K_h = \frac{K_1 K_2 + \frac{4}{3}(1 - \gamma_1)\mu_2 K_2 + \frac{4}{3}\gamma_1 \mu_2 K_1}{K_1 + \frac{4}{3}\mu_2 - \gamma_1(K_1 - K_2)},$$

$$K_s = \frac{K_1(K_2 + \frac{4}{3}\gamma_1 \mu_1 K_2) + \frac{4}{3}(1 - \gamma_1)\mu_1 K_2}{K_1 + \frac{4}{3}\mu_1 - \gamma_1(K_1 - K_2)},$$

$$\mu_h = \frac{5\gamma_1(\mu_1 - \mu_2)(3K_2 + 4\mu_2)\mu_2}{5(3K_2 + 4\mu_2)\mu_2 + 6(\mu_1 - \mu_2)(K_2 + 2\mu_2)(1 - \gamma_1)},$$

$$\mu_s = \frac{5(1 - \gamma_1)(\mu_2 - \mu_1)(3K_1 + 4\mu_1)\mu_1}{5(3K_1 + 4\mu_1)\mu_1 + 6(\mu_2 - \mu_1)(K_1 + 2\mu_1)\gamma_1}.$$

Застосуємо наведені вище підходи до деяких конкретних матеріалів. Модуль зсуву і модуль стиснення можна виразити через модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad (3.9) \gg [18].$$

«В таблиці 3.1 наведені результати обчислень пружних коефіцієнтів для деяких композитних гранул по значенням складових.

Таблиця 3.1 – Результати обчислень пружних коефіцієнтів для композитних гранул по значенням складових

компонент 1	ν_1	E_1	K_1	μ_1	K_h	μ_h	K_r	μ_r	ν_{hs}	E_{hs}
компонент 2	ν_2	E_2	K_2	μ_2	K_s	μ_s	K_f	μ_f	ν_{rf}	E_{rf}
пластик	0,41	2750	5093	975,2	-	-	4465	1047	-	-
вугілля	0,37	3100	3974	1131	-	-	4533	1053	0,392	2924
дерево сосна	0,118	2680	1169	1199	-	-	1807	1164	-	-
вугілля	0,37	3100	3974	1131	-	-	2572	1165	0,274	2967
солома	0,124	3158	1400	1405	-	-	2196	1151	-	-
пластик	0,41	2750	5093	975,2	-	-	3246	1190	0,312	3071
солома	0,124	3158	1400	1405	1280	1297	1274	1294	0,121	2909
дерево сосна	0,118	2680	1169	1199	1280	1298	1285	1302	0,121	2909
лушпиння соняшника	0,125	3441	1529	1529	1463	1466	1462	1464	0,125	3297
солома	0,124	3158	1400	1465	1463	1466	1465	1467	0,125	3296
лушпиння соняшника	0,125	3441	1529	1529	1338	1353	1325	1344	0,122	3037
дерево сосна	0,118	2680	1169	1199	1340	1354	1349	1364	0,122	3037
дерево дуб	0,127	2987	1335	1325	1250	1,26	1247	1259	0,123	2830
дерево сосна	0,118	2680	1169	1199	1250	1,26	1252	1262	0,123	2829

У всіх випадках значення коефіцієнта Юнга задавались у МПа, а $\gamma_1=5,0$. Пружні коефіцієнти складових бралися з літератури і є наближеними. Підходи Фойгта і Рейсса можуть бути застосовані до будь-якого композита, але вони визначають досить широкий діапазон можливих значень відповідних пружних коефіцієнтів» [18].

3.1.3. Вплив вологості біологічних відходів на процес гранулювання.

«В залежності від виду рослинних відходів подрібнена сировина перед пресуванням повинна мати оптимальну вологість. Сировина з низькою вологістю важко піддається пресуванню, при значеннях вологості біосировини, які перевищують оптимальні, виготовлені гранули втрачають міцність та енергетичну цінність, що впливає на ціну біопалива.

Оптимальні значення вологості біосировини дозволяють забезпечити якісні показники виготовленого біопалива, знизити енерговитрати при їх виготовленні, підвищити теплоту згоряння та зменшити утворення шкідливих викидів в атмосферу.

На сьогодні з літературних джерел не можна зробити однозначний висновок про величину оптимального значення вологості сировини перед пелетуванням. Наприклад, в деяких дослідженнях вказується, що для виготовлення гранул високої густини, біосировина повинна мати вологість нижче 10 %.

В роботі констатується, що в процесі ущільнення вода являє собою зв'язувальну речовину, підвищує площу контакту часточок і сприяє їх склеюванню. Але збільшення вмісту води від оптимального діапазону (значення якого не вказується) знижує міжмолекулярні сили. Робиться висновок, що оптимальний рівень вмісту води для процесу ущільнення відрізняється в залежності від типу біомаси і умов процесу» [19].

«Рекомендації за вмістом вологості відрізняються навіть по однаковому виду рослинних відходів. Наприклад, для деревини вважаються за оптимальні значення 6-12 %, 10-12 %.

Разом з тим експериментальними дослідженнями встановлено, що найвищі значення густини пелет, виготовлених з сировини ялинкових дерев, досягаються при значенні вологості приблизно 15 %.

Загальні значення вологості для рослинних відходів сільськогосподарських культур рекомендовані в межах 12-14 %. Так, для пелет, що виготовляються з соломи, рекомендовані значення вологості 8-12 %, а оптимальне значення її вологості перед пресуванням повинно складати 10 ± 1 %.

Використання сировини з вологістю, що перевищує оптимальні значення, приводить до зниження якісних показників пелет, в тому числі енергетичної цінності, або навіть до їх руйнування в процесі зберігання» [19].

3.1.4. Вплив фракційного складу сировини на процес пресування.

«Вплив неоднорідності фізико-механічних властивостей рослинної маси, зокрема геометричних розмірів частинок стебел (соломи) на зміну густини біопалива залежно від тиску вивчалось в роботі С. Левка. В дослідженнях використовували соломку озимої пшениці та вівса (вологістю 14 %), озимого ріпаку (вологістю 16 %) та очерету (вологістю 15 %), які були подрібнені на довжину 5, 10 і 20 мм. Досліджуваний матеріал засипали в циліндр та за допомогою гвинтового механізму і повзуна на важелі терезів встановлювали відповідне навантаження стискування.

Після експериментів визначали об'єм зразків, їх масу і густину. Результати експериментів показані на графіках (рис. 3.3). Аналіз результатів досліджень показав, що густина брикету із соломи пшениці (рис. 3.3, а) за однакового тиску є дещо більшою для довжини подрібнення 5 мм (становить 1146 кг/м^3), ніж для довжин 10 і 20 мм. Це зумовлено тим, що за більш

подрібнених частинок соломи утворюється менше порожнин і наростання густини відбувається швидше» [20].

«Густина соломи вівса (рис. 3.3, б) дещо відрізняється для довжин подрібнення 5, 10, 20 мм і змінюється в межах 900...1150 кг/м³ за тиску 40 МПа. Це зумовлено досить низькою вологістю та високою міцністю стебел.

Густина соломи ріпаку (рис. 3.3, в) для різних довжин подрібнення практично не відрізняється і становить близько 1000 кг/м³ за тиску 35...40 МПа. Це зумовлено тим, що стебла ріпаку, на відміну від стебел колосових культур, є щільнішими і не мають внутрішніх пустот.

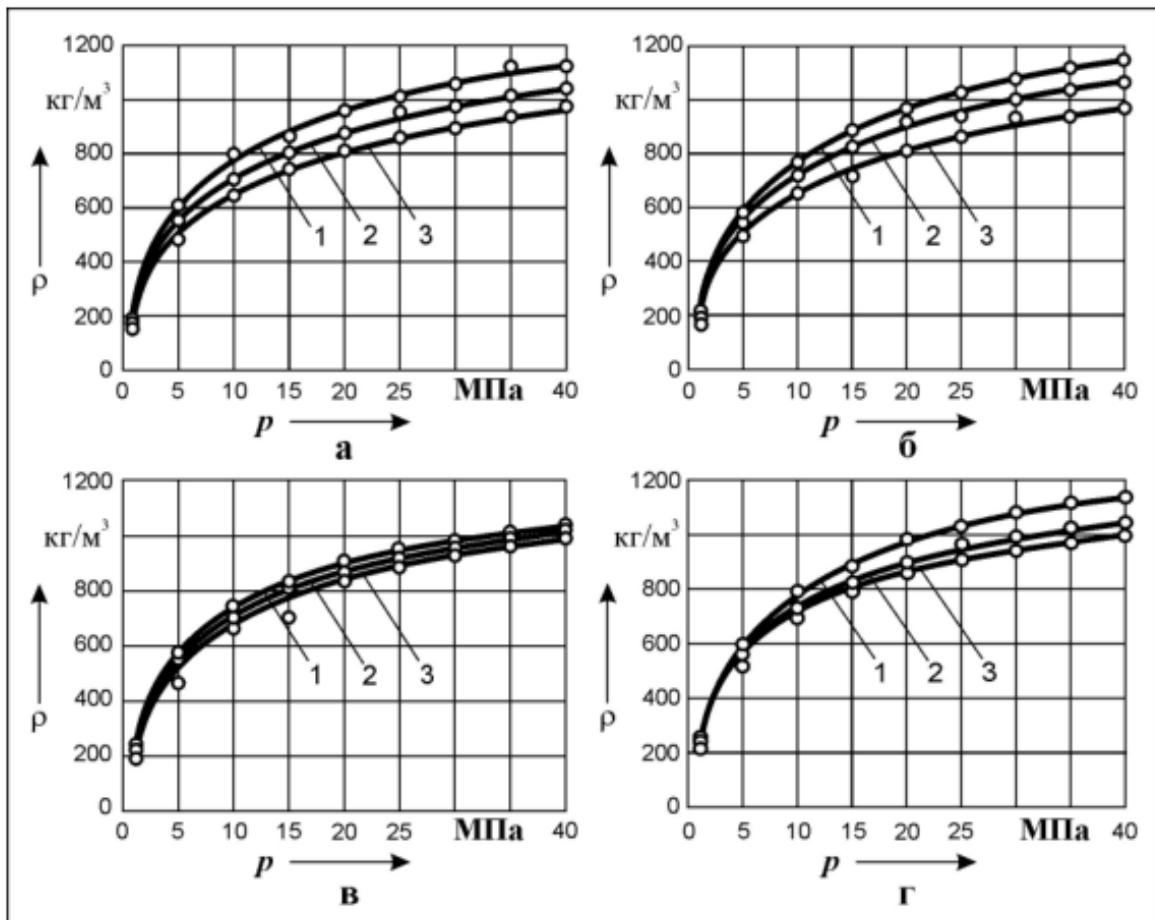


Рисунок 3.3 – Залежність густини готових гранул від рослинної маси і тиску для різної довжини подрібнення: а – солома пшениці; б – солома вівса; в – солома ріпаку; г – стебла очерету; 1 – $l = 5$ мм; 2 – $l = 10$ мм; 3 – $l = 20$ мм» [20].

«Густина брикетів із стебел очерету (рис 3.3, г) при довжині подрібнення 5 мм є вищою, ніж для 10 і 20 мм і складає 1140 кг/м³ внаслідок того, що під час подрібнення стебел на меншу довжину їх частинки в більшій мірі пліщуються та руйнуються.

Отримані експериментальні дані показали, що за однакових тисків найбільша густина досягається при подрібненні рослинного матеріалу до розмірів 5 мм, а найменша – за довжини 20 мм. Для стебел ріпаку така відмінність незначна завдяки будові та складу стебла.

Також з результатів дослідів визначено, що зі збільшенням тиску (зусилля пресування) наростання густини поступово зменшується, що пояснюється інтенсивним витісненням пустот з маси в початковий період пресування.

В процесі ущільнення зв'язок густини виробу і тиску пресування описується логарифмічною функцією, що залежать від механіко-технологічних властивостей рослинного матеріалу та конструктивних параметрів преса.

В експериментах було задіяно незначний перелік твердих рослинних відходів і не визначено оптимальну довжину їх подрібнення для виготовлення біопалива з високою густиною» [20].

Деякі наукові дослідники для підвищення якості готових паливних гранул рекомендують приводити часточки сировини до одного розміру шляхом подрібнення біологічної сировини на спеціальному обладнанні або розділенню за допомогою сит з отворами встановлених діаметрів.

«В роботі досліджувалось вплив фракційного складу відходів деревини ялинкових порід на густина пелет. Було встановлено, що найвищі значення густини досягалися для фракції з розміром частинок ≤ 2 мм.

Проведений аналіз показав, що виготовлення якісного біопалива вимагає підготовки біосировини зі зменшеним фракційним складом. Але

треба враховувати, що надмірне подрібнення сировини вимагає додаткових затрат енергії і призведе до зростання вартості біопалива.

Крім того, нез'ясований вплив фракційного складу біологічної сировини на енергетичні показники пресового обладнання. Так, в роботі автор робить висновок, що зменшення розміру часточок початкової сировини приводить до зменшення навантаження на головний двигун пресувальних механізмів, а у висновках датських науковців наводиться протилежний висновок: тиск при пресуванні збільшується при зменшенні фракційного складу біологічної сировини» [21].

3.1.5. Вплив температури біологічної сировини та режимів тиску пресування на густину виготовленого палива.

«При формуванні і утворенні пелет речовиною, що пов'язує подрібнену біосировину, є лігнін, який міститься в клітинах рослинних відходів. Лігнін, як аморфний полімер, є зв'язувальним матеріалом між фібрилами целюлози, даючи міцність і жорсткість клітковій стінці. При невисоких температурах кількість лігніну у рослинних відходах має невелику частку, а з підвищенням температури його кількість зростає, досягаючи 30-36 %.

Дослідження показують, що на формування гранул, виготовлених з дисперсних матеріалів, значно впливає температура, з підвищенням якої їх густина підвищується при зменшенні енерговтрат в процесі пресування» [22].

«Методика проведення та результати експериментальних досліджень впливу температури на процес ущільнення рослинних відходів при різних тисках стиснення приведено в роботі.

На рисунку 3.4 і 3.5 представлені отримані в цій роботі графіки залежності густини гранул від тиску пресування при зміні температури сировини» [22].

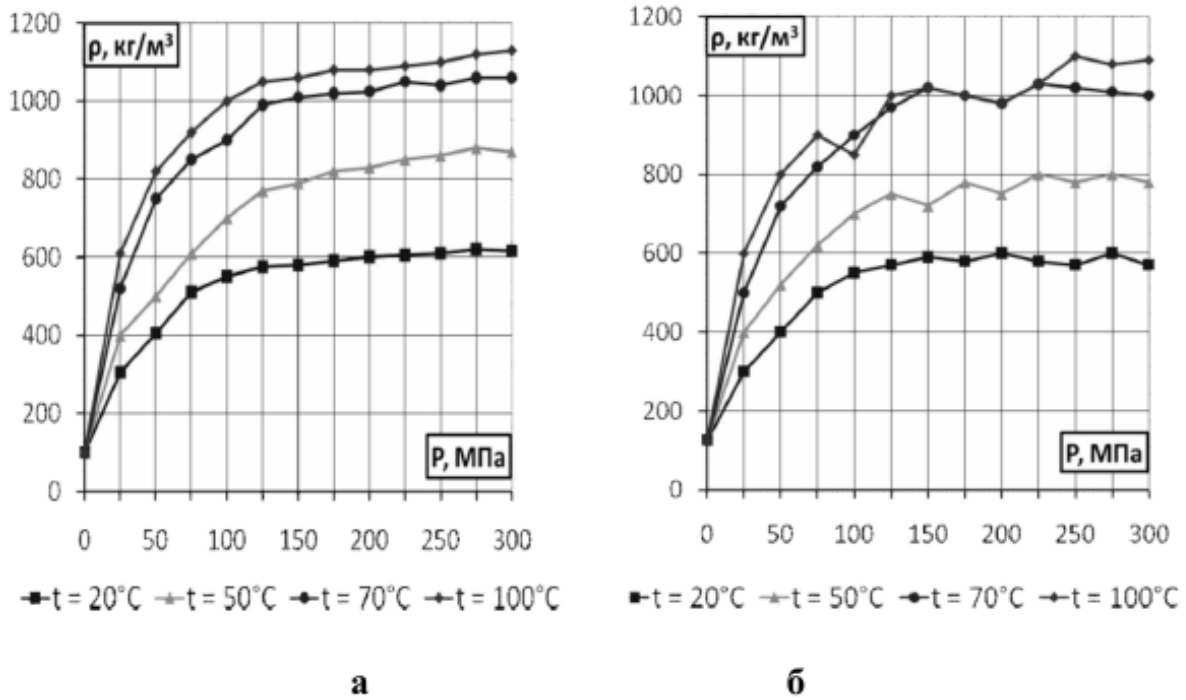


Рисунок 3.4 – Графіки залежності густини сформованих гранул ρ від тиску пресування P при різних температурах пресування: а – гранули з лущиння соняшника; б – гранули із соломи

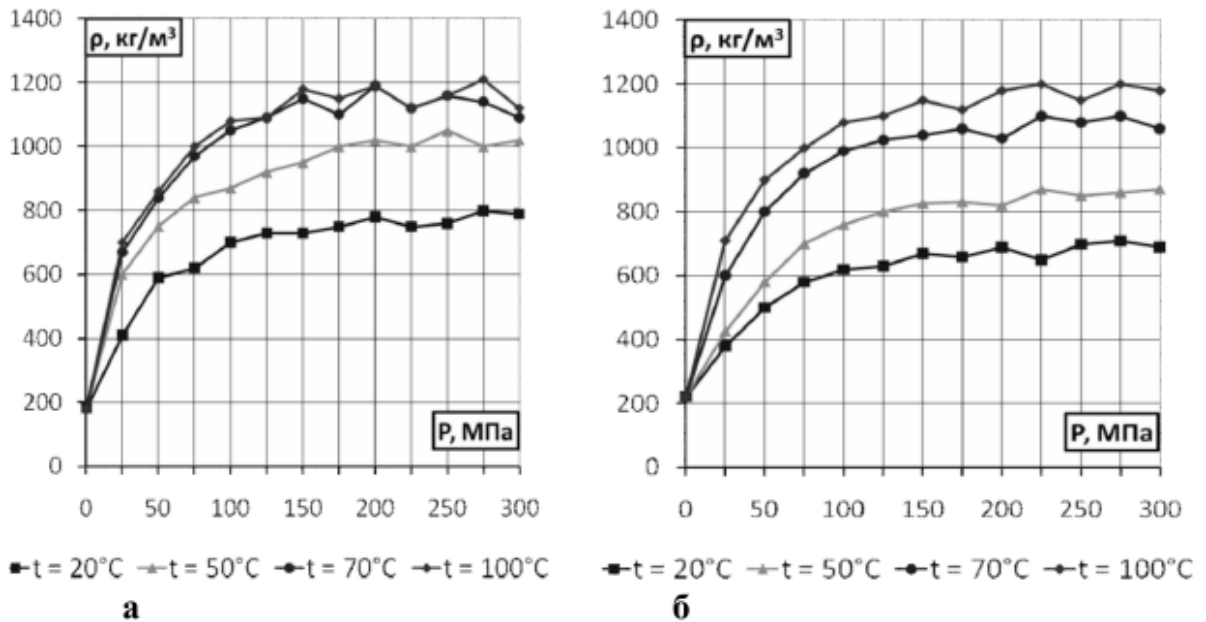


Рисунок 3.5 – Графіки залежності густини готових гранул ρ від тиску пресування P при різних температурах пресування: а – гранули зі стружки сосни; б – гранули зі стружки дубу

«Аналіз наданих графіків показує, що з підвищенням температури рослинних відходів від 20 до 100 °С відбувається підвищення густини виготовлених зразків гранул, що можна пояснити розчиненням лігніну з підвищенням температури.

Результати проведених експериментів показали, що підвищення температури сировини вище 100 °С є недоцільним, оскільки майже не впливає на підвищення густини гранул, але підвищує енерговитрати.

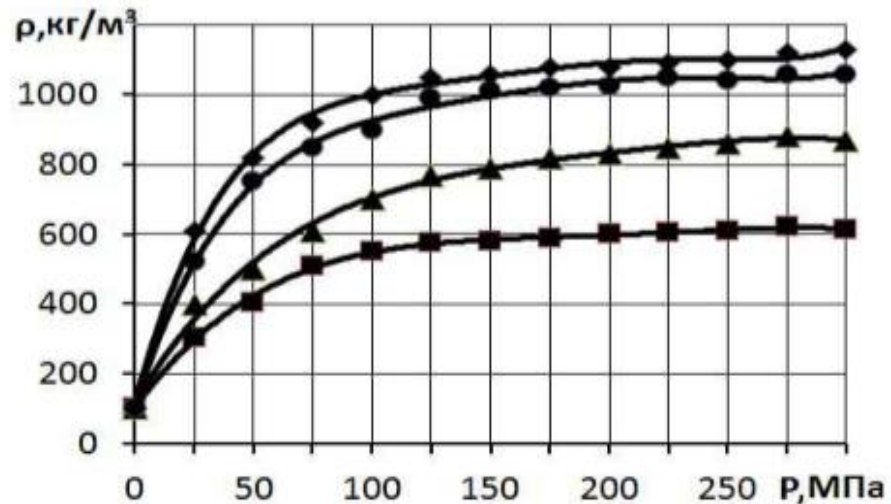
В роботі досліджувалась закономірність впливу температури сировини в каналі прес-матриці на якість гранул при пресуванні екструзією. На базі гідравлічного пресу 2135-1М була розроблена дослідна установка основою якої є циліндрична прес-матриця з пуансоном. Конструкція установки дозволяє варіювання тисків в межах від 25 до 300 МПа та температур від 20 до 200 °С» [23].

«Комплекс експериментів по дослідженню рослинних відходів (стружка сосни, стружка дуба, лушпиння соняшника, лушпиння гречки, солома, висівки) показав, що при збільшенні температури сировини в прес-матриці до 150 °С підвищує густину зразків, але подальше підвищення температури призводить до їх зниження (рис. 3.6). Такий процес пояснюється розчиненням лігніну під впливом підвищення температури.

В роботі робиться висновок, що результати проведених досліджень дозволили визначити раціональний діапазон температур 140-160 °С для пресування досліджуваних рослинних відходів» [24].

«Однак є рекомендації, за якими найбільшої міцності набуває біомаса, що пресується за температури понад 150 °С. При цьому верхньою межею температури пресування є 250 °С, коли розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біомаси. А за даними компанії California Pellet Mill, оптимальна температура гранулювання має бути 88-102 °С, оскільки в цьому діапазоні температур забезпечується плавлення лігніну і

відсутнє утворення водяної пари, що розриває гранул на виході з фільтр-матриці» [24].



Графіки: ■ – при $t=20^\circ\text{C}$; ▲ – при $t=80^\circ\text{C}$; ◆ - при $t=140^\circ\text{C}$; ● – при $t=180^\circ\text{C}$

Рисунок 3.6 – Графіки залежності густини готових паливних гранул (ρ) від тиску пресування (P) в залежності від температури пресування (t)

«Дослідження, проведені на деревинній тирсі показали, що при нагріванні відбувається деструкція її компонентів з утворенням рідкої пластифікованої фази. В діапазоні температур від 75 до 200 $^\circ\text{C}$ тирса послідовно переходить з сипкого середовища у сипко-пластичну і в умовно-пластичну. В роботі вказується, що застосування термічної обробки безпосередньо в процесі пелетоутворення деревинних відходів спричинює різке зниження питомих тисків при високій густині і міцності одержуваних зразків.

Графік залежності густини від температури (рис. 3.7, крива 2) показує, що з підвищенням температури від 100 $^\circ\text{C}$ густина пелет змінюється незначно і в середньому дорівнює 1300 кг/м³. При цьому питомий тиск пресування значно знижується в діапазоні температур від 100 до 200 $^\circ\text{C}$ (рис. 3.7, крива 1)» [25].

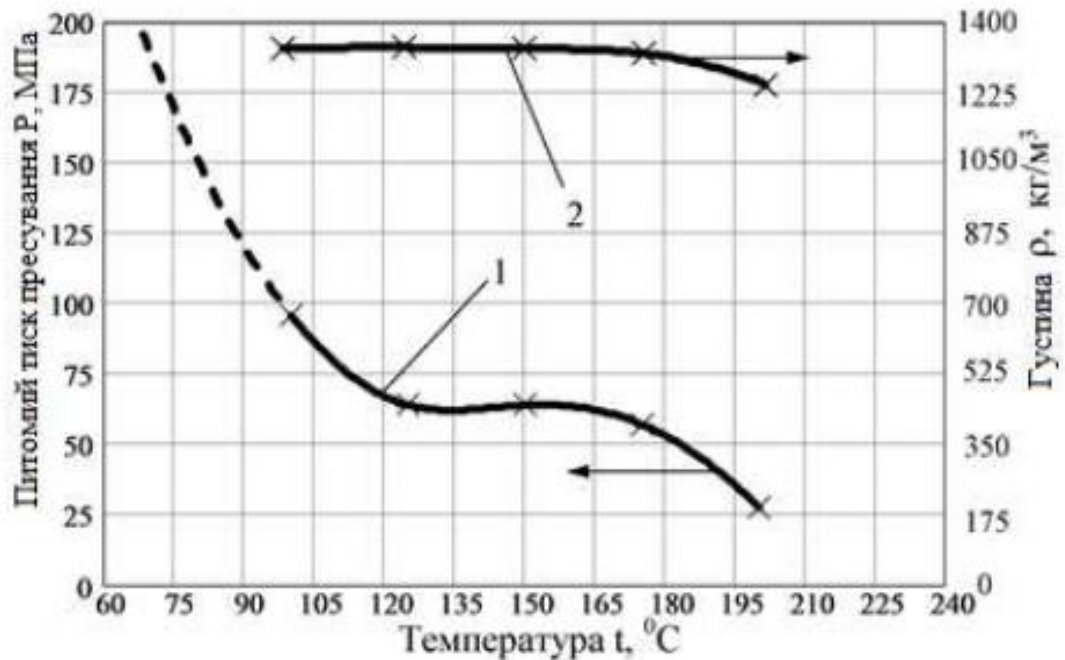


Рисунок 3.7 – Залежність зміни густини паливних гранул і значень тиску пресування від температури нагріву сировини (для тирси березової):

Графік 1 – $P=f(t)$; графік 2 – $\rho=f(t)$

Безпосереднє нагрівання робочої матриці преса гранулятора дозволяє змінити реологічні властивості робочої біологічної сировини, яка переробляється, а саме зробити паливні гранули більш пластичними і тим знизити енергетичні витрати технологічного процесу гранулювання.

3.2. Вплив конструктивних параметрів пресового обладнання на технологічний процес виготовлення твердого біологічного палива

«Циліндрична або плоска матриця звичайно має філ'єри, що найчастіше складаються з формуючої конусної частини Ів, калібрувальної циліндричної Ік і вихідної частини Іп, яка має зворотний конус для зменшення тиску сформованих пелет (рисунок 3.8)» [26].

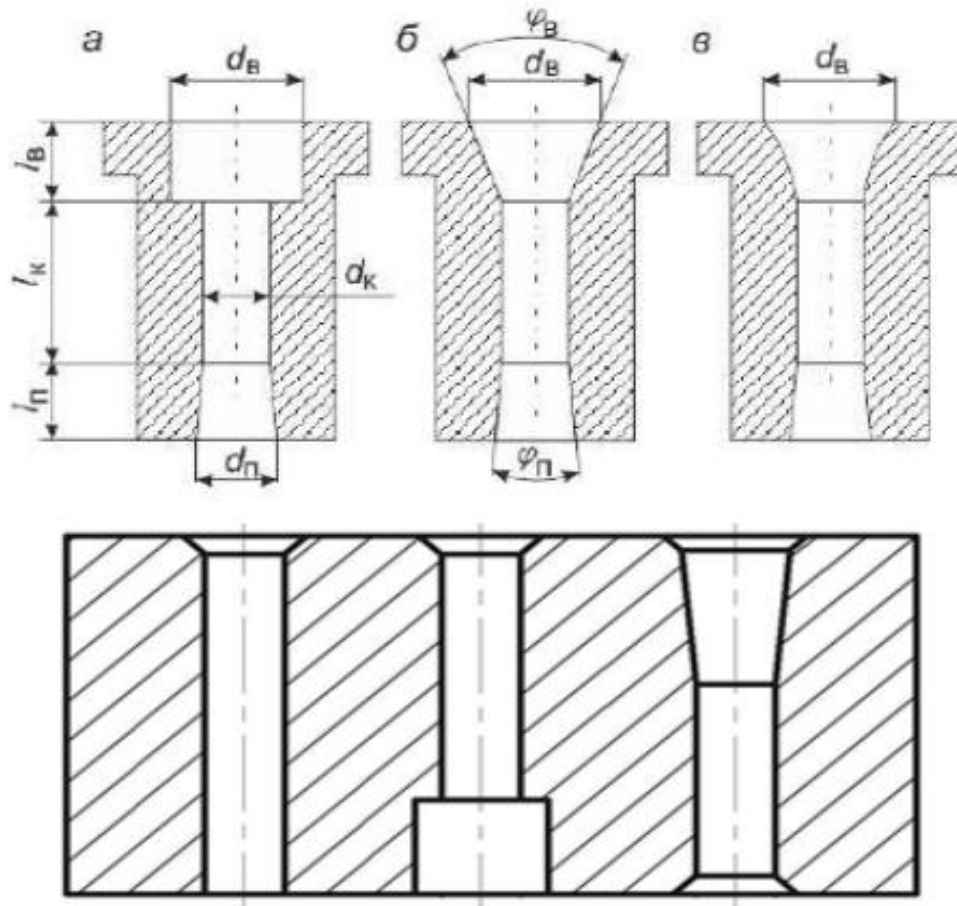


Рисунок 3.8 - Варіанти профілів фільтрів матриці гранулятора

«Основні вимоги до вхідної конусної частини фільтрів матриці:

- точність геометрії та якість поверхні;
- оптимальний опір;
- мінімальні корозія та абразивний знос;
- зручність установки, розборки і чистки фільтрів, безпека.

Важливим елементом фільтрів матриці, що розташовується за конусною її зоною, є калібрувальна (циліндрична) частина, де закінчується процес формування пелет. Її довжина впливає як на їх якість, так і на величину енерговитрат пресового обладнання через ймовірність заклинювання біоматеріалу» [26].

«Для зняття напруги стисненого матеріалу і остаточного формування пелет, що виключає їх руйнування або розшарування при виході з філ'єри, після циліндричної ділянки забезпечують в ній зону зі зворотним конусом.

Основні задачі калібрувальної частини фільєри:

- забезпечити точність розмірів перерізу пелет;
- забезпечити відсутність дефектів форми;
- зняти внутрішню напругу в матеріалі;
- одержати поверхню виробу потрібної якості.

Збільшення або зменшення у фільєрі тиску на біосировину забезпечується:

- зміною співвідношенням довжини фільєри матриці до поперечного перерізу сумарної площі фільєр (ступінь формування);
- зміною форми вхідного отвору фільєри матриці;
- зміною ступеню формування шляхом зміни поперечного перерізу філ'єри матриці.

Варіанти деяких фільєр матриць з формами звуження вхідної її частини (циліндрична, конічна, криволінійна, з фаскою) наведені на рис. 3.8» [26].

«Кути α і β філ'єри (рис. 3.9) повинні задовольняти умові:

$$\operatorname{tg} \beta = (P_{\mu}) / (2E), \alpha > \beta,$$

де E – модуль Юнга.

Остання умова забезпечує усунення руйнування спресованої гранули при виході з філ'єри і самогальмування біоматеріалу у конусній її частині.

Одним з основних параметрів, що визначає закономірність формування пелет або брикетів в матриці пресового обладнання є шорсткість її поверхні. Результатами дослідів встановлено, що підвищення величини коефіцієнта тертя поверхні матриці сприяє збільшенню густини гранул, проте значно збільшує енерговитрати на процес пресування. При русі дисперсного матеріалу по поверхні фільєр, виникають зусилля тертя, що включають в себе зусилля адгезії. Проте, через невисокий вміст води (6% - 12%) в

$$f = F(v, Ra),$$

де f – коефіцієнт тертя між біосировиною та поверхнею філ'єри матриці;

Ra – шорсткість обробки поверхні отвору формуючої головки;

v – швидкість руху сировини, м/с.

З використанням факторного експерименту другого порядку останнє рівняння набуває вигляду полінома [36]:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1 x_2 + b_4 x_1^2 + b_5 x_2^2,$$

де y – параметр оптимізації, що асоціюється з коефіцієнтом тертя f ; фактори x_1 та x_2 відповідно з v та Ra .

Дослідженнями по пресуванню біопалива доведено, що найкращі умови при стисканні сировини в калібрувальній частини матриці створюються при наявності шорсткості бічної поверхні $Ra = 3,2...6,3$ мкм, в залежності від матеріалу який застосовується» [32].

«Найбільш розповсюдженими методами, які застосовуються для обробки матриць окрім слюсарно-механічної є: алмазне шліфування, електрохімічна і електроерозійна обробка. Однак, застосування алмазного шліфування для складнофасонної поверхні матриці не завжди можливо в силу кінематичних особливостей методу і конструкції інструменту.

Слюсарно-механічний метод малопродуктивний і вимагає значних витрат висококваліфікованої ручної праці.

Електрохімічна обробка застосовується для обробки твердосплавного і сталевих матеріалів. Вона характеризується високою продуктивністю знімання металу з поверхонь складної форми і малої жорсткості (за рахунок відсутності високих тисків на заготовку), високою точністю і низькою шорсткістю» [32].

«Для виготовлення отворів матриць (круглих, шестикутних, профільних) також використовується спосіб електроімпульсного

прошивання, який забезпечує потрібну якість та точність обробки. Даний спосіб застосовує для руйнування матеріалу електричну енергію у вигляді нестаціонарних форм електричних розрядів, зокрема імпульсних. Тому процес обробки супроводжується паузами, які негативно впливають на продуктивність обробки.

Відомий спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), в якому енергія підводиться в зону обробки безперервно. Завдяки можливості вводу в зону обробки електричного струму великої потужності забезпечується висока продуктивність.

Однак, впровадження у виробництво процесу РОД матриць для брикетування стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і гідродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами отворів, які обробляються» [32].

3.3. Особливості технологічного процесу гранулювання

«З фізичної точки зору матеріал з сипких рослинних відходів являє собою дисперсну двофазну систему тверде тіло - газ, яка характеризується певним співвідношення фаз. Кількісно це співвідношення визначається коефіцієнтом густини укладання часточок K , який є основним параметром сипкого матеріалу і дорівнює:

$$K = V_T / V = \rho / \gamma_0,$$

де V_T – об'єм твердої фази, м^3 ;

V – об'єм сипкого матеріалу, м^3 ,

ρ – густина твердої фази, $\text{кг}/\text{м}^3$;

γ_0 – об'ємна густина сипкого матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт густини укладання часточок сипкого матеріалу – величина нестала і змінюється залежно від умов формування сипкого матеріалу в

порожнині корпусу, умов його руху в потоці, умов на межі потоку тощо. Збільшення коефіцієнта густини укладання характеризується поступовою втратою часточками сипкого матеріалу здатності до відновлення переміщення. Втративши здатність до переміщення, сипкий матеріал перетворюється в суцільну структуру і набуває властивостей твердого тіла.

На процес такого перетворення впливають розміри порожнини матриці, в яку надходить сировина. За $H/B \leq 1$ (висота шару/діаметр порожнини корпусу) властивості сипкого матеріалу виявляються чіткіше, його поведінка наближена до поведінки рідини» [33].

«У разі насипання біосировини в глибоку порожнину корпусу з $H/B > 1$ (рис. 3.10) ступінь перетворення її у суцільну структуру зростає з підвищенням коефіцієнта густини укладання. При цьому сипкий матеріал, втрачаючи рухливість, набуває властивості твердого тіла, що приводить до здатності шарів сировини передавати горизонтальний тиск під дією вертикальних навантажень (розпір). Для варіанту конструкції, наведеної на рисунку 3.10, такий стан характерний в нижній частині корпусу і конусній частині відкритої матриці.

Стиснення матеріалу у відкритій матриці пресового пристрою характеризується переміщенням частинок матеріалу переважно у напрямку руху пуансона, а переміщення в сторони стінок матриці незначне. При цьому процес стикування супроводжується динамічним тертям: зовнішнім – внаслідок ковзання матеріалу відносно внутрішньої поверхні корпусу та конусної поверхні матриці, що з ним контактує, та внутрішнім – внаслідок ковзання одних частинок матеріалу відносно інших.

За наявності внутрішнього тертя в процес втягується шар матеріалу і поверхня зсуву, як така, відсутня. У разі зовнішнього тертя, яке виникає внаслідок відносного зміщення сировини по стінках корпусу, тертя зумовлене процесами в пристінному шарі» [33].

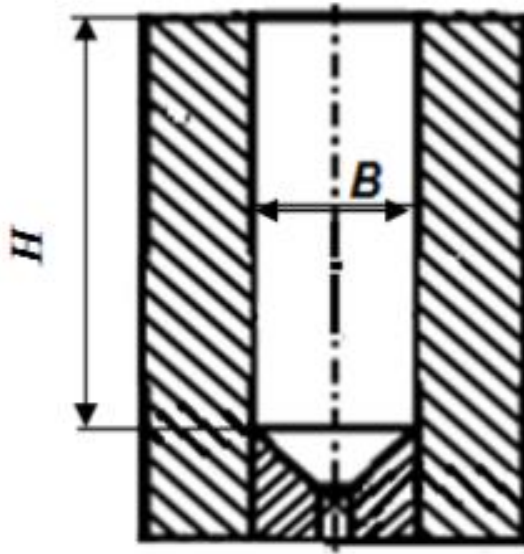


Рисунок 3.10 – Форма порожнини відкритої матриці гранулятора

«Внутрішнє тертя має складний комплексний характер. Виникнувши в шарі матеріалу, тертя визначається площами фактичних контактів, їх числом, яке залежить від густини укладання, пружними властивостями часточок твердої фази, розмірами і формою часточок, станом їхньої поверхні та іншими факторами. Величина коефіцієнта внутрішнього тертя f змінюється від певного мінімального значення, якому відповідає найбільша рухомість часточок матеріалу, до максимального значення, що відповідає перетворенню матеріалу, за якого рухомість часточок прямує до нуля, тобто

$$f_{\min} < f < f_{\max}.$$

Максимальне значення коефіцієнта внутрішнього тертя визначається максимальним значенням коефіцієнта густини укладання, за якого сипка біосировина перетворюється в суцільну структуру. При цьому процес тертя в площині зсуву замінюється на процес в площині зрізу твердої фази» [34].

«Густина укладання рослинних відходів, які стискаються в корпусі пресового пристрою, змінюється з висотою шару. Відповідно до цього змінюється і коефіцієнт внутрішнього тертя.

Зовнішнє тертя характеризує процес зсуву сировини по поверхні, що його обмежує. Процес зсуву – явище комплексне і наближено його можна описати рівнянням Амонтона:

$$F_{\max} = fN = N \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

де f – коефіцієнт тертя; N – сила нормального тиску; φ – кут тертя.

Величина коефіцієнта тертя є не сталою і залежить, в основному, від нормального тиску сировини на обмежувальну поверхню. Це пояснюється тим, що в процесі зсуву матеріалу в зонах, які прилягають до обмежувальної поверхні, відбувається пошарова передача енергії пружних деформацій і кількості руху від зовнішніх шарів до внутрішніх.

За незначних зсувних зусиль, нездатних подолати сили опору на контактах часточок, матеріал зміщується по обмежувальній поверхні в площині контактів часточок матеріалу з поверхнею.

При збільшенні зсувних зусиль настає момент, коли часточки рослинних відходів, які лежать у пристінному шарі внаслідок перетворення набувають властивостей твердого тіла, з подальшим охопленням глибших шарів. На просування біоматеріалу вздовж філь'єри матриці також впливає початковий опір зсуву (статичне тертя), значення якого більше динамічного тертя. Початковий опір зсуву навіть в одного і того ж сипкого біоматеріалу є різним в залежності від його ущільнення і вологості» [33].

«Механізм передачі зусиль у матеріалі, який переміщується в корпусі пресового пристрою, аналогічний механізму передачі зусиль у склепіннях, для яких горизонтальна складова тиску сипкого матеріалу стала по горизонтальному перерізу потоку і аналогічна силі розпору, а вертикальна складова аналогічна підтримувальній силі.

Засипаний у корпус пресового пристрою матеріал під дією руху пуансона намагається переміщуватись з конусної частини матриці до циліндричної. Відносне зміщення між часточками, що виникає при цьому, перерозподіляє зусилля в контактні між ними, у зв'язку з чим на виході з

конусної частини матриці створюються умови виникнення склепінчастої структури сипкого матеріалу.

Залежно від діаметра циліндричної частини матриці (діаметра пелет) ця структура може набувати форми стійкого склепіння, перекривати випускний отвір і припинити рух матеріалу» [33].

«Експериментальними дослідженнями доведено, що в зоні переходу біоматеріалу від конусної ділянки до циліндричної, його гальмування обумовлено розподілом кінематичних та силових параметрів у процесі пресування. В цій зоні зростає гідростатичний тиск, підвищуються радіальні напруження в біоматеріалі та зменшуються осьові переміщення. При цьому напруження, які виникають в металі матриці в зоні переходу від конусної ділянки до циліндричної, досягають значень, що можуть значно перевищувати межу його міцності» [34].

«Потрібно відмітити, що рослинні відходи та композити на їх основі мають властивості, які не дозволяють їх віднести ні до цілком пластичних чи пружних матеріалів [33]. Важливий вплив на процес пелетоутворення має величина вологості біоматеріалу, оскільки більший вологоміст сприяє підвищенню пластичності та зменшенню пружності матеріалу і навпаки. Але пелети, отримані з матеріалів надто високої вологості, при висиханні можуть мати незадовільну якість» [33].

3.4. Модель процесу пресування з використанням матриць з різними каналами

3.4.1. Модель процесу пресування сировини для плоскої матриці з циліндричним каналом.

«Розрахункову схему по визначенню сили проштовхування для утворення гранули приведено на рис. 3.11. До сировини прикладається тиск

пресування $p_{пр}$, щоб рухати її з постійною швидкістю через філь'єру діаметром D і довжиною L » [35].

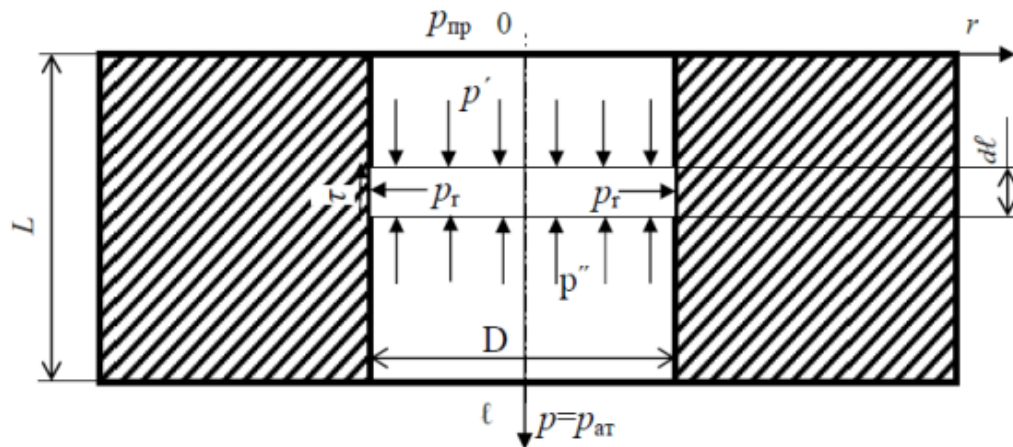


Рисунок 3.11 – Розрахункова схема матриці гранулятора по визначенню сили проштовхування для утворення гранули

«Для того, щоб сировина рухалась з постійною швидкістю, необхідно, щоб сума всіх діючих на неї сил дорівнювала нулю: $\sum F_i = 0$.

Оскільки отвір матриці являє собою циліндр, використовується циліндрична система координат. В цьому випадку зміна параметрів сировини вздовж осі θ в силу симетрії буде дорівнювати нулю, тобто $\partial / \partial \theta = 0$. Вздовж осі циліндру розташована вісь l і нормальна до неї вісь r .

При надходженні початкової сировини до філь'єри матриці під дією сили тиску пресувального ролика відбувається її ущільнення і пластична деформація ущільненої маси в циліндр, тобто формування циліндричної форми гранули закінчується на вході до філь'єри. В цьому випадку тиск, що створює ролик на вході до філь'єри буде максимальним, який потім знижується з просуванням ущільненої маси вздовж філь'єри» [35].

«Оскільки осьовий тиск по довжині філь'єри знижується, тому додаткових пластичних деформацій не відбувається, а сам матеріал при просуванні по філь'єрі буде знаходитись у пружно-напруженому стані. Вибір за розрахункову модель циліндричного елемента гранули діаметром D і

нескінченно малої довжини dl призводить до того, що перепад тиску по довжині цього елементу як і пружні деформації будуть малими, внаслідок чого пружний стан цього елементу буде підпорядковуватися закону Гука.

Розподіл тиску у гранулі по довжині каналу матриці носить експоненціальний характер (рис. 3.12)» [35].

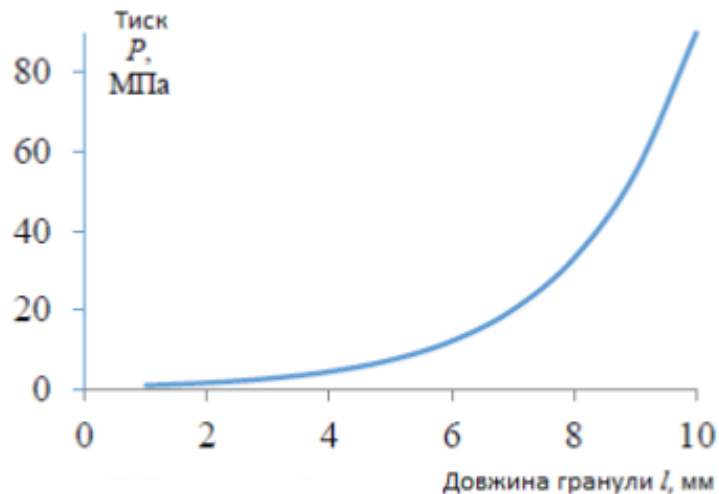


Рисунок 3.12 – Теоретична залежність тиску в процесі проштовхування сировини від довжини гранули

На підставі проаналізованого вище матеріалу можна стверджувати, що математична модель технологічного процесу пресування паливних гранул, яка використовується в теперішній час, не показує в повній мірі реальної фізики процесу гранулювання.

3.4.2. Модель процесу пресування сировини у плоскій матриці з комбінованим каналом.

«Розглядаючи процес пелетоутворення з використанням притискувального ролика і плоскої матриці (рис. 3.13), профілі фільтр яких складаються з конусної вхідної частини, циліндричної (калібрувальної) і вихідної зі зворотним конусом, формоутворення окремої гранули можна розділити на чотири послідовні етапи:

- 1 етап: вирізання частини сировини із спресованого шару;
- 2 етап: виштовхування вирізаної маси через конічний отвір до циліндричного каналу матриці;
- 3 етап: проштовхування сформованої гранули через циліндричний канал матриці;
- 4 етап: вихід гранули з філь'єри матриці» [35].

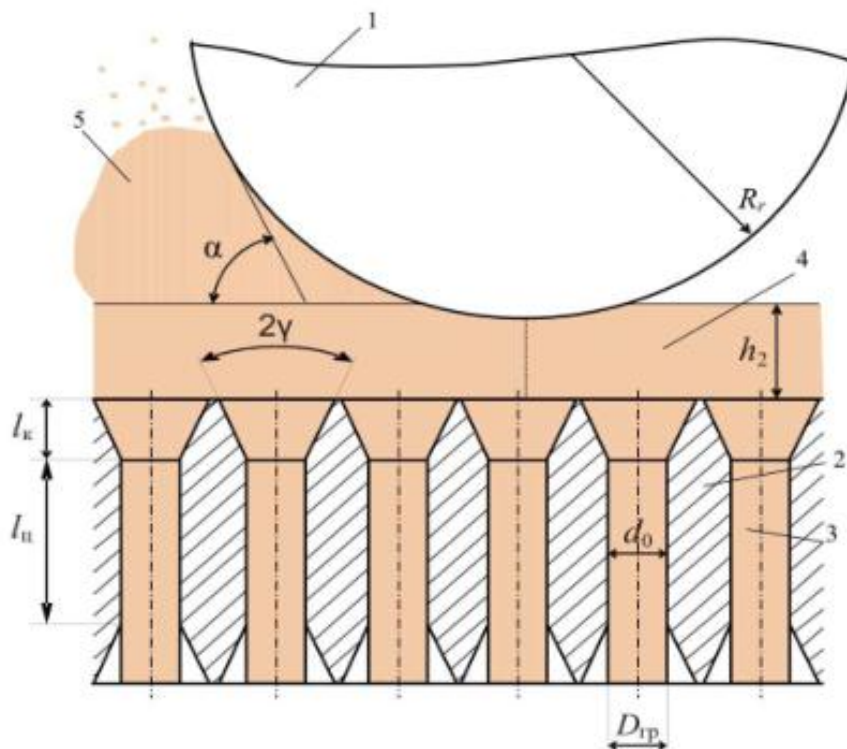


Рисунок 3.13 – Розрахункова схема технологічного процесу пресування гранул: 1 – ролик пресувальний; 2 – робоча матриця; 3 – гранула спресована; 4 – спресований шар сировини; 5 – насипний шар сировини

«На виході з циліндричного каналу матриці спресована гранула знаходиться під атмосферним тиском, який можна не враховувати при визначенні тиску пресування. В цьому випадку тиск пресування $p_{пр}$, що розвивається пресувальним роликом, складається з перепадів тиску в спресованому шарі $\Delta p_{виз}$, тиску в конічній частині матриці $\Delta p_{л}$, та тиску на циліндричній гранулі $\Delta p_{ц}$.

Тиск, який створює притискувальний ролик для проштовхування спресованої гранули через фільтру матриці має лінійний характер. Одночасно на тиск пресування впливають такі параметри спресованої сировини як модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона і коефіцієнт тертя гранули по циліндричній стінці матриці. Одержане рівняння зв'язує тиск пресування гранул з основними конструктивними характеристиками пресового обладнання і фізичними характеристиками сировини.

Проведений аналіз показав, що для повного виконання розрахунків по технологічному процесу пресування пелет необхідно мати дані по таким фізичним характеристикам початкової сировини і спресованих гранул, як кут природного ухилу і ущільненість сировини, модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона для спресованої сировини, впливу на них початкової вологості і фракційного складу» [35].

3.4.3. Модель процесу пресування сировини у циліндричній матриці.

«В роботах показані принципи побудови математичної моделі процесу пресування дисперсних матеріалів в циліндричних пресах-грануляторах. Подальшими дослідженнями здійснено її вдосконалення, спрямоване на можливість врахування максимальної кількості конструктивно-технологічних параметрів. Цими авторами розроблена інформаційна технологія проектування (ІТП) обладнання для обробки дисперсних матеріалів екструзією та запропоновано її використання при створенні вузла пресування гранулятора в технології пелетування рослинних відходів при виробництві біопалива. ІТП типу "математична модель – інтелектуальна експертна система – система автоматизованого проектування", розглядає технологічний процес грануляції у вигляді багатокomпонентної системи взаємозв'язаних об'єктів досліджень: сировинної маси, елементів технологічного обладнання, механічного навантаження тощо» [35].

«Аналітична структура математичної моделі включає побудову залежності між конструктивно-технологічними параметрами вузла пресування шляхом застосування регресійного аналізу досліджуваних функцій та задачі пошуку оптимального розподілу цих параметрів.

Ефективність роботи преса-гранулятора оцінювалось по густині ρ пелет, а також продуктивності Q преса-гранулятора і потужності W його привода.

У межах розробленої ІТП розглянуто моделювання процесу гранулювання біопаливних пелет екструзією на пресі-грануляторі з розташуванням пресувальних роликів всередині циліндричної матриці.

Для прийнятої конструктивної схеми гранулятора виділялись наступні основні параметри, що впливають на протікання процесу: геометричні розміри роликів і матриці, геометричні розміри отворів у матриці, шорсткість поверхні отворів, частота обертання матриці гранулятора, тиск при екструзії крізь отвір, реологічні властивості сировини, продуктивність і якість готової продукції» [35].

«На рисунку 3.14 представлена схема роботи вузла пресування біосировини, а на рисунку 3.15 – відповідні схеми процесу гранулювання екструзією. Перша розрахункова схема (рис. 3.15, а) враховує геометрію як матриці гранулятора, (її діаметр, та відстань між отворами), так і діаметр пресувального ролика і відстань між матрицею гранулятора та роликом.

Друга розрахункова схема (рис. 3.15,б) призначена для моделювання процесу екструзії матеріалу в каналі матриці гранулятора. Використання першої розрахункової схеми (рис. 3.15,а) дозволяє дослідити особливості поведінки матеріалу у прошарку між роликом та матрицею» [36].

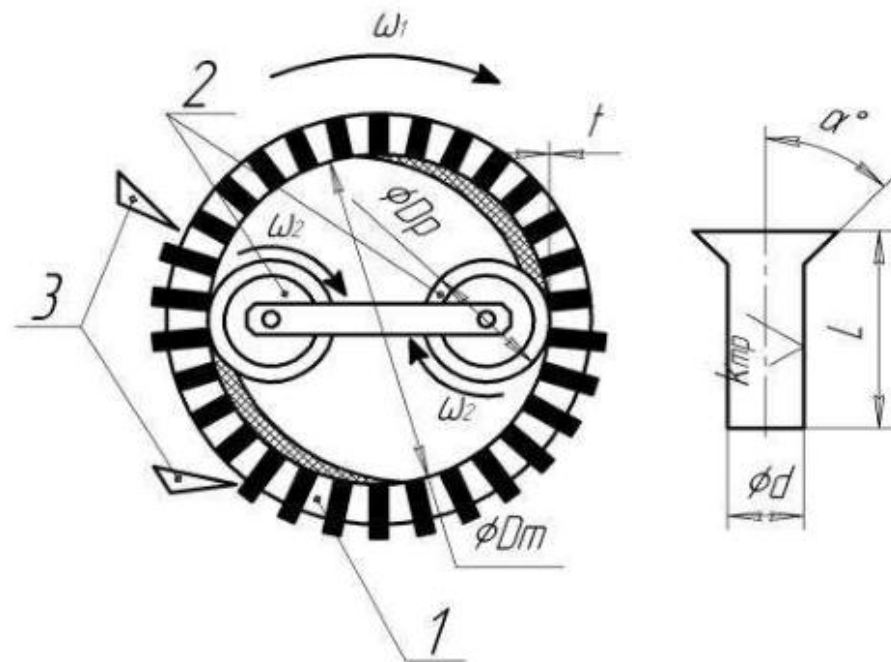


Рисунок 3.14 – Схема роботи вузла пресування біосировини:

1 – матриця циліндрична з отворами; 2 – ролик пресувальний; 3 – ніж;
 ω_1 , ω_2 – кутова швидкість обертання матриці та ролика; D_p та D_m – діаметр матриці та ролика; t – технологічний зазор між роликом та матрицею;
 L – довжина робочого отвору в матриці; d – діаметр робочого отвору в матриці; α – кут нахилу фаски робочого отвору

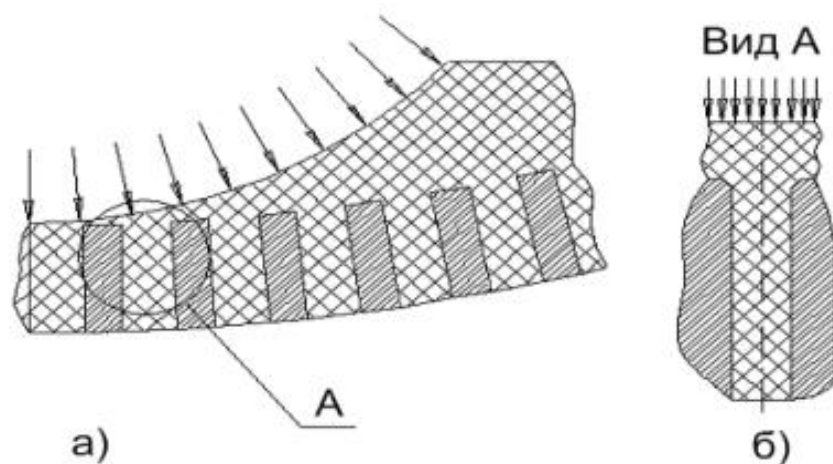


Рисунок 3.15 - Розрахункові схеми процесу гранулювання біосировини

а – нагнітання сировини роликом до отворів матриці;
 б – екструзія сировини через робочий отвір матриці

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

На енергетичні затрати в процесі виробництва паливних гранул з біологічної рослинної сировини та їх якість значний вплив мають такі основні параметри: фізико-механічні характеристики біологічної сировини; створюваний на сировину тиск і температура; конструктивні та геометричні розміри робочої матриці, а також компоновка камери пресування; шорсткість бічної поверхні матриці.

Рекомендації з вибору вологості біологічної сировини перед процесом пресуванням. Рекомендовані значення відсотків вологості для всіх видів рослинних відходів перед технологією пресування мають бути в межах від 6 до 15%. Такі значення є оптимальними, оскільки технологічний процес гранулювання з метою отримання якісного біологічного палива з різних видів рослинних відходів залежить від особистих структурно-механічних властивостей відходів, умов їх отримання та підготовки до пресування.

Зважаючи на вплив різних чинників, від яких залежать характеристики кожної біологічної сировини перед процесом пресуванням, оптимальні значення показників вологості для одержання високоякісного біологічного палива з мінімальними енергетичними витратами можуть бути визначені лише дослідним шляхом.

Наприклад, для паливних гранул, що виготовляються з соломи, рекомендовані значення вологості становлять в межах 8-12%, а оптимальні значення перед пресуванням повинні становити $10 \pm 1\%$.

Для виготовлення паливних гранул з композитів біологічних рослинних відходів і опалого листя за густиною, яка відповідає європейському стандарту, вологість технологічної сировини перед процесом пресування доцільно підтримувати в межах 15..25%. Використання біологічної рослинної сировини з вологістю, що нижче оптимальних значень

може призвести до погіршення склеювання частинок сировини і виготовлення біологічного палива низької міцності і густини.

Використання рослинної сировини з вологістю, яка перевищує оптимальні значення, призводить до зниження якісних показників паливних гранул, а також енергетичну їх цінність або руйнування в процесі зберігання.

Фракційний склад паливних гранул. Виготовлення якісного біологічного палива з густиною в межах 1000 кг/м^3 вимагає підготовки біологічної сировини зі зменшеним розміром фракційного складу (2,0 мм). Зменшення розмірів фракційного складу, при застосуванні у технологічному ланцюжку виготовлення біологічного палива з використанням дезінтеграторів для мікро подрібнення рослинної сировини (до 0,1 мм), дозволить у деяких випадках не проводити процес сушіння сировини перед пресуванням, що дозволяє значно скоротити енергетичні витрати на виробництво паливних гранул.

Рекомендації з вибору температури пресування біологічного матеріалу. Оптимальна температура процесу гранулювання таких біологічних рослинних відходів як соломи і лушпиння соняшника становить $90-100^\circ\text{C}$. Подальше підвищення температури рослинної сировини вище 100°C є недоцільним, оскільки температура майже не впливає на підвищення густини паливних гранул, але підвищує енергетичні витрати на їх виготовлення.

Для деяких видів біологічної сировини, таких як лушпиння гречки, висівки, деревинна стружка, підвищення температури в прес-матриці до 150°C підвищує густину біологічного палива до значень європейського стандарту. Цей процес пояснюється розчиненням лігніну під впливом підвищення температури і відсутністю утворення водяної пари, яка призводить до розривання готових гранул на виході з фільтр матриці. Але подальше підвищення температури сировини призводить до зниження густини готових паливних гранул.

Для деяких видів біологічних рослинних відходів, наприклад деревинна тирса, температура при гранулюванні має бути більше 150°C , за якою готові гранули набувають найбільшої міцності і густини. При цьому верхня межа температури пресування сировини є 250°C . За такої температури розпочинається реакція піролізу, тобто відбувається часткове розкладання біологічної маси.

При нагріванні біологічної сировини в діапазоні температур від 75 до 200°C вона послідовно переходять з сипкого стану в умовно-пластичний стан. При цьому відбувається різке зниження питомих навантажень пресування і виготовляється біологічне паливо з високою міцністю і густиною. З підвищенням робочої температури від 100°C густина готових гранул з такої рослинної сировини змінюється незначно і в середньому становить 1300 кг/м^3 .

Безпосереднє нагрівання робочої матриці дозволяє надати біологічній сировині пластичних властивостей, забезпечить гладкість зовнішньої поверхні готових гранул і знизить енергетичні витрати процесу гранулювання.

Рекомендації.

Тиск пресування рослинної сировини на дискових та циліндричних грануляторах. Для досягнення на грануляторах необхідних за європейськими стандартами показників густини готових гранул (1000 кг/м^3) з біологічної сировини, тиск пресування має бути не нижче 100 МПа . Збільшення тиску пресування до 300 МПа незначно підвищує густину біопалива (1100 кг/м^3).

Для виготовлення біологічного палива, яке за фізико-механічними характеристикам подібне до соломи, і має густину 1000 кг/м^3 , тиск у камері пресування має бути 125 МПа . Підвищення тиску пресування до 300 МПа не підвищує густину готових гранул.

Рекомендації з вибору конструкції робочої матриці відкритого типу та пресового обладнання. Філь'єра матриці повинна мати обов'язково

конусну вхідну частину, калібрувальну і вихідну частину зі зворотним конусом, робочі поверхні яких мають достатньо низьку шорсткістю для отримання оптимального опору проходження і стиснення біологічної сировини. Кут конусу філь'єри матриці на вході рослинної сировини залежить від її виду та фракційності і має бути не більше 60° .

Так, для біологічної сировини, що за характеристиками подібна до лушпиння соняшника та стружки з деревини, найбільша густина готових паливних гранул досягається при використанні матриць з кутом робочого вхідного конусу 45° . Від шорсткості і довжини калібрувальної частини філь'єри матриці залежить якісні показники паливних гранул (міцність, густина, гладкість поверхні).

Орієнтовні значення довжини циліндричної частини матриці 15...35 мм. Діаметр калібрувальної частини філь'єри матриці (5...10мм) залежить від фракційності біологічного матеріалу та необхідної продуктивності. Оптимальний діаметр філь'єри матриці для виготовлення паливних гранул з біологічного матеріалу, який за фізико-механічними характеристиками наближений до лушпиння соняшника, становить 8 мм.

Збільшення діаметру філь'єри матриці призводить до зменшення густини паливних гранул, але підвищення продуктивності виготовлення біологічного палива. При зменшенні діаметра філь'єри від оптимального значення, ми отримуємо протилежний результат.

При виборі конструктивних елементів філь'єри матриці для різних видів біологічних рослинних відходів необхідно враховувати відношення довжини калібрувальної частини матриці до конусної формуючої частини, а також довжини калібрувальної частини до діаметра філь'єри, що забезпечить виготовлення паливних гранул високої якості.

Найнижчі енергетичні витрати при гранулюванні та найбільш якісні паливні гранули виготовляються при проходженні біологічної сировини у філь'єрах матриць, шорсткість бічної поверхні яких не перевищує

максимально допустимі значення. Так, для біологічної сировини, фізико-механічні характеристики яких подібні до лушпиння соняшника, шорсткість поверхні філь'єр матриці не повинна перевищувати значення шорсткості 3,2мкм, а для біологічної сировини, подібної соснової стружки – 6,3мкм. Збільшення шорсткості контактної поверхні філь'єри матриці при мінімальних швидкостях руху рослинної сировини, призводить до збільшення коефіцієнта тертя ковзання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципі пріоритету життя та здоров'я працівників відносно до результатів виробничої діяльності підприємства, повної відповідальності власника за створення безпечних та нешкідливих умов праці.

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, що направлені на збереження здоров'я та працездатності людини у процесі праці.

Задача охорони праці – звести до мінімуму вірогідність травматизму чи профзахворювання працівника з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні умови праці характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

4.1 Аналіз шкідливостей та небезпек

До основних шкідливостей та небезпек виробничих факторів у цеху з виготовлення пресованого біопалива належить група фізичних факторів, що складається з рухливих машин та механізмів, виробів, заготовок, матеріалів, вологості, іонізації та рухливості повітря, освітленості робочої зони, підвищеного рівня шуму, вібрації, ультразвука, інфразвукових коливань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань [44].

До групи хімічних небезпечних та шкідливих факторів по характеру дії на організм людини належать:

- загальнотоксичні, діючі на центральну нервову систему, склад крові, кровотворних органів (сірководень, ароматичні вуглеводні та ін.) ;

- подразнюючі речовини, що діють на слизові оболонки очей, носа, гортані, шкіряні покриви (пил, тирса з деревини);
- мутагенні, що викликають порушення спадкового апарату людини, які впливають на його потомстві.

До групи біологічно небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать біологічні об'єкти, дія яких на працівників викликає травми та захворювання – мікроорганізми (бактерії, віруси) [24].

До групи психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів по характеру дії поділяються на перевантаження фізичні (статичні, динамічні) та нервово-психічні (розумова напруга, монотонність праці).

Таким чином, завданням служби виробничої санітарії є виконання комплексу заходів, спрямованих на оздоровлення умов праці працівників та підвищення її продуктивності на усіх стадіях технологічного процесу, усунення несприятливого впливу на здоров'я працівників шкідливих факторів та попередження професіональних захворювань.

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори

Однією з необхідних умов здорової та високопродуктивної праці є забезпечення чистоти повітря та нормальних метеорологічних умов у робочій зоні приміщень, тобто простір на рівні 2 м від підлоги чи площадки, де знаходяться робочі місця. Усунення дії таких шкідливих виробничих факторів, як пил, тирса, є важливим завданням, котре повинне вирішуватися комплексно, одночасно з вирішенням основних питань виробництва.

Шкідливі речовини потрапляють в організм людини через дихальні шляхи, а також через шкіру. Більшість цих речовин належать до небезпечних та шкідливих, оскільки вони мають токсичний вплив на організм людини. Ряд шкідливих речовин чинять на організм людини фіброгенну дію, викликаючи подразнення слизової оболонки дихальних шляхів та осідаючи в

легенях. Переважно це пил деревини, металів, пластмас, наждачного паперу і т.д.

Необхідний стан повітря робочої зони може бути забезпечене виконанням певних заходів, до основних з яких належать [24]:

- механізація та автоматизація виробничих процесів, дистанційне керування ними;
- застосування технологічних процесів та обладнання, що виключають утворення шкідливих речовин чи потрапляння їх в робочу зону;
- захист від джерел теплового випромінювання;
- впровадження вентиляції та опалення, що має велике значення для оздоровлення повітряного середовища у виробничих приміщеннях;
- застосування засобів індивідуального захисту.

Правильно спроектоване й виконане освітлення забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Схоронність зору людини, стан його центральної нервової системи й безпека праці у значній мірі залежать від освітлення. Від освітлення також залежить продуктивність праці та якість виробленої продукції.

При освітленні виробничих приміщень використовується природне, штучне й комбіноване освітлення, при якому у світлий час доби недостатнє по нормам природне світло доповнюється штучним.

Основна задача освітлення на виробництві – створення найкращих умов для зору. Цю задачу можливо вирішити тільки за допомогою впровадження освітлювальної системи, що відповідає наступним вимогам [24]:

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні, а також у межах оточуючого простору;
- у полі зору повинна бути відсутня пряма й відображена блискість;.

- величина освітленості повинна бути постійною у часі;
- потрібно вибирати оптимальну направленість світлового потоку;
- потрібно вибирати необхідний спектральний склад світла;
- усі елементи освітлювальних установок – світильники, групові щитки, понижуючі трансформатори, освітлювальні мережі повинні бути довговічними, електробезпечними, а також не повинні бути причиною виникнення пожежі чи вибуху.

У промисловості та на транспорті дуже часто використовуються машини й обладнання, що створює вібрацію, яка має неблаготворний вплив на людину. Дія вібрації не тільки погіршує самопочуття людини та знижує продуктивність праці, але й часто призводить до профзахворювань. Тому питанням боротьби з вібрацією приділяється дуже багато уваги.

Введення дистанційного керування цехами й ділянками дозволить повністю вирішити питання захисту від вібрації. У неавтоматизованих виробництвах здійснюють наступні заходи по зменшенню вібрацій [25]:

а) зниження вібрацій впливом на джерело збудження:

- 1) зміна конструктивних елементів машин та будівельних конструкцій;
- 2) зменшення нерівностей профілю шляхом самохідних та транспортних машин;
- 3) підвищення нівелюючої здатності опорних елементів машин.

б) відстроювання від режиму резонансу шляхом раціонального вибору маси чи жорсткості системи, що коливається.

в) динамічне гасіння коливань – приєднання до об'єкта, що захищається, системи, реакції якої зменшують розмах вібрації об'єкта в точках приєднання системи (найчастіше віброгасіння здійснюють шляхом встановлення агрегатів на фундаменти).

г) зміна конструктивних елементів машин та конструкцій для зниження вібрації на шляхах її розповсюдження здійснюється за рахунок збільшення жорсткості системи.

д) віброізоляція. Цей спосіб захисту полягає у зменшенні передачі коливань від джерела збудження до об'єкта, що захищається, за допомогою пристроїв, що розміщуються між ними.

є) виключення контакту з вібруючим об'єктом забезпечується використанням загороджень та сигналізації.

Під час роботи з ручними, електро- та пневмоінструментами застосовують засоби індивідуального захисту рук від дії вібрації: рукавиці, перчатки, віброзахисні прокладки чи пластини, що обладнані кріпленнями до руки.

З метою профілактики віброхвороби рекомендується спеціальний режим праці, коли сумарний час роботи у контакті з вібрацією не повинен перевищувати $2/3$ робочої зміни, при цьому одноразова безперервна дія вібрації не повинна перевищувати 15–20 хвилин.

Під час роботи з вібруючим обладнанням рекомендується включати до робочого циклу технологічні операції, не пов'язані з дією вібрації.

Шум на виробництві спричиняє великий ущерб, шкідливо впливаючи на організм людини й знижуючи продуктивність праці. Стомлення робочих й операторів через шум збільшує число помилок при роботі й сприяє травматизму.

Для зниження рівня шуму можна вживати наступних заходів:

а) зменшення шуму у джерелі.

б) зміна направленості випромінювання шуму.

в) раціональне планування підприємств та цехів.

г) акустична обробка приміщень.

д) зменшення шуму на шляху його розповсюдження.

є) застосування засобів індивідуального захисту: 1) вкладиші – м'які тампони з ультра тонкого волокна; 2) протишумні навушники; 3) шоломи.

Велике значення в охороні праці має електробезпека. Випадки ураження людини електричним струмом можливі лише при замкненні електричного ланцюга через тіло людини, тобто при дотику не менше, ніж до двох точок ланцюга, між якими існує деяка напруга.

Основні причини нещасних випадків від ураження електричним струмом:

- Випадкове доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.
- Поява напруги на металічних конструктивних частинах електрообладнання в результаті пошкодження ізоляції.
- Поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки.
- Виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- Забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, від випадкового доторкання.
- Електричне розділення мережі на окремі, не пов'язані між собою частини, за допомогою спеціальних трансформаторів.
- Усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електрообладнання.
- Застосування засобів індивідуального захисту: інструменту з ізолюючими ручками, індикаторів напруги, діелектричних підставок та ін.
- Організація безпечної експлуатації електроустановок.

Інструкції з охорони праці повинні включати в себе вимоги до виробничого персоналу й обладнанню вимоги безпеки перед початком робіт, під час роботи і після її виконання, а також при виникненні аварійних ситуацій. Усі робочі місця повинні бути забезпечені цими інструкціями, котрі обов'язково повинні виконуватися при проведенні робіт.

4.3 Промислова санітарія

Промислова санітарія – це система організаційних заходів та технічних засобів, що запобігають чи зменшують вплив на працівників шкідливих виробничих факторів. До промислової санітарії належать гігієна праці (галузь профілактичної медицини, що вивчає умови збереження здоров'я на виробництві, та заходи, що цьому сприяють) та санітарна техніка (заходи й пристрої технічного характеру, що належать до промислової санітарії – системи й пристрої вентиляції, опалення, кондиціонування повітря, тепло- та газопостачання, водопостачання й каналізації, очищення й нейтралізації викидів шкідливих речовин у атмосферу та водойми, освітлення, захисту людини від вібрацій, шуму, дії шкідливих випромінювань на полів, санітарні та побутові споруди та пристрої і т. ін.) [45].

Норми з промислової санітарії й гігієни праці визначають устрій виробничих та побутових приміщень, робочих місць у відповідності до фізіології та гігієни праці, а також безпечні межі вмісту в повітрі виробничих приміщень пилу та ін.

Норми виробничої санітарії необхідно виконувати як при проектуванні, так і при експлуатації промислових об'єктів, обладнання. Вимоги у галузі забезпечення здорових умов праці, що містяться у нормах промислової санітарії, є юридично обов'язковими як для адміністрації, так і для робочих і службовців. При невиконанні цих правил і норм винні особи несуть відповідальність відповідно до Закону України „Про охорону праці”.

4.4 Заходи пожежної безпеки

Пожежі на деревообробних підприємствах становлять велику небезпеку для працівників і можуть нанести величезних матеріальних збитків. Пожежна безпека може бути забезпечена заходами пожежного захисту. Поняття пожежної профілактики включає в себе комплекс заходів,

що необхідні для попередження виникнення пожежі чи зменшення її наслідків. Під пожежним захистом маються на увазі заходи, що забезпечують успішну боротьбу з виникаючими пожежами чи вибухонебезпечними ситуаціями [45].

Причини пожеж, що виникають на підприємствах, і відповідна їм частота випадків (%):

- порушення технологічного режиму – 33;
- несправність електрообладнання (коротке замикання, перевантаження) – 16;
- самозапалення промаслених ганчірок та інших матеріалів, схильних до самозапалення – 10;
- недотримання графіку планового ремонту, зношення та корозія обладнання – 8;
- несправність запорної арматури та відсутність заглушок на ремонтуємих апаратах та трубопроводів – 6;
- іскри при електро- і газозварювальних роботах – 7;
- конструктивні недоліки обладнання – 4;
- реконструкція установок з відхиленням від технологічних схем – 1.

Ці дані показують, що основною причиною пожеж на підприємствах є порушення технологічного режиму. Це пов'язано з різноманіттям та складністю технологічних процесів.

Заходи з пожежної профілактики поділяються на організаційні, технічні, режимні й експлуатаційні.

Організаційні заходи передбачають безпечну (з точки зору пожежної безпеки) експлуатацію обладнання, утримання споруд, територій у відповідності до вимог пожежної безпеки, протипожежні інструктажі робочих та службовців, організацію добровільних пожежних дружин, пожежно-технічних комісій, проведення суспільних оглядів-конкурсів з пожежної безпеки і т. ін.

До технічних заходів належить виконання протипожежних правил, норм при проектуванні споруд, при проведенні електропроводів та обладнання, опалення, вентиляції, освітлення, правильне розміщення обладнання.

Заходи режимного характеру – заборона куріння у невстановлених місцях, виконання зварювальних та інших вогневих робіт у пожежебезпечних приміщеннях і т.д.

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти й випробування технологічного обладнання.

При проектуванні й будівництві промислових підприємств необхідно виконувати наступні основні заходи пожежної профілактики:

- Підвищити вогнестійкість будівель і споруджень можна облицюванням та штукатуренням металічних конструкцій, дерев'яних перегородок.

- Зонування території полягає у групуванні при генеральному плануванні підприємств у окремі комплекси об'єктів, подібних по функціональному призначенню та признаку пожежної небезпеки. При цьому споруди з підвищеною пожежною небезпекою розташовуються з підвітряної сторони.

- Протипожежні перешкоди. До них належать стіни, перегородки, перекриття, двері, ворота, люки, тамбур-шлюзи та вікна.

- Шляхи евакуації при проектуванні будівель необхідно передбачати на випадок виникнення пожежі. Люди повинні покинути споруду протягом мінімального часу, який визначається найкоротшою відстанню від їх місцезнаходження до виходу назовні.

- Видалення з приміщень диму при пожежі проводиться через вікна, а також за допомогою димових люків, легкозкидних конструкцій, які розробляються у процесі планування споруд.

Таблиця 4.1 - Способи попередження та усунення основних шкідливостей та небезпек

Шкідливості та небезпеки	Способи попередження та усунення
1. Шкідливості а) вібрація	1. Зниження вібрації дією на джерело збудження 2. Динамічне гасіння коливань 3. Віброізоляція 4. Виключення контакту з вібруючим об'єктом
б) запиленість і загазованість	1. Механізація та автоматизація виробничих процесів 2. Застосування технологічних процесів та обладнання, що виключають утворення шкідливих речовин 3. Забезпечення відповідної вентиляції 4. Застосування засобів індивідуального захисту
в) шум	1. Зменшення шуму у джерелі 2. Акустична обробка приміщень 3. Раціональне планування підприємств та цехів 4. Застосування засобів індивідуального захисту
2. Небезпеки а) електробезпека	1. Забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою 2. Електричне розділення мережі за допомогою спеціальних трансформаторів 3. Застосування засобів індивідуального захисту 4. Організація безпечної експлуатації електроустановок
б) можливість травматизму в результаті механічного впливу деталей інструментів та приладів	1. Надійно закріплювати деталі на обладнанні 2. Зберігання інструменту, деталей та приладів у спеціально відведених місцях
в) небезпека забруднення навколишнього середовища	1. Будівання очисних споруд 2. Жорсткий контроль за викидами шкідливих речовин у атмосферу та джерела води
г) небезпека виникнення пожеж	1. Підвищення вогнестійкості будівель і споруд 2. Протипожежні розриви та перешкоди 3. Обладнання будівель і споруд пристроями автоматичної сигналізації та гасіння пожеж 4. Оснащення виробничих та складських приміщень первинними засобами пожежогасіння

4.5 Розрахунок рівня освітлення в цеху

Приймаємо відношення відстані між світильниками L_v , м до висоти підвісу H_c , м дорівнюючим:

$$\frac{L}{H_c} = 1,5 \quad (4.1)$$

Висота підвісу світильника над освітлюваною поверхнею H_c , м визначається за формулою

$$H_c = H - h_c - h_p, \quad (4.2)$$

де H – загальна висота приміщення;

h_c – висота від стелі до нижньої частини світильника;

h_p – висота від підлоги до освітлюваної поверхні.

$$H_c = 7,2 - 2,7 - 1,0 = 3,5 \text{ м}$$

Потрібне число світильників при $L_a = L_v$ визначається за формулою

$$h = \frac{S}{L^2}, \quad (4.3)$$

де S – освітлювана площа, $S = 288 \text{ м}^2$;

L – відстань між світильниками,

$$L = 1,5 \cdot H_c = 1,5 \cdot 3,5 = 5,25 \text{ м}; \quad (4.4)$$

$$h = \frac{288}{5,25} = 10,45$$

Приймаємо кількість світильників рівним 10.

Визначаємо індекс приміщення за наступною формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_c(A + B)}, \quad (4.5)$$

де A – довжина приміщення, $A = 24 \text{ м}$;

B – ширина приміщення, $B = 12 \text{ м}$.

$$i = \frac{24 \cdot 12}{3,5(24 + 12)} = 2,29$$

За індексом приміщення при коефіцієнті відбивання підлоги та стін 0,7 приймаємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,41$. Приймаємо величину коефіцієнта запасу для ділянки $K_3 = 1,3$.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення знаходиться в залежності від співвідношення L/H_c і для даного випадку дорівнює $z = 1,2$.

З таблиці знаходимо величину нормативної освітленості $E_n = 100$ лк.

Величину світлового потоку однієї лампи визначимо за формулою

$$F_p = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot z}{\eta \cdot n} \quad (4.6)$$

$$F_p = \frac{100 \cdot 288 \cdot 1,3 \cdot 1,2}{0,41 \cdot 10} = 10958,01 \text{ пк}$$

За знайденим значенням величини світлового потоку кожної лампи визначаємо її потужність та обираємо тип. Приймаємо лампи накаливання зі світловим потоком $F_{np} = 10440$ пк, потужністю $N_n = 500$ Вт.

Визначаємо фактичну освітленість за формулою:

$$E_\phi = \frac{F_{np}}{F_p} \cdot E_n = \frac{10440}{10958,01} \cdot 100 = 95,27 \text{ пк}$$

Розходження не перевищує 10%, отже, прийнята система освітлення задовольняє санітарним нормам.

Загальна витрата електроенергії на штучне освітлення визначається за формулою

$$W = N_n \cdot n = 500 \cdot 10 = 5000 \text{ Вт} \quad (4.7)$$

Ступінь захисту електротехнічного обладнання визначається за умовним позначенням, що нанесене на табличку з паспортними даними і означає: умовні літери – IP, перша цифра після умовних літер – ступінь захисту персоналу від дотику до струмоведучих частин обладнання, друга цифра – ступінь захисту обладнання від потрапляння води.

Ступінь захисту персоналу від можливості дотику до струмоведучих чи рухомих частин електрообладнання та від потрапляння твердих сторонніх тіл позначається наступними цифрами:

0 – відсутній захист персоналу від можливості дотику до струмоведучих чи рухомих частин усередині оболонки та від потрапляння твердих сторонніх тіл;

1 – захист від випадкового дотику великої ділянки тіла людини до струмоведучих чи рухомих частин всередині оболонки; відсутній захист від навмисного доступу до цих частин; є захист обладнання від потрапляння крупних сторонніх тіл діаметром не менше за 52,5 мм;

2 – захист від можливості дотику пальців до струмоведучих чи рухомих частин усередині оболонки, а також захист обладнання від потрапляння твердих сторонніх тіл середнього розміру діаметром не менше 12,5 мм;

3 – захист від дотику інструмента, дроту чи подібних до них предметів, товщина яких перевищує 2,5 мм, до струмоведучих чи рухомих частин усередині оболонки, а також захист від потрапляння твердих сторонніх тіл діаметром не менше 2,5 мм;

4 – захист від дотику інструмента, дроту чи подібних до них предметів, товщина яких перевищує 1 мм, до струмоведучих частин усередині оболонки, а також захист від потрапляння твердих сторонніх тіл товщиною не менше 1 мм;

5 – повний захист персоналу від дотику до струмоведучих чи рухомих частин, що знаходяться всередині оболонки, а також захист обладнання від шкідливих відкладень пилу;

6 – повний захист персоналу від дотику до струмоведучих чи рухомих частин, що знаходяться всередині оболонки, а також повний захист обладнання від потрапляння пилу.

Таким чином, зважаючи на розміри пілет, для шнеку, встановленому у наповнюючому патрубку, обираємо ступень захисту IP10 відповідно до ГОСТ 14254-80 “Вироби електротехнічні. Оболонки. Ступені захисту” що забезпечує захист працюючих від випадкового дотику великої ділянки тіла людини до струмоведучих чи рухомих частин всередині оболонки.