

Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**  
до дипломної роботи  
освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр"  
на тему:  
**Обґрунтування конструкційно-режимних параметрів пресу для  
виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-1-22  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Мовчан Радомир Володимирович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Алієв Ельчин Бахтияр огли

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«9» листопада 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Мовчану Радомиру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструкційно-режимних параметрів пресу для виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини

керівник роботи Алієв Ельчин Бахтияр огли, д-р техн. наук, старший дослідник

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«9» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_.

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі переробки рослинної сировини та існуючих пресів для брикетування. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан і напрями досліджень. 2. Теоретичні дослідження процесу виготовлення паливних брикетів з рослинних матеріалів. 3. Програма та методика досліджень. 4. Експериментальні дослідження та їх аналіз. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність пресу для виготовлення паливних брикетів. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (2 аркуша, А4). 2. Аналіз адаптивних доїльних апаратів (2 аркуша, А4). 3. Аналітичні дослідження (1 аркуш, А4). 4. Експериментальні дослідження (3 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Алієв Е. Б., професор	09.11.2023	08.12.2023
2	Алієв Е. Б., професор	09.11.2023	08.12.2023
3	Алієв Е. Б., професор	09.11.2023	08.12.2023
4	Алієв Е. Б., професор	09.11.2023	08.12.2023
5	Алієв Е. Б., професор	09.11.2023	08.12.2023
6	Алієв Е. Б., професор	09.11.2023	08.12.2023
Нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент	09.11.2023	08.12.2023

7. Дата видачі завдання: 9 листопада 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	09.11-10.11.23	виконано
2	Теоретичний	13.11-15.11.23	виконано
3	Експериментальний	16.11-17.11.23	виконано
4	Охорона праці	20.11-22.11.23	виконано
5	Економічний	23.11-28.11.23	виконано
6	Демонстраційна частина	01.12-04.12.23	виконано

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Мовчан Р. В.

\_\_\_\_\_ .

( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Алієв Е. Б.

\_\_\_\_\_ .

( прізвище та ініціали )



Мовчан Р. В. Обґрунтування конструкційно-режимних параметрів пресу для виготовлення паливних брикетів з рослинної сировини. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

У вступі міститься обґрунтування актуальності теми дипломної роботи, відображено її мета та задачі, наведено методи досліджень. Проведено огляд та аналіз використання продуктів рослинництва як паливно-енергетичних носіїв. Надані теоретичні та експериментальні дослідження брикетування рослинних матеріалів. У другому розділі наведені результати теоретичних досліджень процесу виготовлення паливних брикетів з рослинних матеріалів. Представлено методику досліджень експериментального прес-брикетувальника. Проведено результати досліджень щодо визначення часу включення тактів. Представлені результати досліджень прес-брикетувальника для виготовлення паливних брикетів. Проведено аналіз умов праці при роботі з пресом для виготовлення брикетів. Проведена техніко-економічна оцінка розробки. Сформовані висновки і наведено перелік використаної літератури.

**Ключові слова:** рослинна сировина, солома, прес, брикети, конструкція, ефективність, фактор досліджень, параметри

## ЗМІСТ

Вступ .....	8
<b>1 СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Огляд та аналіз використання продуктів рослинництва як паливно-енергетичних носіїв .....	9
1.2 Паливні брикети та вимоги до них .....	14
1.3 Теоретичні та експериментальні дослідження брикетування рослинних матеріалів .....	15
1.4 Огляд основних результатів досліджень робочих органів пресів ..	17
1.5 Висновки з розділу .....	19
1.5 Мета і завдання досліджень .....	20
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ .....</b>	<b>21</b>
2.1 Оптимізація вихідного стану пресованої суміші .....	21
2.2 Процес брикетування стебельчастих матеріалів у відкритій камері .....	22
2.3 Вибір типу прес-брикетувальника та його кінематичний аналіз....	25
2.4 Обґрунтування параметрів та режимів роботи преса .....	30
2.5 Висновки з розділу .....	32
<b>3 ПРОГРАМИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>34</b>
3.1 Опис та технічна характеристика та процес роботи експериментального прес-брикетувальника .....	34
3.2 Програма досліджень прес-брикетувальника .....	35
3.3 Вимірювальні пристрої, що використовуються у процесі досліджень .....	37
3.4 Методика проведення досліджень .....	38
3.5 Планування експериментальних досліджень .....	39
<b>4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ .....</b>	<b>43</b>

4.1. Результати досліджень прес-брикетувальника для виготовлення паливних брикетів .....	43
4.2 Аналіз результаті досліджень .....	44
4.3 Висновки з розділу.....	51
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>53</b>
5.1 Основні положення .....	53
5.2 Охорона праці при роботі з пресом для виготовлення брикетів ....	54
5.3 Вимоги щодо забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях ....	59
5.4 Висновки з розділу .....	60
<b>6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРЕСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ .....</b>	<b>61</b>
6.1 Постановка задачі.....	61
6.2 Методика розрахунку економічної ефективності .....	62
6.3 Визначення економічної ефективності прес-брикетувальника ....	64
6.4 Висновки з розділу .....	64
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>65</b>
<b>Бібліографія .....</b>	<b>67</b>

## ВСТУП

Сільське господарство є одним із головних споживачів енергії. Серед галузей сільського господарства найбільше енергоємна – це рослинництво, яке споживає 53 % всіх енергетичних ресурсів галузі. Тваринництво становить приблизно 11 %, а транспортні перевезення – 30 %.

Статистичні дані свідчать, що прямі витрати енергії на виробництво продукції тваринництва становлять від 35 % до 50 % від загальних витрат енергії на виробництво цього виду продукції в сільському господарстві, а в рослинництві – від 13 % до 30 % (виняток становить зрошування, де завдяки великій енергоефективності поливу прямі витрати вищі, для пшениці ця цифра сягає 62 %).

Актуальність цієї роботи полягає в тому, що інтенсифікація сільського господарства, супроводжувана зростанням споживання енергії, вимагає зменшення використання екологічно шкідливих вуглеводневих енергоносіїв шляхом впровадження енергозберігаючих технологій та використання вторинних рослинних матеріалів, зокрема соломи, для ефективного використання яких потрібна відповідна обробка.

Досвід свідчить, що 80 % економії матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів досягається завдяки енергозберігаючим технологіям, тому одним із головних пріоритетних напрямків є впровадження технологічних систем і комплексів для широкого залучення виробництва вторинних матеріальних, сировинних і пально-енергетичних ресурсів, бічної продукції та відходів виробництва [1].

Практичне вирішення цього завдання передбачає концентрацію зусиль об'єднань, підприємств, науково-дослідних, проектно-конструкторських установ і інших організацій на глобальних напрямках збереження енергії та ресурсів.



## 1 СТАН І НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Огляд та аналіз використання продуктів рослинництва як паливно-енергетичних носіїв

Зростаючий інтерес до поновлюваних джерел енергії, зокрема до поновлюваної біоенергетики (біомаси, тобто енергії рослинного походження, використовуваної для виробництва енергії), зумовлений побоюваннями з приводу виснаження запасів викопного палива та екологічними проблемами.

Сучасна промислова енергетика ґрунтується на використанні невідновлюваних видів викопного палива, таких як вугілля, нафта і газ, а також атомної та гідроелектроенергії.

Використання цих видів палива, а також пов'язані з ними видобуток, перероблення і транспортування поступово погіршують стан довкілля, зокрема атмосфери. Спалювання викопного палива сприяє швидкому поверненню в атмосферу вуглекислого газу, який накопичувався протягом сотень мільйонів років. Різниця між кількістю вуглецю, що зберігається нині в рослинах, і кількістю вуглецю, що вивільняється зі старих запасів, викликає дисбаланс у вуглецевому циклі, збільшуючи концентрацію вуглекислого газу в атмосфері. Вуглекислий газ, що виділяється, затримує тепло в атмосфері, викликаючи парниковий ефект і підвищуючи середню температуру атмосфери [2].

Енергетичний сектор людської діяльності виробляє близько  $\frac{3}{4}$  вуглекислого газу від спалювання невідновлюваного викопного палива, що є найважливішим парниковим газом. Крім того, виділяються й інші шкідливі для довкілля гази, такі як діоксид сірки та оксиди азоту.

Незважаючи на меншу кількість вуглекислого газу на одиницю енергії порівняно з вугіллям і нафтою, природний газ є практично чистим газом метан, який внаслідок витоків під час видобутку і транспортування потрапляє в атмосферу, значно посилюючи парниковий ефект.

Ситуація, що склалася, показує, що для поступового скорочення викидів парникових газів у найближчому майбутньому потрібен перегляд енергоспоживання, який має відбуватися у двох напрямках: скорочення втрат енергії, тобто енергозбереження, та прискорений розвиток і розширення використання поновлюваних джерел енергії, передусім сільськогосподарської продукції та відходів сільського господарства [3]. Біологічні ресурси є найбільшим і найбільш збалансованим джерелом паливних і поновлюваних ресурсів, що містить близько 4500 ЕДж річної первинної продукції. Річні запаси фотосинтетичної енергії біомаси у 8-10 разів перевищують поточне використання всіх джерел енергії.

Під час використання енергії біомаси цикл вуглецю перебуває в стані природної рівноваги, і додатковий викид вуглекислого газу в атмосферу не відбувається. Спалювання біомаси, зібраної на будь-якій території, тимчасово концентрує вуглекислий газ в атмосфері, але на наступний рік рослини на цій території здатні поглинути ту кількість вуглекислого газу, яка була викинута раніше [4, 5, 6, 7].

Негативним фактором у газовому балансі атмосфери під час спалювання біопалива є підвищена емісія сполук азоту та вуглекислого газу внаслідок неповного згоряння. Однак ці викиди можуть бути мінімізовані за рахунок вдосконалення технології спалювання (наприклад, використання псевдозріджених шарів, газогенераторів і каталізаторів).

Теплотворна здатність рослинних решток дуже висока порівняно з найпоширенішими джерелами енергії. Солома – 14,3, шкаралупа соняшнику – 14,3, гній ВРХ – 11,5, дрва (30% вологості) – 12,3, донецьке антрацитове буре вугілля – 6,8, традиційне тверде паливо – 29,3 МДж/кг. Однак, оскільки енергетична щільність рослинних відходів дуже низька (рис. 1.1), енергію можна досить ефективно концентрувати та витягувати під час їх використання. Проблема полягає в конкуренції щорічно поновлюваних джерел вуглеводів, зокрема соломи, з викопними джерелами енергії, заснованими на мінеральних вуглеводах. Можна сподіватися, що в міру зростання вартості розроблення викопних видів палива

використання енергії рослин удосконалюватиметься і ставатиме більш економічним [8, 9].

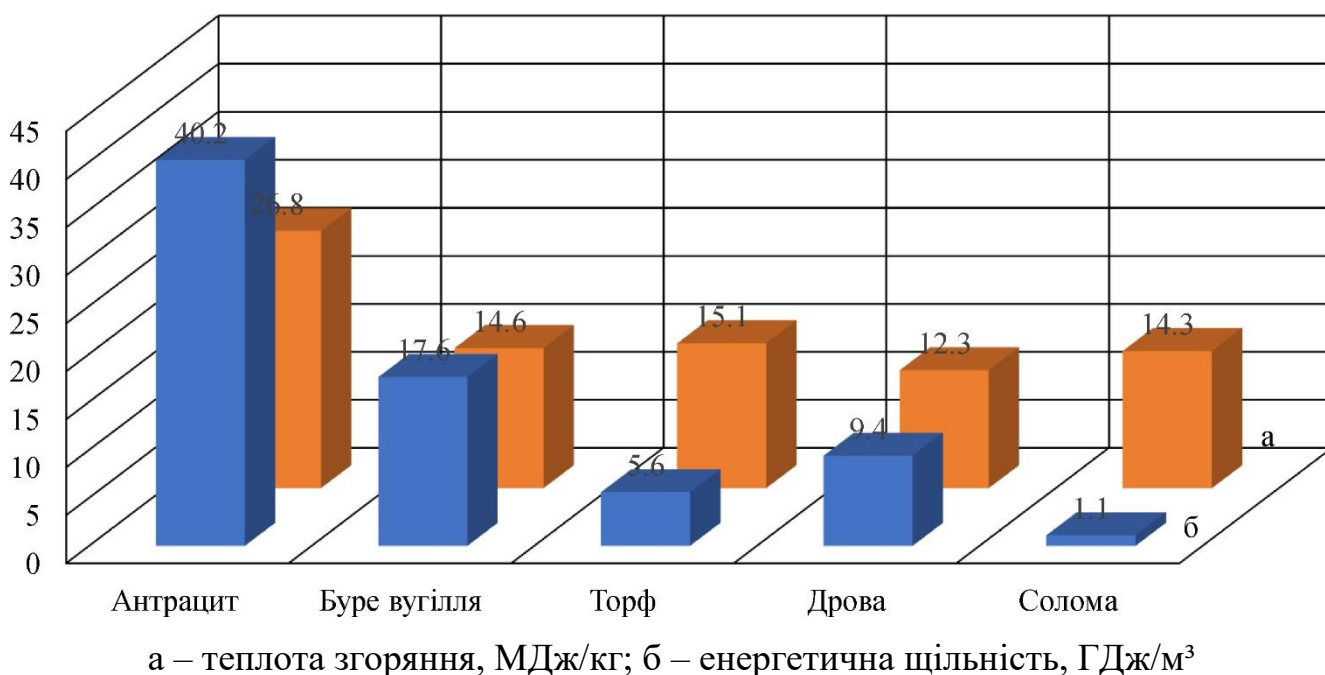


Рисунок 1.1 – Теплові характеристики енергоносіїв

Одним із недоліків використання соломи як паливо є її низька енергетична щільність. Зберігання і спалювання соломи в розсипному вигляді не економічний і потребує значної ручної праці.

У багатьох країнах світу зростає зацікавленість у використанні відновлюваних джерел енергії як успішного методу зниження емісії парникових газів [10].

Сільськогосподарські продукти, що використовуються для енергетичних цілей, можна розділити на дві групи:

- технічні рослини для енергетичних цілей (кукурудза, ріпак, топінамбур);
- органічні залишки та відходи, отримані при переробці рослинних продуктів, тваринницькі, органічні та комунальні відходи. Вирощування сільськогосподарських культур спеціально для енергетичних цілей значно звужує

кормову базу тваринництва, особливо на Півдні України, і для цього залишається можливим лише використання рослинних решток.

Відходи рослинництва, зокрема солома, використовується наступним чином: згодовується, йде на підстилку худоби, використовується поза сільським господарством. Величезні кількості відходів спалюють або закладають у ґрунт або спалюється в полі [11]. Характер та величини показників використання соломи у різних регіонах сильно відрізняються один від одного. Більше того, відомо, що частина соломи, яка пресується в пакунки та збирається, часто пропадає через неефективне зберігання та використання.

Серед потенційних джерел енергії солома, стебла та качани кукурудзи займають провідні позиції серед нетрадиційних джерел енергії. Стебла та качани кукурудзи вигідно використовувати, бо вони є кінцевим продуктом на підприємствах з виробництва гібридного насіння. Використання цих рослинних залишків багато в чому залежить від розв'язання питання про технологію їх збирання та підготовки до використання. За розрахунками німецьких фахівців, енергоємність кукурудзяних залишків становить 20 МДж/кг. Теплова електростанція потужністю 24 МВт, що спалює за одну годину близько 12 т сухої маси кукурудзи, може виробити щонайменше 24 000 кВт-год електроенергії і забезпечити електроенергією місто з населенням 150 000 осіб. Для забезпечення паливом потрібно 5-7 000 га кукурудзи.

Одна тонна сухої маси кукурудзи за питомою теплотворною здатністю еквівалентна 567 літрам рідкого палива і може виробити щонайменше 7,2 ГДж електроенергії, водночас вартість виробництва кукурудзи в 1,7 раза вища від вартості попелу, що використовується як добриво. Це означає, що використання кукурудзи як палива вигідне, але можливе тільки за умови надлишку сільськогосподарської продукції. Експерти вважають, що використання кукурудзи не є заміною традиційним джерелам енергії [12]. У багатьох країнах солома є найбільш підходящим альтернативним матеріалом для виробництва дешевого палива.

Питома теплотворна здатність соломи з вологістю 14% становить 14,2 МДж/кг. Експерименти, проведені в США, показали, що за вологості 7% вона досягає 16,25 МДж/кг, що майже удвічі більше, ніж у вугільних брикетів, і втричі більше, ніж у дизельного палива.

Незважаючи на те, що питома теплотворна здатність соломи та інших рослинних залишків перебуває практично на одному рівні з традиційними паливно-енергетичними матеріалами, їхня фізична структура (низька насипна густина) перешкоджає їхньому широкому застосуванню. Тому використовувати солому як паливо в існуючому вигляді неефективно.

У західних країнах робляться численні спроби її контрольованого спалювання, щоб зробити її використання більш зручним. Одним із таких способів є перетворення соломи на брикети, подібні до торф'яних або буровугільних.

Найпростіший спосіб використання теплової енергії соломи - спалювання її в печі для прямого нагрівання.

Під час енергетичної кризи 1970-х років було побудовано котли центрального опалення, що працюють на соломі. Ці котли відносно прості, мають автоматичне управління і в більшості випадків можуть топитися дровами. Деякі з них можуть використовуватися для опалення будинків, сушіння зерна, обігріву теплиць і басейнів.

У Данії та Великій Британії випускаються котли потужністю 40-180 кВт, тепловою потужністю 30-150 кВт, діаметром камери згоряння 0,8-1,2 м і довжиною 0,9-1,5 м, в які можна завантажувати одночасно 2-6 тюків. У Німеччині розроблено установку для спалювання великих тюків із максимальною тепловою потужністю 1200 кВт. Однак необхідність постійного підтримання вогню і незручність експлуатації через відсутність автоматичної системи заправки рулонів, тобто тюків і рулонів, ускладнюють використання такого обладнання [13].

## 1.2 Паливні брикети та вимоги до них

На паливні торф'яні брикети, призначені для комунально-побутових потреб, повинні виготовлятися за технологією, затвердженою в установленому порядку і мати форму, що визначається конструкцією матричного каналу штемпельного преса, що застосовується, мм: довжина від 80 до 200; ширина від 40 до 75; висота від 15 до 70

Паливні торф'яні брикети за показниками якості повинні відповідати нормам, зазначеним у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Паливні торф'яні брикети

Найменування показника	Норма для сорту	
	I	II
Масова частка загальної вологи ( $W^T$ ), %, не більше	16	20
Зольність ( $A^d$ ), %, не більше	15	23
Механічна міцність при випробуванні в барабані (залишок цілих та частково зруйнованих брикетів з розмірами шматків більше 25 мм), %, не менше	95	94
Масова частка дрібниці (шматки розміром менше 25 мм), %, не більше	5	6

Кормові брикети, виготовлені із стебельчастих кормів соломи та сіна – повинні мати такі показники табл. 1.2.

Таблиця 1.3 – Кормові брикети, виготовлені із стебельчастих матеріалів

Найменування показника	Брикети із сіна та соломи
Вологість, %	9–15
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	
– для брикетів, призначених для безпосереднього використання	500–700
– для брикетів, що закладаються на зберігання терміном понад 2 місяці	700–1200
Перетин або діаметр, мм	30–60
Довжина, мм, не більше	70
Кришість, %, не більше	15

Паливні брикети із соломи та інших рослинних матеріалів, призначені для

промислових та комунально-побутових потреб, виготовляють з додаванням сполучних компонентів і без них. На підставі вимог [14], за своїми показниками ці брикети повинні відповідати таким нормам. Масова частка загальної вологи ( $W^r$ ) не більше 9–16 %, щільність – 500–700 кг/м<sup>3</sup>; діаметр – 50–70 мм; довжина – не більше 80 мм; кришість – не більше 15 %; зольність ( $A^d$ ) – не більше 15–23 %.

Основний показник міцності брикетів – їх крихтість. Її визначають через 1 годину після їх виходу з охолоджувальної колонки.

### 1.3 Теоретичні та експериментальні дослідження брикетування рослинних матеріалів

Було багато спроб зробити поводження з біомасою, більшу частину якої складає солома, зручнішим, щоб можна було спалювати контрольованим способом. Так як цінність її як палива за енергетичною щільністю (табл. 1.4) у порівнянні з вугіллям досить низька, то одним з найбільш перспективних напрямів є, як було сказано, брикетування.

Таблиця 1.4 – Паливна цінність соломи та вугілля

Властивості	Соломо	Вугілля
Вміст вологи, %	10–20	0.5–20.0
Теплота згоряння, ГДж/т	14.3	29.0–37.0
Вміст золи в сухій речовині, %	1–13	5–25
Енергетична щільність, ГДж/м <sup>3</sup>	0.6–1.5	43

Для розробки спеціальних пресів необхідно було провести дослідження та визначити необхідні фізико-механічні та технологічні властивості пресованих матеріалів, конструктивно-технологічні параметри та режими роботи спеціального пресового обладнання. Великий внесок у вивчення питання ущільнення стебельчастих матеріалів зробили вчені В. П. Горячкін [15], Є. М. Гутьяр [16], М.А. Пустигін [17, 18], В. І. Особов [19, 20], І. А. Долгов [21], Є. І. Храпач [22], В. Ф. Некрашевич [23], С. А. Алфьоров [24], А. А. Григор'єв [25], М. А. Пережогін [26],

А. А. Колотев [27], Г. Н. Шульга [28], Ч. Канафойський [29], Х. Скальвейт [30], Дж.Л. Батлер і Х. Ф. Мак-Коллі [31] та ряд інших.

В результаті їх робіт були створені спеціальні преси-брикетувальники для стебельчастих матеріалів, спочатку для сінного борошна, а потім для сіна [32, 33, 34, 35]. Дослідження показали, що солону можна добре брикетувати при високій температурі під тиском: передбачається, що лігнін, що виділяється при цьому, служить сполучною речовиною. Брикети, отримані цим способом, можуть мати щільність кам'яного вугілля та сипкість, важливу для автоматичного опалення. Поршень створює тиск до 150 МПа та формує циліндричні брикети діаметром 50 мм із щільністю 1100–1500 кг/м<sup>3</sup>. Продуктивність стаціонарних установок сягає 600 кг/год.

Мобільні установки монтують, як правило, на причепі вантажних автомашин та розраховані на переробку щільних солом'яних тюків. Попередньо ці пакунки розпушують і пропускають через молотковий млин.

У Німеччині створено мобільний брикетувальник паливних брикетів із соломи "Biotruck 2000", що має потужність 354 кВт і виготовляє брикети щільністю до 1200 кг/м з продуктивністю 8 т/год [36]. Застосування брикетів спрощує використання соломи як паливо порівняно зі спалюванням у вигляді великогабаритних тюків, воно дає можливість впроваджувати економічніші опалювальні установки [37].

При виготовленні кормових брикетів, в першу чергу, виходять із зоотехнічних вимог, зокрема дослідження з годівлі корів показали, що цим вимогам найбільше задовольняють брикети щільністю 450–500 кг/м<sup>3</sup>, у той час як для паливних брикетів допустима щільність 1200–1400 кг/м<sup>3</sup> [38]. Однак моноліти з такою щільністю неможливо отримати без застосування сполучних речовин, розподілених по всьому його обсягу.

Численні експериментальні дослідження показали, що з усіх фізико-механічних та технологічних характеристик стебельчастих матеріалів домінуюче значення мають вологість, фракційний склад, добавки (вид свяючого та його кількість), температура.



Вологість матеріалу, рекомендована більшістю авторів, повинна бути в межах 14–18 % і навіть досягати 20–26% [39, 40, 41, 42]. Але при цьому вони розглядають лише технологічний процес брикетування, оскільки при збільшенні вологості відзначається зниження статичного та динамічного коефіцієнтів тертя, не враховуючи впливу вологості на подальше зберігання та використання брикетів.

Підвищення температури пресування, як зазначається всіма дослідниками, веде до зниження необхідних питомих тисків пресування, підвищення щільності та міцності брикетів. Якщо для кормових брикетів температура, виходячи з умов збереження каротину, обмежується нагріванням до 70 °С, а для гранул 100–110 °С, то для паливних брикетів із соломи вона може досягати 160–180 °С. цьому взаємне склеювання частинок відбувається без сполучного за рахунок виділення лігніну. Вплив добавок (у кормових брикетах це в основному зернові компоненти) на міцність брикетів позитивно і особливо він відчутний при високій вологості, коли зростають їх адгезійні сили, і вони виступають у ролі сполучної речовини.

Таким чином, фізико-механічні та технологічні властивості матеріалів, що брикетуються, зумовлюють якісні та енергетичні показники процесу ущільнення, тому необхідний вибір їх оптимальних значень.

#### **1.4 Огляд основних результатів досліджень робочих органів пресів**

*Дослідження штемпельних пресів.* Класифікація робочих органів для пресування та брикетування стеблових матеріалів за їх суттєвими ознаками була запропонована В. І. Особовим та А. В. Голяновським [43]. У питанні інтерес представляє класифікація робочих органів для пресування. Найбільш широке застосування для пресування стеблових матеріалів отримали штемпельні преси, що працюють за принципом ущільнення порцій матеріалу, що подаються в камеру. За конструкцією камери пресування поділяються на преси із закритою та відкритою камерами.

Штемпельні преси з відкритою камерою більш енергоємні, ніж із закритою, що пояснюється наявністю зусилля на подолання тертя на проштовхування ряду

брикетів по матриці та кулерині. Але в той же час витримування брикетів в ущільненому стані сприяє зняттю напружень релаксації та підвищенню їхньої щільності. У закритих камерах енергія на подолання тертя скорочується, але для них утруднено дозування матеріалу, що подається, що ускладнює практичну реалізацію виконання штемпельних пресів за цією схемою. Енергоємність пресування у відкритій камері досягає 81, у закритій – 26.7–32.3 кДж/кг.

*Дослідження матричних пресів.* Найбільшого поширення набули матричні преси, які використовуються для брикетування та гранулювання стебельчастих матеріалів. Вони виконуються одно- або багатоматричними, з вертикальними або горизонтальними обертовими (активними) або нерухомими (пасивними) кільцевими матрицями, або горизонтальними плоскими матрицями. Матричні преси для брикетування кормів ОПК-2 та ОПК-3 з вертикальною нерухомою (пасивною) кільцевою матрицею та преси-гранулятори ОГМ-0.8 та ОГМ-1.5 з горизонтальною обертовою (активною) кільцевою матрицею серійно випускаються промисловістю та є основними для гранул в даний час.

За даними [44] силова дія на брикет під час проходження камери пресування, але збільшує витрати енергії до 108 кДж/кг при продуктивності 3000 кг/год. Для збільшення щільності брикетів необхідно застосування сполучних та способи брикетування, що забезпечують взаємне зчеплення частинок. Дослідження пресів з кільцевими матрицями показали, що при пресуванні ними немає взаємного переплетення частинок.

Енергія, що витрачається на проштовхування матеріалу, дорівнює або навіть перевершує енергію стиснення, є марною. Якщо при гранулюванні збільшення енергоємності виправдовується простотою конструкції преса ротаційного типу та його високою продуктивністю, то при брикетуванні, коли швидкість утворення брикетів невелика, доцільні конструкції пресів, які об'єднують етапи стиснення і формоутворення матеріалу. Подачу матеріалу в пресувальну камеру слід виконувати таким чином, щоб сприяти взаємному переплетенню частинок. Більшості вимог задовольняють преси з робочим органом зворотно-поступального руху при живильнику гвинтового типу [45]. Гідність матричних пресів у тому, що

вони здійснюють безперервний технологічний процес, нестачу їх у високій енергоємності, підвищених вимогах до подрібнення матеріалу.

*Вальцеві робочі органи типу, що прокочує.* Незважаючи на те, що вальцеві робочі органи дозволяють здійснювати безперервний технологічний процес пресування при досить низьких енергетичних витратах, застосування цього способу в чистому вигляді для отримання брикетів дуже важко через те, що для використання гладких вальців необхідно, щоб вони мали великий діаметр. Тому знайшли застосування лише робочі органи, що прокочують, з підвищеною захоплюючою здатністю - зубчасті робочі органи, які досліджував Ю. А. Сімакін [46], а також розроблений і досліджений В. І. Щербіною конвеєрно-вальцовий прес, енергоємність пресування якого становить 26.7-32.3 кДж/кг.

*Застосування вібраційних та ударних навантажень при брикетуванні.* Дослідження процесу пресування сіна в брикети штемпельпельним пресом у поєднанні з ударним впливом виконані Г. І. Задоріним [47], ефективність застосування при пресуванні вібраційного навантаження доведена Г. К. Васильєвим [48] та Н. Н. Кіженцевим [49].

Крім того, відомі способи ущільнення стебельчастих матеріалів згортанням в рулони, джгути, окочуванням, запіканням брикетів в екструзійну оболонку та ін.

## **1.5 Висновки з розділу**

1. Сучасна енергетика заснована на використанні невідновлюваних копалин видів палива – вугілля, нафти і газу, а також на ядерній енергії та гідроенергетиці, що веде до прогресуючої деградації навколишнього середовища, насамперед атмосфери. Найближчим часом для поступового зниження виділення газів, що викликають парниковий ефект, необхідно розширювати використання відновлюваних джерел енергії, зокрема рослинних матеріалів, у тому числі соломи.

2. Одним із недоліків використання її як палива є низька енергетична щільність, тому проблема полягає в тому, щоб раціонально сконцентрувати енергію, тобто зробити соломі конкурентною з джерелами викопної енергії. Для

спалювання соломи контрольованим способом одним із найперспективніших напрямів є брикетування.

3. При брикетуванні стебельчастих матеріалів застосовується ущільнення штемпельними, матричними та прокатуючими пресами. Незважаючи на те, що штемпельні преси енергоємні, вони найбільш перспективні для приготування паливних брикетів через простоту конструкції, надійність експлуатації, низькі вимоги до подрібнення матеріалу, що пресується. Численні експериментальні дослідження показали, що з усіх фізико-механічних та технологічних характеристик стебельчастих матеріалів домінуюче значення мають вологість, фракційний склад, сполучні добавки та температура.

### **1.6 Мета і задачі досліджень**

Мета досліджень полягає в вивченні впливу основних конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи прес-брикетувальника, який виробляє паливні брикети з соломи та інших рослинних матеріалів, на якісні та кількісні показники брикетування, що визначають характеристики виробництва та продуктивність машини.

Для досягнення цієї мети передбачається виконати наступні завдання досліджень:

1. Встановити та підтримувати оптимальні фізико-механічні властивості та склад початкового пресованого матеріалу.
2. Визначити оптимальні конструктивно-технологічні параметри та режими роботи прес-брикетувальника для створення паливних брикетів із рослинних матеріалів.
3. Розробити методику інженерного розрахунку конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи прес-брикетувальника.
4. Здійснити енергетичну та економічну оцінку цілеспрямованості виготовлення та використання паливних брикетів з рослинних матеріалів.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

### 2.1 Оптимізація вихідного стану пресованої суміші

Під час виготовлення паливних брикетів, основним матеріалом для пресування є відходи сільськогосподарського виробництва, зокрема солома з різних рослин. У цьому контексті, результативність процесу брикетування значно визначається фізико-механічними властивостями матеріалів, які стискаються, а також їхнім складом, включаючи зв'язуючі компоненти.

Призначеність пресованої суміші може включати декілька компонентів, які походять з різних джерел і мають різні фізико-механічні властивості. У цьому контексті, еластичність, в'язкість та коефіцієнти тертя та бічного тиску, такі як модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, інші коефіцієнти в'язкості, мають суттєвий вплив на процес брикетування.

Різноманітність матеріалу, співвідношення фазових компонентів, період релаксації та коефіцієнт пружного розширення також грають важливу роль у процесі брикетування. У деяких випадках важливо враховувати такі фактори, як адсорбція води на поверхні частинок, критична густина, теплоємність, теплопровідність та інші специфічні властивості, що впливають на навантаження.

Важливо відзначити, що фізико-механічні властивості матеріалів, які стискаються, не залишаються постійними і можуть змінюватися в залежності від різних факторів, таких як температура, вологість, розмірність частинок, вміст та види компонентів.

Згідно з цим, необхідно знайти оптимальне поєднання цих параметрів, разом із конструктивними параметрами та режимами роботи пресу, щоб отримати якісні брикети. Процес брикетування включає кілька послідовних етапів, таких як стискування, витримка під тиском, зняття тиску, релаксація напруги, витримка без тиску, випресовування та пружне розширення брикету. Ефективність процесу залежить від того, наскільки оптимально кожен з цих етапів виконується.

Оцінка стану суміші, яка стискається, на кожному етапі окремо, а також аналіз результатів на всій діпазоні процесу брикетування, допомагають знайти залежності і розробити регресійні рівняння для опису цих взаємозв'язків.

## 2.2 Процес брикетування стебельчастих матеріалів у відкритій камері

На початковому етапі процесу пресування, до того як поршень контактує з масою, матеріал є однорідним ізотропним середовищем з внутрішнім тиском  $p_0$ , оскільки частинки розташовані в неупорядкованому способі. Поступово, при стисненні, об'єм матеріалу зменшується, що виражається як відносна деформація матеріалу, тобто співвідношення об'єму брикету до початкового об'єму маси. Це збільшує кількість точок взаємодії між частинками, і частки схильні займати стабільне положення, яке можна вважати найбільш ймовірним (практика показує, що вони розташовані перпендикулярно до напрямку стиснення). Отже, утворюючийся брикет стає більш анізотропним, де частинки взаємодіють за допомогою зовнішнього тиску  $p$ .

Зі збільшенням кількості точок взаємодії між частинками збільшується зовнішній тиск на величину  $dp$ , яка потрібна для подальшої деформації брикету на величину  $d\varepsilon$ . Це можна виразити як:

$$dp = a(p + p_0)d\varepsilon, \quad (2.1)$$

де  $a$  – коефіцієнт пропорційності.

Під час збільшення деформації на  $d\varepsilon$ , щільність матеріалу підвищується, і це можна виразити як

$$dp = \rho_0(1 - d\varepsilon), \quad (2.2)$$

де  $\rho_0$  – вихідна щільність маси.

Підставивши це значення отримаємо

$$p = C e^{a(\rho - \rho_0)/\rho} - p_0 \quad (2.3)$$

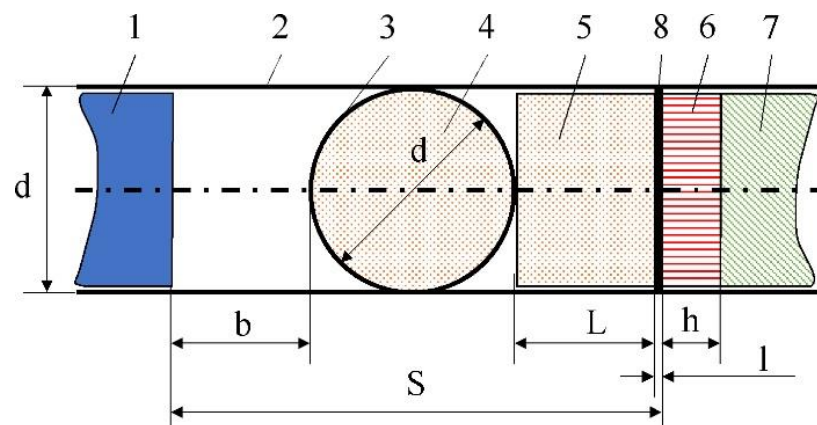
При  $p(\rho_0) = 0$  тоді

$$p = p_o \left( e^{a(\rho - \rho_o)/\rho} - 1 \right) \quad (2.4)$$

Процес пресування матеріалу у відкритій камері включає в себе кілька етапів. У процесі переміщення поршня на величину  $x$  в напрямку осі  $X$ , матеріал стискується, і щільність його зростає згідно з рівнянням:

$$\rho = \rho_o L / (L - x), \quad (2.5)$$

де  $L$  – довжина камери.



- 1 – поршень для стиснення; 2 – формуюча матриця; 3 – початковий вхідний отвір;  
 4 – подана маса матеріалу; 5 – матеріал після пресування через початковий отвір;  
 6 – отриманий стиснутий брикет; 7 – брикети, які знаходяться у системі охолодження; 8 – готовий брикет, який було збережено

Рисунок 2.1 – Схема камери для пресування

Тиск на поршень змінюється від рівняння

$$p_A = p_o \left\{ \exp \left[ ah / (L - h) - 1 \right] \right\} \quad (2.6)$$

Після закінчення стиснення матеріалу і подальшого переміщення поршня тиск на нього змінюється від рівняння

$$p_x = (p_A + q_o / \mu_1) \left[ \exp(-4f\mu_1 d)(h + x - L) \right] - q_o / \mu_1, \quad (2.7)$$

Тиск на поршень дорівнює

$$p_B = (p_A + q_0 / \mu_1) \left[ \exp(-4f\mu_1 d) (h + x - L) \right] - q_0 / \mu_1, \quad (2.8)$$

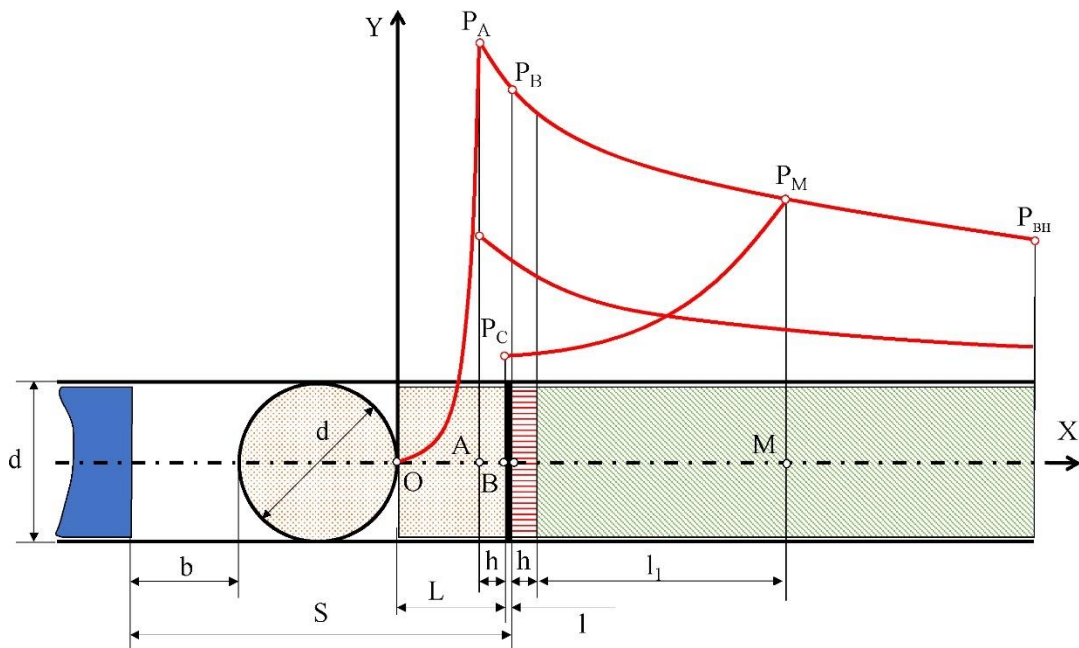


Рисунок 2.2 – Процес роботи камери брикетувальнику

Після зняття тиску матеріал далі розширюється, і тиск може змінюватися згідно з рівнянням

$$dP_1 = a_1(P_1 - P_0) d(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_i), \quad (2.9)$$

Після інтегрування маємо

$$P_1 = C_1 e^{a_1(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_i)} + P_0. \quad (2.10)$$

Остаточно маємо

$$P_1 = P_{\max} (1 - e^{a_1(\varepsilon_{\max} - \varepsilon_i)}) \quad (2.11)$$

Можна обчислити область спресованого матеріалу, яка розташована в камері і може піддаватися пружному розширенню, за допомогою такого виразу

$$l = D \ln \left[ (p_A + q_0 \mu_1) / (p_C + q_0 \mu_1) \right] \left[ 8 - (h + l_p) \right] / 2, \quad (2.12)$$

Тиск зростає починаючи від значення  $p_C$  в точці С відповідно до такої функціональної залежності:

$$p_x = (p_A + q_0 / \mu_1) \left[ \exp(4f\mu_1 d) (x - L + H) \right] - q_0 / \mu_1, \quad (2.13)$$



$$\rho_M = (h_0 + q_0 / \mu_1) \left[ \exp (4 f \mu_1 l / d) \right] - q_0 / \mu_1. \quad (2.14)$$

В рівнянні враховується величина  $l_p$ , і її можна обчислити, користуючись законами або зв'язками, які описують цю величину:

$$l_p = h(\rho_{\max} / \rho_k - 1), \quad (2.15)$$

$$\rho_k = a_0 \rho_0 + \beta_0 \rho_{\max} + a_t (\rho_{\max} - \rho_0) t. \quad (2.16)$$

Оскільки використання кривошипно-шатунних механізмів практично не передбачає витримки при максимальному тиску і щільність  $\rho$  залежить від часу  $t$ , то можна представити додатковий множник у наступному вигляді:

$$a_t \rho_{\max} t = a_t \int_0^{t_B - t_0} \rho(t) dt \quad (2.17)$$

$$\rho_k = a_0 \rho_0 + \beta_0 \rho_{\max} + a_t \int_0^{t_B - t_0} \rho(t) dt - a_t \rho_0 t. \quad (2.18)$$

Таким чином, параметри та режими роботи преса-брикетувальника взаємозв'язані із фізико-механічними та технологічними властивостями матеріалу, що пресується, і динамікою процесу стиснення.

### 2.3 Вибір типу прес-брикетувальника та його кінематичний аналіз

Як головний виконавчий механізм прес-брикетувальника паливних брикетів з рослинних матеріалів приймається кривошипно-шатунний механізм, що застосовується в більшості механічних поршневих пресів.

Дія кривошипного преса засноване на перетворенні обертального руху приводу за допомогою кривошипно-шатунного механізму тієї чи іншої модифікації у зворотно-поступальний рух виконавчого елемента – поршня. Перетворення енергії обертального руху кривошипу в енергію пресування паливних брикетів обумовлено наявністю жорстких кінематичних зв'язків між усіма частинами кривошипного преса, що рухаються. Це виключає залежність швидкості руху

виконавчого елемента – поршня від властивостей матеріалу, що пресується, що змінюються в процесі пресування: характер зміни швидкості руху визначатиметься лише кінематикою виконавчого механізму.

Двічі у циклі зворотно-поступального руху виконавчого механізму швидкість робочого інструменту дорівнює нулю. У цей час повзун виконавчого механізму проходить через крайнє положення (заднє та переднє). Крива швидкості повзуна функції часу  $v(t)$  між цими точками являє собою синусоїду або іншу, більш складну гармонійну криву.

Кут, на який повернеться кривошипний вал протягом робочого ходу, називається робочим кутом:

$$a_p = a_{н.р.} - a_{к.р.} \quad (2.19)$$

Решта прямого ходу є холостим ходом.

У разі при прямому ході поршня можливе існування ділянки холостого ходу від крайнього (заднього) становища на початок робочого ходу.

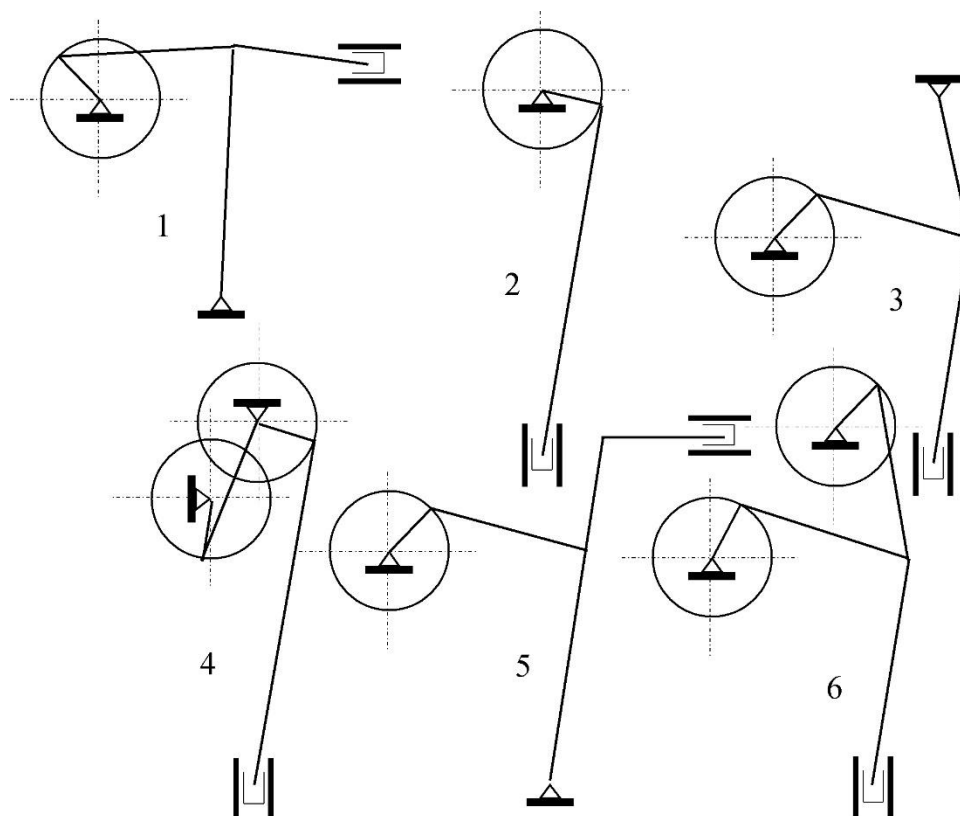
Загальною ознакою для кривошипних пресів є однаковість приводу, що складається з електродвигуна, ремінної та зубчастої передач, що повідомляють обертальний рух електромотора кривошипному валу. У системі приводу передбачаються зчпні пристрої (муфти), що дозволяють з'єднувати та роз'єднувати вали передач на ходу.

Основою для класифікаційного підрозділу кривошипних пресів є структурно-кінематичні ознаки устрою виконавчих механізмів.

Головним виконавчим механізмом є кінематичний ланцюг, що починається від передаючого приводу і закінчується робочим органом з інструментом, призначеним для здійснення основного технологічного процесу. У сучасному пресуванні прийняті такі типи кінематичних ланцюгів для головних виконавчих механізмів, що є різними модифікаціями кривошипних механізмів (рис. 2.3):

- кривошипно-коромисловий;
- кривошипно-шатунний (кривошипний або чистокривошипний);
- кривошипно-колінний;

- кривошипно-важільний;
- важільно-кривошипний (кривошипний з механізмом для вирівнювання швидкості);
- кривошипно-шарнірний (двохкривошипний з двома ступенями рухливості).



- 1 – кривошипно-коромисловий; 2 – кривошипно-шатунний (кривошипний або чистокривошипний); 3 – кривошипноколінний; 4 – важільно-кривошипний (кривошипний з механізмом для вирівнювання швидкості); 5 – кривошипно-важільний; 6 – кривошипно-шарнірний (двохкривошипний з двома степенями рухливості)

Рисунок 2.3 – Кінематичні ланцюги головних виконавчих кривошипних механізмів

У досліджуваному пресі прийнятий шарнірно-важільний механізм (кривошипний з механізмом для вирівнювання швидкості) (рис. 2.4), що складається з кривошипа 1, з'єданого шарнірно з шатуном 2, що входить у обертальну пару С з коромислом 3 триланки СОВ. Коромисло 3, обертаючись

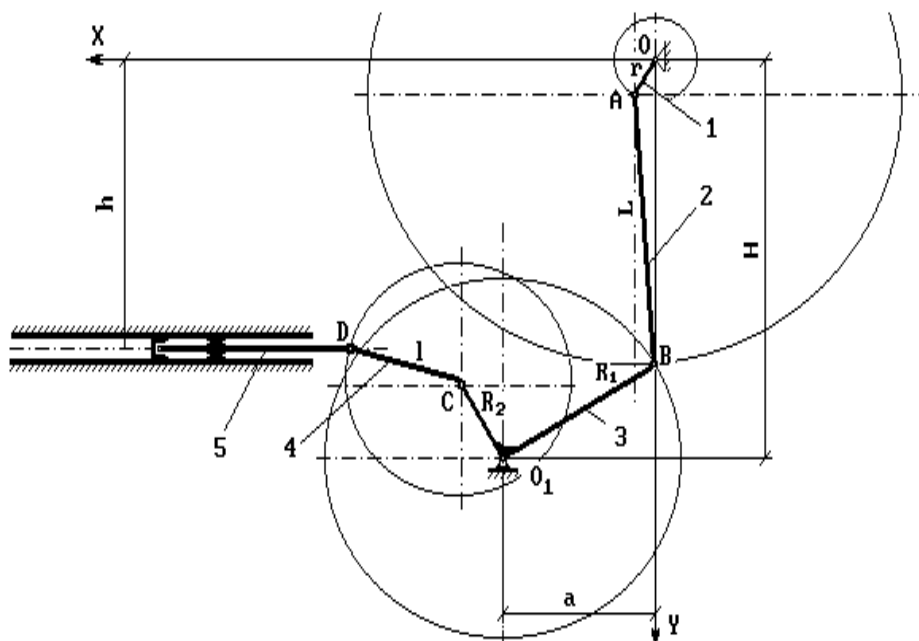
навколо нерухомої осі  $O$  входить також у обертальну пару з шатуном 4, який у свою чергу з'єднаний за допомогою обертальної пари  $D$  зі штангою поршня 5, що здійснює поступальний рух. Таким чином, при обертанні кривошипа 1 коромисло 3 здійснює коливальний рух, роблячи переміщення поршня 5 через пов'язаний з ним шатун 4.

Залежно від кута повороту кривошипа визначається рішенням рівнянь, що описують кінематику прес-брикетувальника (рис 2.4).

Координати точки  $A$  (точки шарніру кривошип-шатун) визначаються виразом:

$$\left. \begin{aligned} x_A &= r \sin \omega t; \\ x_B &= r \cos \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

де  $r$  – радіус кривошипу;  $\omega$  – кутова швидкість кривошипу;  $t$  – поточний час.



1 – кривошип; 2 – шатуни; 3 – коромисло; 4 – шатуни; 5 – поршень зі штангою

Рисунок 2.4 – Кінематична схема прес-брикетувальника паливних брикетів

Положення точки  $B$  (шарніру шатун-коромисло) визначається як точка перетину двох кіл, одна з яких має радіус, рівний довжині  $L$  шатуна з центром у

точці А, інша з радіусом, рівним довжині R 1 плеча коромисла і має центр на осі його коливання, тобто проводиться рішення системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} (x - x_A)^2 + (y - y_A)^2 &= L_{ш}^2; \\ (x - a)^2 + (y - H)^2 &= R_1^2, \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

де а, Н – відповідно абсцису та ординату осі гойдання коромисла.

Звідки

$$\left. \begin{aligned} x_B &= D - \sqrt{D^2 - E^2}; \\ y_B &= Bx + C, \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

де  $D = (x_A - B + CB)/(1 + B^2)$ ;  $C = (H^2 + a^2 + L^2 R_1^2 - r^2)/(H - y_A)$ ;  $B = (x_A - a)/(H - y_A)$ ;  $E = [(r^2 + C^2 - 2y_A C - L^2)/(1 + B^2)]^{1/2}$ .

Координати  $x_C$  та  $y_C$  точки С легко визначити, знаючи величини обох плечей коромисла та кут між ними.

Шукане положення точки D (точки, що належить поршню) знаходиться визначенням точки перетину кола з радіусом, рівним довжині l шатуна, що з'єднує поршень з коромислом і центром в точці С і прямою, що визначає вісь переміщення поршня, тобто рішення рівняння

$$x_D = x_3 + [l_{ш}^2 - (y_2 - h)^2]^{1/2}, \quad (2.23)$$

де h – відстань між осями переміщення поршня та абсцис.

Хід поршня визначається як переміщення при повороті кривошипа з кута  $\phi_{бл}$  до  $\phi_{дл}$ , які відповідно дорівнюють:

$$\phi_{бл} = \arctg(a/H) - \arccos\{R_1^2 - a^2 - H_2 - (r + L)^2\} / [2(r + L)(H^2 + a^2)^{1/2}]; \quad (2.24)$$

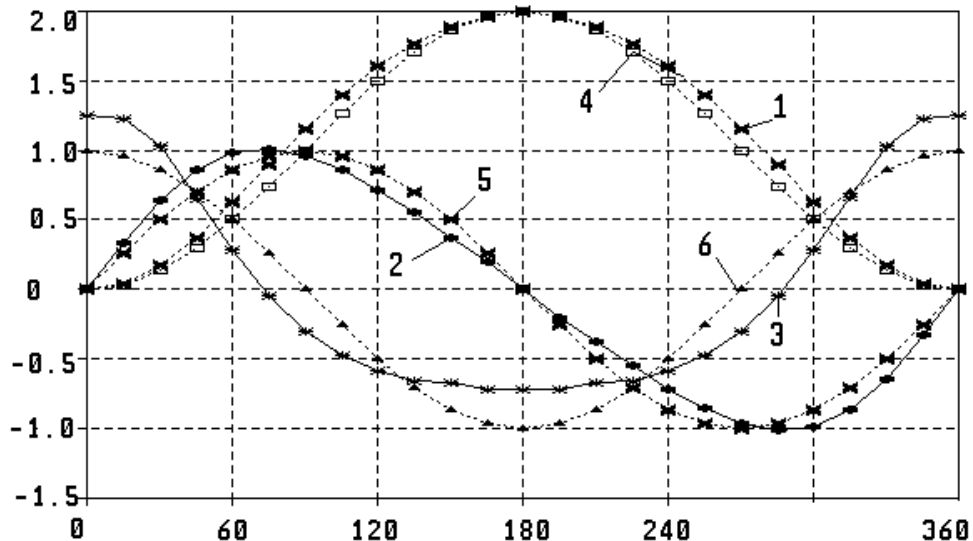
Підстановка чисельних значень розмірів кінематичних ланок досліджуваного прес-брикетувальника в одиницях радіусу кривошипа, що дорівнює половині ходу поршня, дає залежність переміщення поршня від кута повороту кривошипу. У цій же таблиці наведені дані швидкостей і прискорень поршня при обертанні кривошипу з частотою 1 рад/с, отримані диференціюванням рівняння (2.23), представляють відповідно першу та другу похідні за часом. Ці залежності зображені на рис. 2.5.

## 2.4 Обґрунтування параметрів та режимів роботи преса

У пресувальну камеру брикетувальника необхідно подавати солому попередньо ущільненою, узгодивши продуктивності подачі маси живильним пристроєм і безпосередньо брикетування, тобто визначити період, коли вихідне вікно живильника залишається відкритим і дається можливість заповнити прес-камеру за допомогою живильного шнека ущільненням.

$$\rho_{\text{про}} V_{\text{п}} = \rho V_{\text{б}}, \quad (2.25)$$

де  $\rho_{\text{про}}$  – густина підпресованого матеріалу (вихідна густина матеріалу);  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{б}}$  – відповідно обсяг підпресованого матеріалу та обсяг брикет.



для прес-брикетувальника: 1 – переміщення; 2 – швидкість; 3 – прискорення при синусоїді; 4 – переміщення; 5 – швидкість; 6 – прискорення

Рисунок 2.5 – Залежність переміщення швидкості та прискорення поршня від кута повороту кривошипу

Зважаючи на те, що брикет формується за один хід поршня, і виходячи з продуктивності прес-брикетувальника визначається маса та обсяг брикету, відповідно рівні:

$$m = 2\pi Q/\omega; \quad (2.26)$$

$$V_6 = m/\rho, \quad (2.27)$$

де  $Q$  – продуктивність преса;  $\omega$  – кутова швидкість обертання кривошипу.

Виходячи з принципу Сен-Венана про швидке зменшення локально напруженого стану тіла в міру віддалення від ділянки докладання сил [50], обсяг підпресованого матеріалу в матриці з незначними припущеннями представимо фігурою, утвореною перетином двох циліндрів, що мають діаметри, рівні відповідно діаметрам матриці і вхідного отвору в пресів камери.

Оскільки вони однакові, обсяг цієї фігури становить

$$V_o = 2d^3/3, \quad (2.28)$$

де  $d$  - діаметри матриці та діаметр вхідного отвору в пресувальну камеру.

Продуктивність пристрою живлення повинна бути не меншою, ніж продуктивність безпосереднього брикетування, тому час повного відкриття вхідного отвору визначається з

$$t_{от} = Q\rho_o V_o. \quad (2.29)$$

Так як отримані раніше дані (рис. 2.5) показують, що швидкості прямого та зворотного ходів поршня при крайньому наближенні до осі кривошипа практично рівні між собою, то відстань від краю вхідного отвору в пресувальну камеру до крайнього ближнього положення поршня має бути

$$l \geq \int_0^{t_{от}/2} V(t)dt \quad (2.30)$$

Так як весь попередньо ущільнений матеріал повинен поміститися в пресувальній камері, її довжина повинна дорівнювати

$$L = 8d/3\pi. \quad (2.31)$$

Мінімальний хід поршня у цьому випадку визначиться рівнянням

$$S = d + \delta + L + l_p. \quad (2.32)$$

$$S = l + (1 + 8/(3\pi))d + l_p. \quad (2.33)$$

Наприкінці ходу поршня створюється брикет заввишки  $h$ , яка дорівнює

$$h = L \rho / \rho_o. \quad (2.34)$$

У роботі необхідно отримати паливні брикети необхідної енергетичної щільності, яка визначається відношенням теплоти згорання брикету до його щільності.

$$E = C_b \rho . \quad (2.35)$$

де  $C_b, \rho$  – відповідно, питома теплота згорання та щільність брикетів.

У свою чергу питома теплота згорання брикету  $C_b$  залежить від вологості, вмісту сполучного та його теплоти згорання, впливи яких описуються рівнянням  $C_b = C_{гм} (1 - \delta)(1 - w) - [c_{гм} (1 - \delta)(1 - w) - c_y w - c_{св} \delta](t_{п} - t_0) + C_{св} \delta - C_v w$ , (2.36) де  $C_{гм}, C_{св}$  – відповідно питома теплота згорання використовуваного абсолютно сухого пального матеріалу та сполучного;  $C_v$  – питома теплота пароутворення води;  $c_{гм}, c_{св}, c_v$  – відповідно питома теплоємність використовуваного абсолютно сухого пального матеріалу, сполучного та води;  $d$  – зміст сполучного;  $w$  – вологість брикету;  $t_{п}, t_{про}$  – відповідно температура пароутворення та початкова температура горіння.

Таким чином, це дає можливість визначити основні параметри пресувальної камери брикетувальника, узгоджуючи їх з параметрами і режимами живлення і фізико-механічними і технологічними властивостями матеріалу, що пресується.

## 2.5 Висновки з розділу

1. Фізико-механічні властивості пресованих матеріалів, як основна маса, так і сполучні, що визначаються фракційним складом, вологістю, температурою пресування, видом і часткою сполучного, впливають як на енергетичні показники процесу, так і на якісні показники брикетів. Параметри та режими роботи штемпельного прес-брикетувальника з кривошипно-шатунним механізмом взаємопов'язані між собою та фізико-механічними та технологічними властивостями пресованого матеріалу.

2. Запропоновано розрахункову формулу визначення кінцевої щільності матеріалу, що враховує особливості брикетування на штемпельному пресі з кривошипно-шатунним механізмом. Значення величини  $a_\tau$  – одного з коефіцієнтів,



що характеризують розширення ущільненого матеріалу залежно від факторів, що впливають на нього, слід визначити в подальших експериментальних дослідженнях.

3. Отримано розрахункові формули, що дозволяють визначити основні параметри прес-брикетувальника з урахуванням фізико-механічних та технологічних властивостей матеріалу, що пресується.

### 3 ПРОГРАМИ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Опис та технічна характеристика та процес роботи експериментального прес-брикетувальника

Розроблено експериментальний зразок прес-брикетувальника (рис. 3.1) для виготовлення паливних брикетів із соломи та інших рослинних матеріалів як з додаванням сполучного, так і без нього, придатних для транспортування, тривалого зберігання під навісом та ефективного використання . у опалювальних системах.

Технологічний процес здійснюється в такий спосіб.

Рослинний матеріал і сполучні речовини дозуються і рівномірно подаються в живильник 1, що представляє собою бункер, в основі якого розташований гвинтовий транспортер 2, витки якого в кінці утворюють конус, що дозволяє попередньо ущільнити масу, що подається в камеру завантаження 3. З завантажувальної камери під дією пресуючого поршня 4 вона переміщається в матрицю 5, де відбувається стиснення соломи брикети до необхідної щільності. Пресуючий поршень, здійснюючи зворотно-поступальні рухи, входить у матрицю на глибину 60 мм, з кожним ходом запресовуючи нову порцію маси, проштовхуючи брикет, що утворився, по довжині матриці. Перед початком роботи матриця підігрівається до 160 – 180 С, що забезпечує надійний процес брикетування.

У процесі пресування соломи матриця під дією сил тертя розігрівається, після чого електронагрівання відключається. Канал пресування в матриці має конусну частину, що забезпечує опір переміщенню соломи при її русі каналом, і, отже, створюються умови для ущільнення брикету.

Регулювання величини діаметра камери пресування та густини брикету забезпечує цанга, затиск якої здійснюється бандажами. На виході з цанги брикети надходять у кулерину 8 де в процесі руху гасяться процеси релаксації соломи і закінчується охолодження брикету.

### 3.2 Програма досліджень прес-брикетувальника

Мета проведених досліджень полягає у виявленні впливу основних конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи прес-брикетувальника, отриманих на підставі результатів лабораторних досліджень, на кількісні та якісні показники брикетування соломи, що характеризують продукцію та роботу машини.

Як критерій оптимізації конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи прес-брикетувальника паливних брикетів прийнятий параметр узагальненої оцінки палива, що характеризує його не тільки з енергетичної точки зору, але частково і з технологічної, тобто енергетична щільність являє собою відношення питомої теплоти згоряння до щільності. При цьому накладаються умови отримання щільності брикетів не нижче заданої ( $600 \text{ кг/м}^3$ ), високої продуктивності та ефективності виробництва.

У процесі досліджень необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити основні конструктивно-технологічні параметри та режими роботи прес-брикетувальника, які забезпечують брикетування соломи як з використанням сполучної речовини, так і без неї.

2. Дослідити вплив основних конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи прес-брикетувальника на енергетичну та механічну щільність брикетів.

3. Встановити оптимальні параметри та режими роботи установки, що забезпечують отримання якісних брикетів з точки зору продуктивності та енергоємності процесу, необхідних для розробки конструктивної схеми та вибору технологічних параметрів та режимів роботи дослідного зразка прес-брикетувальника.

Виходячи з цього, основними конструктивно-технологічними параметрами, які треба визначити, є:

- кут конусності матриці (камери попереднього підпресування);
- фракційний склад маси, що брикетується;

- початкова величина вологості маси;
- вид сполучної речовини, що використовується;
- вміст сполучної речовини в масі, що брикетується.

Проведені лабораторні дослідження процесу брикетування та випробування роботи прес-брикетувальника показали, що для отримання паливних брикетів щільністю 600-700 кг/м<sup>3</sup> із соломи злакових культур фракційний склад має бути 10–20 мм (80 %) та 35-50 мм (20 %) при вологості трохи більше 16 %. Як сполучну речовину слід застосовувати глину вологістю 45–53 % у кількості до 9 % від маси брикетів або гній ВРХ з такою самою вологістю і в такій же кількості.

Для проведення досліджень вологість соломи передбачалося брати 8, 12 і 16 %, але проведені обкатка, випробування роботи преса-брикетувальника та попередні дослідження показали, що робота при вологості маси близько 16 % небезпечна, тому що утворюється при її нагріванні пара при стисканні пресуючим поршнем з великою силою виштовхує всі брикети, що знаходяться в пресувальній камері і кулерині, що може призвести як до аварії преса, так і до травм обслуговуючого персоналу. Тому від дослідження впливу фактора вологості на режим роботи прес-брикетувальника довелося відмовитись, обмеживши її 12 %, практично природною вологістю при зберіганні соломи.

Таким чином, необхідно провести дослідження впливу трьох факторів – ступеня подрібнення пресованої маси, конусності матриці, різних сполучних та їх змісту.

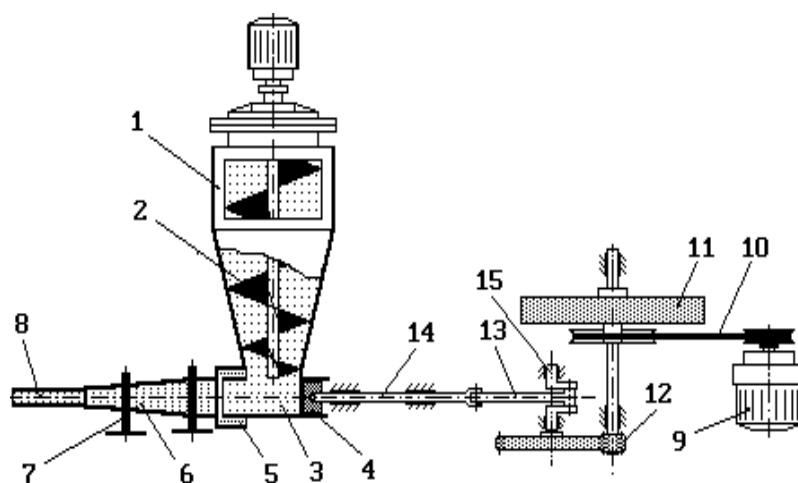
Оскільки проведення досліджень з певною довжиною частинок соломи (від 20 до 40 мм) і вмістом сполучного від 0 до 9 % на матрицях з конусністю від 1:20 до 1:10 (кут конуса матриці 2.486° – 5.725°), інтервали та рівні варіювання досліджуваних факторів прийняті відповідно (табл. 3.1). Поверхнями відгуку експеримент проводився за трирівневою матрицею оптимального плану Боксу для трьох факторів.

Таблиця 3.1 – Інтервали та рівні варіювання факторів

Показник	Кодоване значення факторів	Фактори та їх позначення		
		Середня довжина частинок $l$ , мм	Вміст сполучного $\delta$ , %	Кут конуса матриці $\alpha$ , °
		$X_1$	$X_2$	$X_3$
Верхній рівень	+1	40	9.0	5.725
Основний рівень	0	30	4.5	4.294
Нижній рівень	-1	20	0.0	2.864
Інтервал варіювання	$\delta$	10	4.5	1.430

### 3.3 Вимірювальні пристрої, що використовуються у процесі досліджень

При дослідженнях для реєстрації вимірюваних величин використовувалися прилади, розташовані на спеціальному стенді, що розміщуються біля лабораторної установки і прес-брикетувальника і з'єднуються з ними за допомогою електричних кабелів і шлейфів (рис. 3.1–3.2).



1 – живильник; 2 – живильний гвинтовий транспортер (шнек); 3 – пресувальна камера (матриця); 4 – пресуючий поршень; 5 – секція нагріву; 6 – втулка; 7 – механізм регулювання густини брикетів; 8 – кулерину; 9 – електродвигун; 10 – клинопасова переда; 11 – маховик-шків; 12 – зубчаста передача; 13 – шатун; 14 – повзун; 15 – кривошипний вал

Рисунок 3.1 – Схема прес-брикетувальника



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд прес-брикетувальника

Для вимірювання та реєстрації зусиль пресування застосовувався осцилограф Н441 з магнітним відмітником часу. Виміри потужності, що споживається при роботі прес-брикетувальника, проводилися самописним ватметром Н 348 з трансформаторами струму Н54 і ТК20.

Продуктивність брикетування вимірювалася за допомогою стрічкового ваговимірювача ПЛ 1059, з автоматичним записом вимірюваної величини.

### 3.4 Методика проведення досліджень

Спочатку солома готується, зважується і порціями по 10 кг засипається у змішувач (рис. 3.3). При необхідності змішувач у кількості, передбаченій методикою, додається сполучна, після чого проводиться перемішування суміші до отримання рівномірного розподілу сполучного по всьому обсягу.

З пульта управління пресом включається секція нагріву матриці, і після її нагріву до 160–180° з приготовлена суміш транспортером подається в приймальний бункер прес-брикетувальника для приготування паливних брикетів.

У зв'язку з тим, що на початку роботи до входу брикетувальника в режим, що встановився, поки ще не заповнений весь канал матриці і кулерини брикетами, що

створюють опір пресуванню, вони виходять пухкими (рис. 3.3), тому виміри необхідно починати після входу прес-брикетировщика в режим, що встановився.

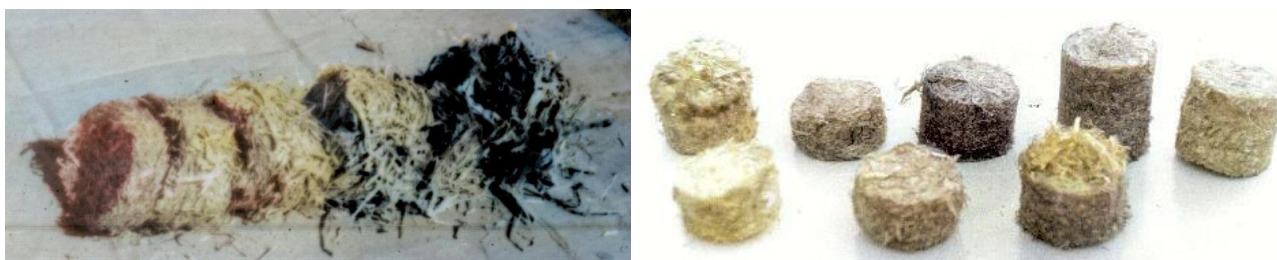


Рисунок 3.3 – Вид паливних брикетів у початковий період пресування

У кожному експерименті з паливних брикетів, одержуваних при режимі роботи, з інтервалом часу в 5 хвилин відбираються 3 брикети і вимірюються їх лінійні розміри і маса.

Штангенциркулем в 2-х взаємно перпендикулярних діаметральних перебігах і вимірюються висота брикету і його діаметр на середині висоти, і на вагах ВЛТК 500 з точністю 0.1 г визначається маса брикету.

Шукана щільність брикету визначається за формулою:

$$\rho = 4M/(\pi d^2 h), \quad (3.1)$$

де  $M$  – маса брикету;  $d$ ,  $h$  – середній діаметр і висота брикету.

### 3.5 Планування експериментальних досліджень

У зв'язку з тим, що для експериментів використовувалися досліджувані, а не модельні матеріали, геометричні параметри матриць і режими роботи обладнання та установок при лабораторних і експериментальних дослідженнях, а також режими роботи відповідали параметрам і режимам створеного коефіцієнта геометричної і динамічної подібності рівні одиницям, тому отримані результати вимагали перерахунків.

Результати записів діаграм розшифровувалися та оброблялися на приладі обробки діаграм ПД 6, отриманий цифровий матеріал – на персональному комп'ютері з використанням загальноприйнятих та оригінальних програм.

При експериментах прийнято триразову повторність дослідів, що забезпечує з ймовірністю 95% помилку менше трьох стандартів [51, 52].

Дані, отримані в результаті паралельних вимірів, відповідно до центральної граничної теореми розподіляються за нормальним законом, що дозволяє замінювати їх середнім арифметичним значенням, тобто найбільш ймовірним значенням вимірюваної величини [53], причому перевірка сумнівних результатів, їх достовірність перевіряється за гіпотезою про грубі помилки і про випадковість вибірки з використанням перевірки належності результатів до нормального розподілу за довірчими межами випадкової похибки при прийнятій довірчій ймовірності критерієм.

Абсолютна та відносна похибки вимірювань обчислюються відповідно за формулами:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y}_k)^2}{k(k-1)}}; \quad (3.2)$$

$$\Delta_o = \frac{m}{y_k} 100\% \quad (3.3)$$

де  $k$  – повторність експерименту;  $y$  – значення  $i$ -го виміру;  $\bar{y}$  – середньоарифметичне значення результатів вимірів.

Широке застосування математичних методів, зокрема, математичне планування експериментів у поєднанні з розвитком електрообчислювальної техніки, що набули нині широкого поширення, скорочує обсяг досліджень; у кілька разів зменшує кількість дослідів; дозволяє опрацювати результати та оцінити вплив факторів; дає можливість отримати математичну модель процесу визначити оптимальні умови його протікання тощо.

Зазвичай описи області оптимуму використовуються плани другого порядку, дають математичну модель як полінома другого порядку



$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (3.4)$$

де  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$  – коефіцієнти регресії.

Найбільш економічним – дозволяє отримати уявлення про функцію від-гуку другого порядку, що описує досліджуваний процес, є варіювання факторів на двох рівнях, при кодуванні факторів за формулою

$$x_i = (X_i - X_{i0})/\varepsilon, \quad (3.5)$$

де  $x_i$  – кодоване значення фактора (безрозмірна величина), для верхнього, центру експерименту та нижнього рівнів вони позначені відповідно: +1, 0 та -1;  $X_i$  – натуральне значення факторів на нульовому рівні, взяте у центрі варіювання факторів;  $X_{i0}$  – натуральне значення інтервалу варіювання фактора;  $\varepsilon$  – відповідно значення факторів на верхньому та нижньому рівнях.

Імовірність відтворення дослідів перевіряється за критерієм Кохрена з використанням серій паралельних дослідів у зоні змін факторів, приймаючи 2–4 серії дослідів при трьох повторностях на кожному рівні.

За допомогою персонального комп'ютера за отриманими експериментальними значеннями проводиться обробка експериментальних даних та побудова математичної моделі другого порядку, а після їх розрахунку виконується перевірка значущості за критерієм Стьюдента з прийнятим рівнем значущості та ступенями свободи.

Адекватність отриманої математичної моделі та її придатність до опису досліджуваного процесу перевіряються з допомогою критерію Фішера. Рівняння регресії вважається адекватним, якщо його розрахункове значення менше або дорівнює табличному з прийнятим рівнем ймовірності та числом ступенів волі.

Аналіз і дослідження математичної моделі досліджуваного процесу, представленої у вигляді полінома другого порядку, представленої рівнянням, дозволяють вирішувати наступні завдання – визначити центр поверхні відгуку, що описується даним рівнянням, тобто оптимальну точку, а, отже, визначити оптимум

досліджуваних параметрів ; приведення отриманого рівняння до канонічного виду дозволяє визначити тип поверхні відгуку в області, що вивчається.

Для вирішення цих завдань використовуються методи аналітичної геометрії та лінійної алгебри. Визначення координат центру поверхні відгуку є рішенням системи рівнянь приватних похідних рівняння за параметрами оптимізації.

У матричній формі ця система має вигляд:

$$AX = C, \quad (3.6)$$

де  $A$  – симетрична квадратна матриця  $n$ -го порядку, складена з коефіцієнтів системи рівнянь приватних похідних рівняння;  $X$  – вектор-стовпець, що складається з елементів  $x_1, x_2 - x_n$ ;  $C$  – вектор-стовпець, що складається із вільних членів системи рівнянь.

Аналіз та визначення типу поверхні відгуку рівняння виконується приведенням до канонічної форми з використанням значення оптимізованого критерію в оптимальній точці полінома.

Перехід до канонічного виду координат пов'язаний з поворотом координатних осей  $x_1, x_2 - x_n$  на деякий кут до суміщення з головними осями поверхні відгуку.

Взаємодії пар факторів при нульовому рівні інших проводиться по поверхні відгуку, що визначається рівнянням регресії, за допомогою двовимірних перерізів, що описуються рівнянням

$$y = b_{n+1} + b_{i, n+1}x_i + b_{j, n+1}x_j + b_{ij}x_ix_j + b_{ii}x_i^2 + b_{jj}x_j^2. \quad (3.7)$$

Характер рівняння другого ступеня визначається малим дискримінантом. Воно може представляти еліпс ( $J > 0$ ), гіперболу ( $J < 0$ ) або параболу ( $J = 0$ ). При  $J \neq 0$  ці лінії будуть дійсними, а за  $J = 0$  вироджуються в точку. Крім того, еліпс може бути ще й уявним, тобто його осі не мають позитивних значень.

Підстановка різних значень аналізованих факторів у канонічний вид рівняння дає рівняння відповідних контурних кривих – еліпсів або гіпербол, що становлять ізолінії прийнятого критерію оптимізації.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 4.1 Результати досліджень прес-брикетувальника для виготовлення паливних брикетів

При дослідженнях робляться виміри щільності брикетів, споживаної потужності та продуктивності процесу. Рівняння регресії продуктивності брикетування представлено виразом:

$$Q = 87.252 + 11.534I + 7.754\alpha - 0.71\delta - 0.197I^2 + 1.34\delta^2 + 0.126I\delta\alpha. \quad (4.1)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що критерій Кохрена  $G = 0.11 < G_{0.05}(2.14) = 0.35$ . Дисперсія неадекватності математичної моделі  $SS_{If} = 222.41$ , дисперсія помилки дослідів  $SS_y = 281.38$ , критерій Фішера  $F(f_{If} = 4, f_y = 28) = 0.7905$ , модель адекватна будь-якому рівні довірчої ймовірності, множинний коефіцієнт регресії  $R_{y,r} = 0.9594$ .

Рівняння регресії потужності приводу під час брикетування має вигляд:

$$N = -0.655 + 0.307I + 0.238\delta - 0.073\alpha - 0.015I\delta + 0.021I\delta\alpha - 0.005I^2 + 0.024\delta^2 + 0.003I\delta\alpha. \quad (4.2)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що критерій Кохрена  $G = 0.13 < G_{0.05}(2.14) = 0.35$ . Дисперсія неадекватності математичної моделі  $SS_{If} = 0.074$ , дисперсія помилки дослідів  $SS_y = 0.099$ , критерій Фішера  $F(f_{If} = 4, f_y = 28) = 0.7547$ , модель адекватна будь-якому рівні довірчої ймовірності множинний коефіцієнт регресії  $R_{y,r} = 0.969$ .

Оціночними показниками процесу, крім отриманих експериментальними дослідженнями трьох факторів, є похідні від них: енергетична щільність, енергоємність, ефективність процесу брикетування. Результати розрахунків енергетичної густини брикетів, виконаних з вико-ристанням результатів досліджень. Оскільки як критерій оптимізації конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи прес-брикетувальника прийнята енергетична щільність, то точкою, що визначає ці показники, є оптимальна точка функції відгуку рівняння регресії енергетичної щільності брикетів.

Нижче наведено рівняння регресії енергетичної густини брикетів, розрахованої за даними

$$E = -0.609 + 0.591l + 0.396\alpha - 0.036l\delta - 0.01l^2 + 0.069\delta^2 + 0.006l\delta\alpha. \quad (4.3)$$

Для цього рівняння на 95 % рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що критерій Кохрена  $G = 0.11 < G_{0.05}(2.14) = 0.3539$ , дисперсія неадекватності математичної моделі  $SS_{lf} = 0.589$  дисперсія помилки дослідів  $SS_y = 0$ .  $F(f_{lf} = 4, f_y = 28) = 0.794$ . Модель адекватна будь-якому рівні довірчої ймовірності, множинний коефіцієнт регресії  $R_{y,r} = 0.959$ . Оптимальний режим роботи та значення функції відгуку в тому режимі буде:  $l = 21.3$  мм;  $\delta = 4.51$  %;  $\alpha = 9.605^\circ$ ;  $E = 10.553$  ГДж/м<sup>3</sup>.

Оскільки реальне отримане оптимальне значення кута конуса матриці становить  $\alpha = 9.605^\circ$ , виходячи межі варіювання чинника, приймається  $\alpha = 4.294^\circ$ . В цьому випадку найефективніший режим роботи буде:  $l = 21.3$  мм;  $\alpha = 4.51$  % та  $\delta = 4.294$ , значення функції відгуку в цьому режимі становитиме  $9.034$  ГДж/м<sup>3</sup>.

Рівняння регресії густини брикетів буде:

$$\rho = -79.142 + 43.834l + 36.355\delta + 28.466\alpha - 2.802l\delta - 0.747l^2 + 5.15\delta^2. \quad (4.4)$$

Для цього рівняння на 95% рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні, тому що критерій Кохрена  $G = 0.11 < G_{0.05}(2.14) = 0.35$ . Дисперсія неадекватності математичної моделі  $SS_y = 3981.6$ , дисперсія помилки дослідів  $SS_y = 3981.6$ , критерій Фішера  $F(f_{lf} = 4, f_y = 28) = 0.8521$ . Модель адекватна будь-якому рівні довірчої ймовірності, множинний коефіцієнт регресії  $R_{y,r} = 0.96$ .

Значення функції відгуку у певному режимі дорівнює  $662.8$  кг/м<sup>3</sup>.

При фіксованому оптимальному значенні третього фактора у виразі, визначаються рівняння їх парних взаємодій і за ними будуються сімейства кривих рівної енергетичної щільності та щільності брикетів.

## 4.2 Аналіз результаті досліджень

Рівняння двовимірного перерізу при парних взаємодіях впливу середньої довжини частинок соломи та вмісту сполучного (глини) при конусі матриці  $\alpha = 5.724^\circ$  на енергетичну щільність брикетів буде:

$$E_{l\delta} = 1.503 + 0.591l - 0.002l\delta - 0.01l^2 + 0.069\delta^2. \quad (4.5)$$

Мінімальне значення функції відгуку, що знаходиться в точці з координатами  $l = 40$  мм,  $\delta = 3.8$  %, дорівнює  $6.88$  ГДж/м<sup>3</sup>, максимальне, розташоване в точці  $l = 24$  мм і  $\delta = 9$  %, дорівнює  $10.7$  ГДж/м<sup>3</sup> (рис. 4.1).

Рівняння двовимірного перерізу щільності при парних взаємодіях цих факторів при дотриманні вищенаведених умов має вигляд:

$$\rho_{\delta} = 83.797 + 43.834l + 36.355\delta - 2.802l\delta - 0.747l^2 + 5.15\delta^2. \quad (4.6)$$

Мінімальне значення відгуку цієї функції має координати  $l = 40$  мм та  $\delta = 3.2$  % і дорівнює  $497.75$  кг/м<sup>3</sup>, максимальне при  $l = 25.8$  мм та  $\delta = 9$  % становить  $820.1$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 4.1).

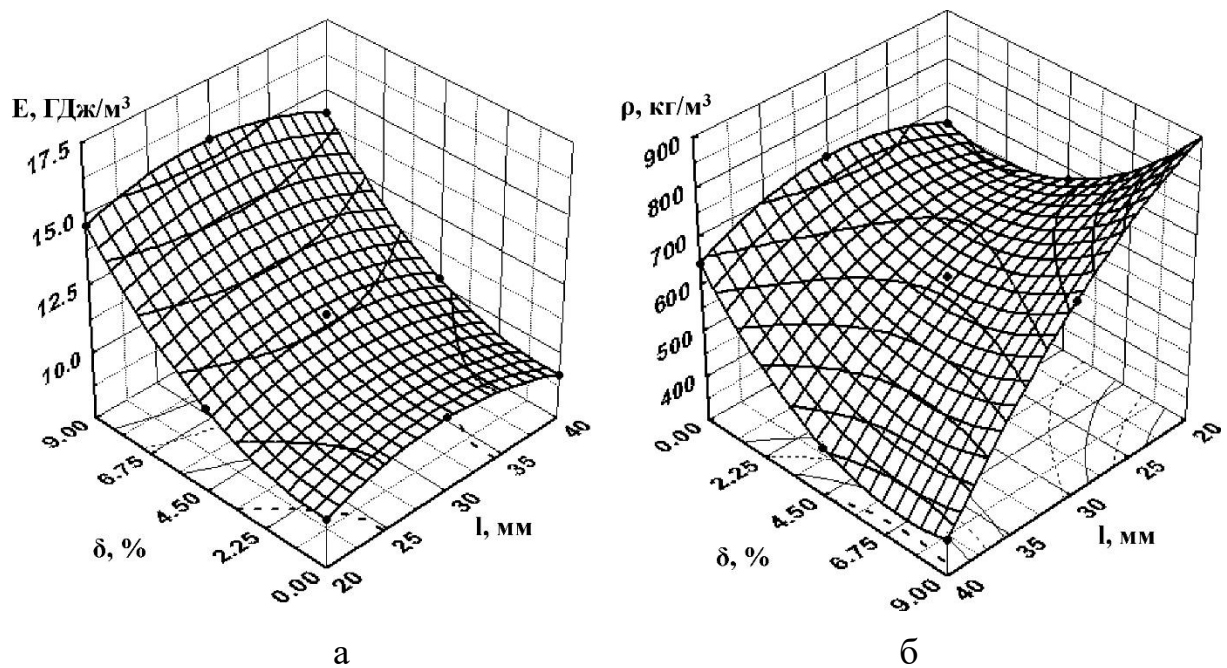


Рисунок 4.1 – Парні взаємодії середньої довжини частинок соломи  $l$  (мм) та вмісту сполучного  $\delta$  (%) при конусі матриці  $\alpha = 4.294^\circ$  на енергетичну щільність (а) та щільність брикетів (б)

З аналізу рис. 4.1 видно, що зменшення довжини частинок соломи та збільшення вмісту сполучного підвищує щільність брикетів і, отже, їх енергетичну щільність. Зростання щільності, причому від першого фактора меншою мірою, ніж від другого, викликається кращою взаємозчеплюваністю дрібнішої фракції соломи, а також за рахунок посилення склеювальних можливостей сполучного, що перешкоджають релаксації брикету.

При 4.51 % глини як сполучний на енергетичну щільність і щільність брикетів представлені відповідно виразами

$$E_{l\alpha} = 0.7882 + 0.429l + 0.396\alpha + 0.027\alpha l - 0.01l^2; \quad (4.7)$$

$$\rho_{l\alpha} = 188.743 + 31.225l + 28.466\alpha - 0.747l^2. \quad (4.8)$$

Мінімальне значення відгуку функції має координати  $l = 40$  мм і  $\alpha = 2.486^\circ$  і дорівнює  $4.77$  ГДж/м<sup>3</sup>, максимальне при  $l = 25.8$  мм та  $\alpha = 5.725$  мм дорівнює  $8.95$  ГДж/м<sup>3</sup>, для функції координати мінімальної щільності брикетів  $l = 40$  мм і  $\alpha = 2.861$ ), у яких вона дорівнює  $345.06$  кг/м<sup>3</sup>, максимальне буде в точці  $l = 34.2$  мм і  $\alpha = 5.724^\circ$  і дорівнює  $656.22$  кг/м<sup>3</sup> (рис. 4.2).

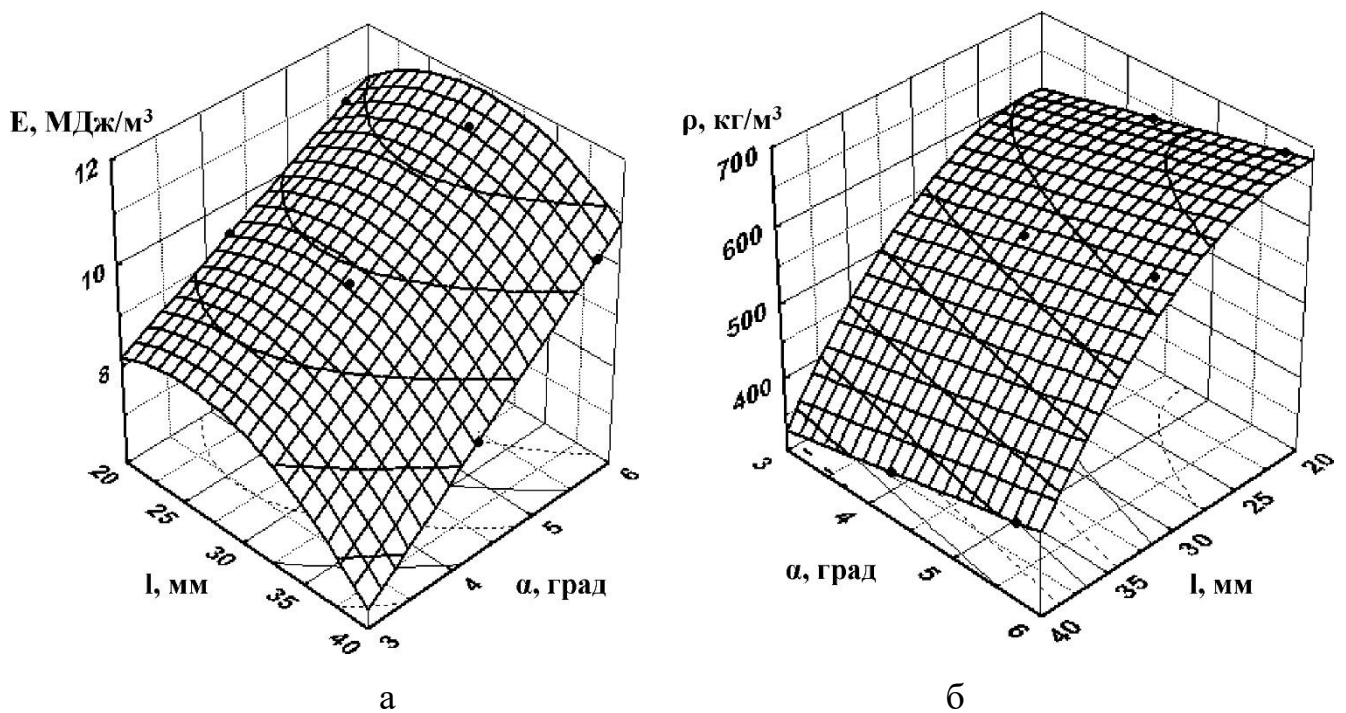


Рисунок 4.2 – Парні взаємодії середньої довжини частинок соломи  $l$  (мм) та конуса матриці  $\alpha$  при вмісті сполучного  $\delta = 9\%$  на енергетичну щільність (а) та щільність брикетів (б)

Вплив довжини частинок соломи у парних взаємодіях факторів (рис. 4.2) викладено у попередньому аналізі, збільшення кута конуса матриці збільшує щільність брикетів, тому що при цьому зростає зусилля на їх проштовхування каналом матриці.

Рівняння двовимірних перерізів парних взаємодій впливу вмісту сполучного (глини) та конуса матриці при подрібненні соломи до 21.3 мм на енергетичну щільність і щільність брикетів представлені відповідно до виразів

$$E_{\delta\alpha} = 7.442 - 0.767\delta + 0.396\alpha + 0.128\delta\alpha + 0.069\delta^2; \quad (4.9)$$

$$\rho_{\delta\alpha} = 515.6158 - 23.3276\delta + 28.466\alpha + 5.15\delta^2. \quad (4.10)$$

Графічна інтерпретація цих виразів представлена рис. 4.2. Для функції мінімальне значення відгуку дорівнює 5.11 ГДж/м<sup>3</sup> і має координати  $\delta = 5.6\%$  і  $\alpha = 2.486^\circ$ , для воно становить 374.73 ГДж/м<sup>3</sup> у точці з координатами  $\delta = 5.1\%$  і  $\alpha = 2.486^\circ$ ; максимальні значення цих функцій відповідно дорівнюють 9.07 ГДж/м<sup>3</sup> та 696.08 кг/м<sup>3</sup> знаходяться у точках  $\delta = 9\%$ ,  $\alpha = 5.725^\circ$  та  $\delta = 9\%$ ,  $\alpha = 5.725^\circ$ .

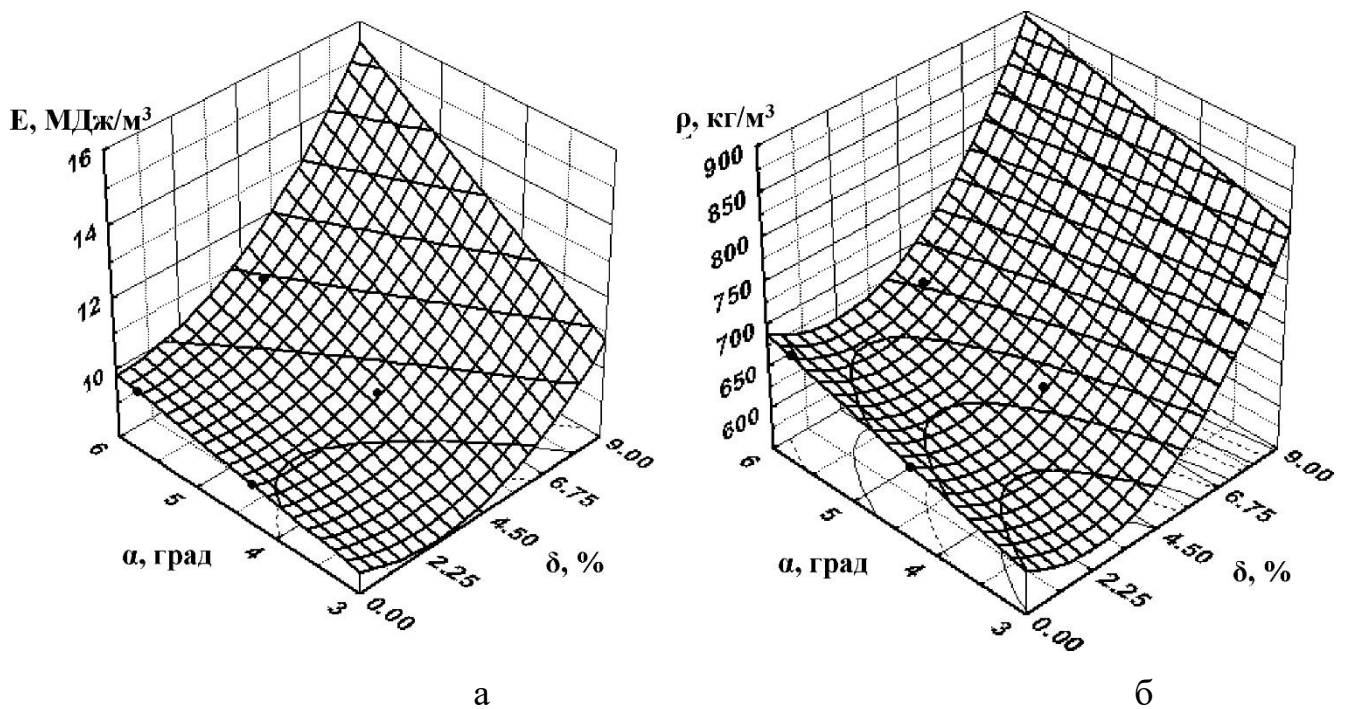


Рисунок 4.3 – Парні взаємодії вмісту сполучного  $\delta$  та конуса матриці  $\alpha$  при середній довжині частинок соломи 21.3 мм на енергетичну щільність (а) та щільність брикетів (б)

Енергетична оцінка виробництва паливних брикетів із соломи експериментальним прес-брикетувальником виконувалася за допомогою аналізу енергоємності їх виробництва, що характеризується витратами енергії на одиницю

продукції та ефективності виробництва брикетів - відношення теплової енергії, одержуваної від виробленої продукції, до енергії, витраченої на її виробництво.

Дані розрахунків енергоємності та ефективності виробництва брикетів, виконаних для відповідних точок матриці планування експериментів та рівнів варіювання факторів з використанням результатів досліджень споживаної потужності та продуктивності.

Рівняння регресії енергоємності приводу преса представлено виразом:

$$E = 92.194 - 0.229l - 0.5\delta - 6.544\alpha + 0.149l\delta - 0.114l\alpha - 0.21\delta^2. \quad (4.11)$$

Оптимальний режим роботи з погляду енергоємності та значення функції відгуку в ньому буде:  $l = 27.4$  мм;  $\delta = 5\%$ ;  $\alpha = 5.12^\circ$ ;  $E = 91.07$  кДж/кг.

Для параметрів режиму, прийнятого з позицій оптимальної енергетичної щільності брикетів значення цієї функції відгуку дорівнює 90.64 кДж/кг, що практично не відрізняється від попереднього.

Рівняння регресії ефективності виробництва брикетів має вигляд:

$$E_E = 184.305 - 0.516l - 5.279\delta - 0.0908l\delta + 0.181\alpha + 0.437\delta^2. \quad (4.12)$$

У оптимальній точці режиму роботи значення ефективності виробництва брикетів становить 157.91.

виробництва брикетів при конусі матриці  $4.294^\circ$  представлені відповідно виразами, парні взаємодії факторів зображені на рис. 4.4:

$$E_{l\delta} = 64.094 - 0.718l - 0.5\delta + 0.149l\delta - 0.21\delta^2; \quad (4.13)$$

$$E_{E_{l\delta}} = 515.6158 - 23.3276\delta + 28.466\alpha + 5.15\delta^2. \quad (4.14)$$

Мінімальні значення цих функцій, що знаходяться відповідно в точках  $l = 20$  мм,  $\delta = 0$  (без сполучного) і  $l = 40$  мм,  $\delta = 8.8\%$  дорівнюватимуть 80.84 кДж/кг та 125.73. Їхні максимальні значення, рівні відповідно 104.13 кДж/кг і 179.24, знаходяться в точках  $l = 20$  мм,  $\delta = 8.2\%$  та  $l = 20$  мм,  $\delta = 0$  (без сполучного).

Аналіз кривих рівних значень функції (рис. 4.4) показує, що зі збільшенням довжини частинок соломи збільшується енергоємність процесу, це пояснюється зростанням зусиль на пресування довгостеблового матеріалу, причому більш



виражено вплив цього фактора при більшому вмісті сполучно-го, сприяє кращому ущільненню матеріалу.

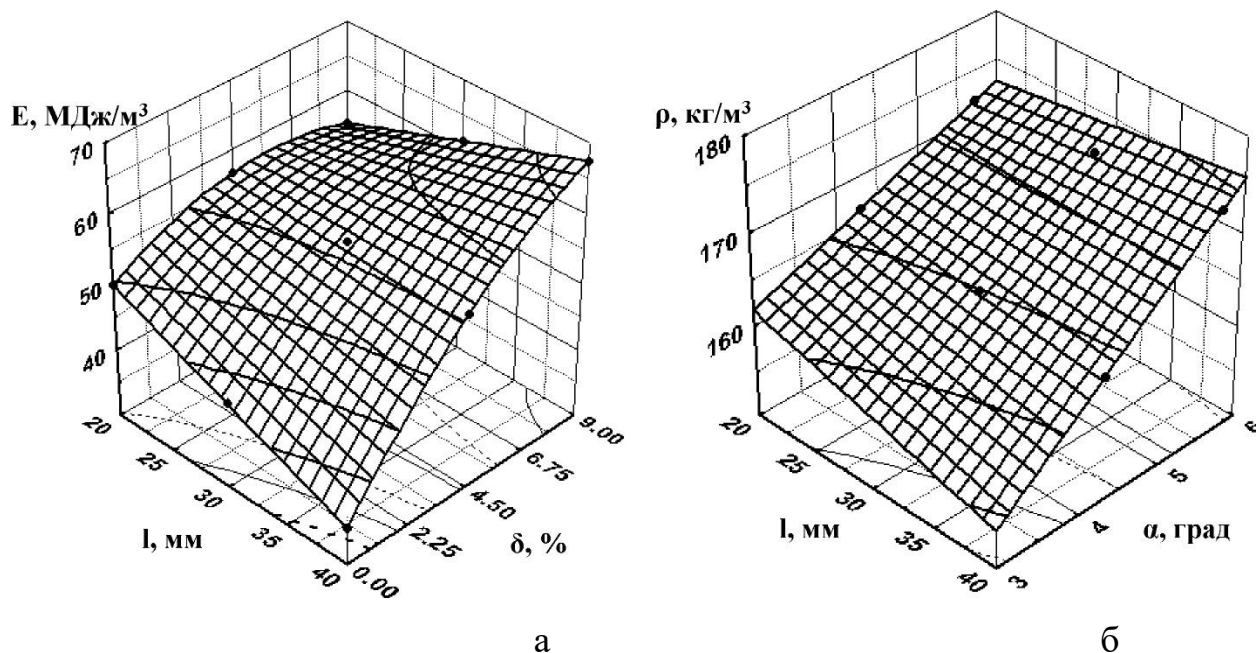


Рисунок 4.4 – Парні взаємодії середньої довжини частинок соломи  $l$  (мм) та вмісту сполучного  $\delta$  (%) при конусі матриці  $\alpha = 4.294^\circ$  на енергоємність (а) та ефективність виробництва брикетів (б)

Зі збільшенням вмісту сполучного енергоємність збільшується, оскільки зростає щільність брикетів, отже, і зусилля з їхньої прошовування каналом матриці. При більш довгих частинках соломи цей фактор впливає суттєвіше у зв'язку з необхідністю докладання великих зусиль на поршень, що пресує.

Парні взаємодії факторів довжини частинок соломи та кута конуса матриці при вмісті сполучного 4.51% на енергоємність виробництва брикетів представлені виразом, а на ефективність, парні взаємодії наведені на рис. 4.5:

$$E_{l\alpha} = 85.668 + 0.443l - 6.544\alpha - 0.114l\alpha; \quad (4.15)$$

$$E_{\rho l\alpha} = 169.385 - 0.926l + 0.181l\alpha. \quad (4.16)$$

Мінімальне значення цих функцій становлять відповідно 87.01 кДж/кг і 121.92, їх координати  $l = 20$  мм,  $\alpha = 3.922^\circ$  і  $l = 40$  мм,  $\alpha = 4.924^\circ$ , максимальні значення, рівні, відповідно, 111.17 кДж/кг і 15 координати  $l = 40$  мм,  $\alpha = 2.486$  та  $l = 20$  мм,  $\alpha = 3.765^\circ$ .

Аналіз кривих рівних значень цих функцій, що представлені на рис. 4.5 дозволяє оцінити роль цих факторів.

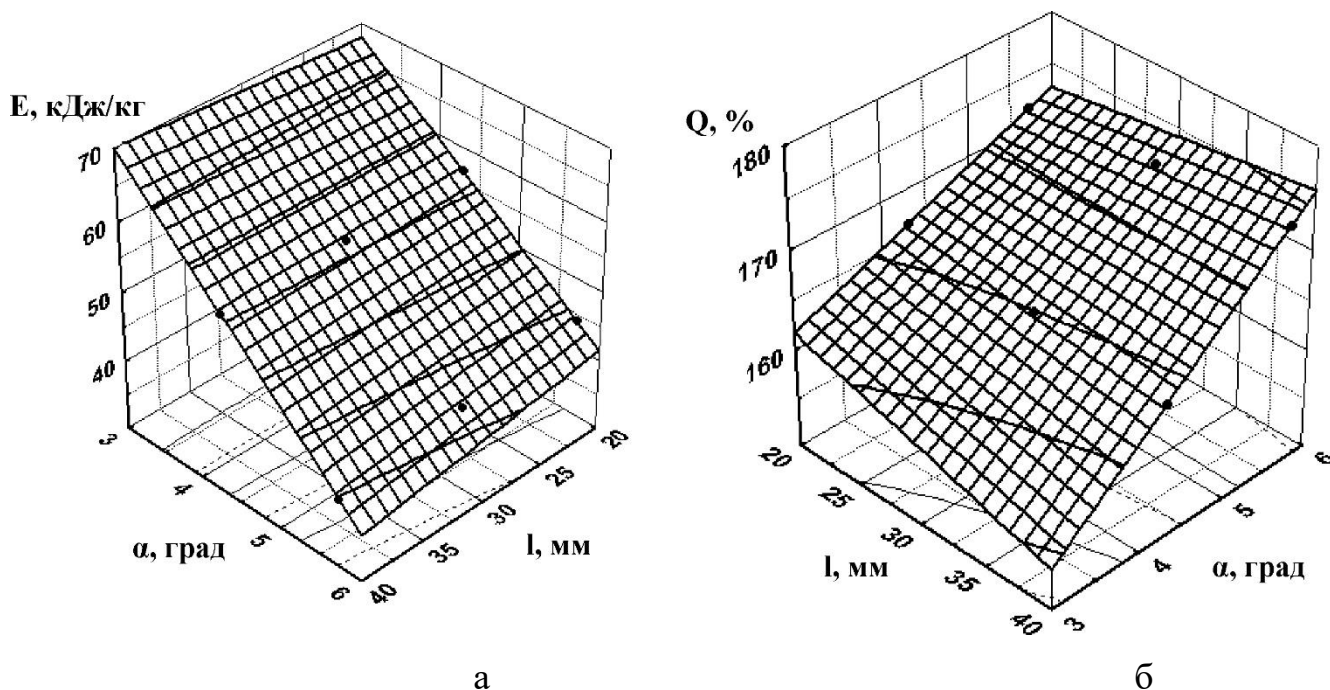


Рисунок 4.5 – Парні взаємодії середньої довжини частинок соломи  $l$  (мм) та конуса матриці  $\alpha$  при вмісті сполучного  $\delta = 4.51\%$  на енергоємність  $E$  (а) та ефективність виробництва брикетів  $Q$  (б)

Вплив довжини частинок соломи описано у попередньому аналізі.

Зростання кута конуса матриці викликає збільшення енергоємності, що пояснюється підвищенням його щільності як внаслідок зростання зусилля на його проштовхування конусним каналом матриці, так і зростанням самого зусилля.

Характер парних взаємодій, що досліджуються в рівняннях, факторів графічно представлених на рис. 4.4 та 4.5, пояснюється зворотною пропорційністю досліджуваних функцій.

Кришність одержуваних брикетів визначалася відповідно до загально-прийнятих методик для торф'яних паливних та кормових брикетів. Досліджуваними факторами були середня довжина частинок  $l$  і вміст сполучного  $\delta$ , вологість брикетів не враховувалася, так як у процесі проходження їх у кулерині і протягом часу після виготовлення, необхідним методикою (не менше 3 годин), вологість для

всіх брикетів була практично однаковою і в Залежно від навколишнього середовища становила 8-12%.

Результати досліджень крихтності брикетів, виготовлених на матриці преса кутом  $\alpha = 4.294^\circ$ , проведених за тривірневим двофакторним планом Бокса ( $B_2$ ).

Рівняння регресії крихтності брикетів, розраховане за результатами, наведеними в цій таблиці, має вигляд

$$k = 19.826 - 0.411I - 0.2049\delta - 0.005I\delta + 0.005I^2 + 0.078\delta^2. \quad (4.17)$$

Двовимірні перерізи впливу парних взаємодій середньої довжини частинок соломи та вмісту сполучного на крихтність брикетів наведено на рис. 4.12, з якого видно, що необхідну крихтність (менше 15%) можна отримати лише при максимальному вмісті сполучного та малої довжини частинок соломи.

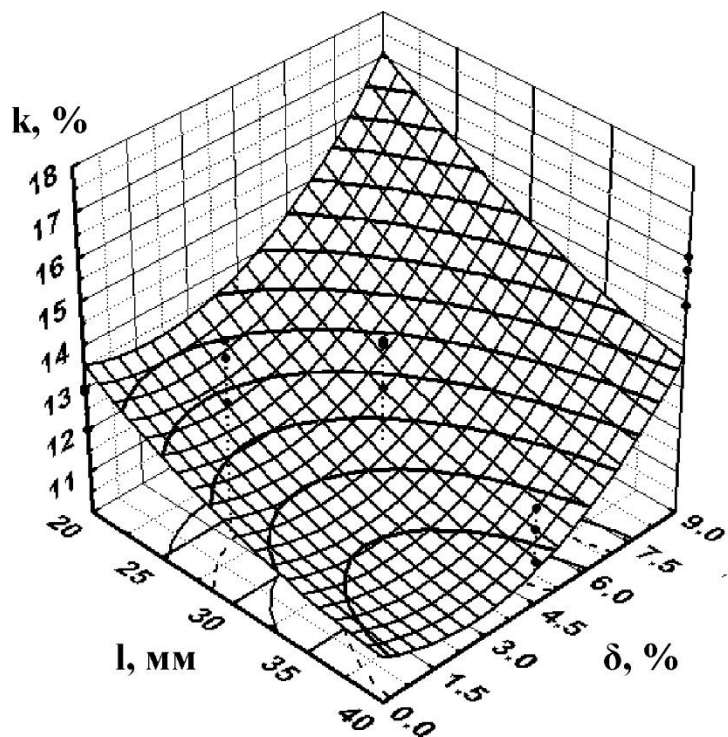


Рисунок 4.6 – Парні взаємодії середньої довжини частинок соломи  $I$  та вмісту сполучного  $\delta$  на крихтність брикетів  $k$

### 4.3 Висновки з розділу

1. Застосування методики математичного планування експерименту дозволило визначити оптимальне поєднання головних факторів, що впливають на

енергетичну щільність брикетів та визначають режим роботи прес-брикетувальника, яке перевірено та підтверджено експериментами. Це довжина частинок соломи 21.3 мм, вміст сполучного (глини або гною) 4.51 %, конусність матриці 1:10 (кут конуса більше  $5.725^\circ$ ), значення функції відгуку цьому режимі 9.034 ГДж/м<sup>3</sup>.

2. Інші показники при цьому становлять: продуктивність – 274 кг/год; щільність брикетів – 643 кг/м<sup>3</sup>; енергоємність 90.6 кДж/кг; ефективність виробництва брикетів – 157.8.

3. В результаті досліджень теоретично обґрунтовані та підтверджені експериментами формули, що дозволяють з достатньою для практичних цілей похибкою визначити довжину камери відкритого типу та інші основні конструктивно-технологічні параметри та режими роботи преса. Вони можуть бути використані при проектуванні робочих органів брикетних пресів для пресування стебельчастих та волокнистих матеріалів.

4. Спалювання брикетів у газогенераторній печі показало стійке повне згоряння з питомою теплотою 11.3 -14.2 МДж/кг.

5. Брикети із соломи, соняшникової лушпиння та соломи зі сполучним у вигляді гною дають менше золи та більше летких речовин, ніж солома із сполучним у вигляді глини. Зола завжди має гарну крихтість.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Основні положення

Охорона праці та безпека в цеху по виготовленню паливних брикетів з рослинної сировини є важливою складовою успішної та безпечної виробничої діяльності. Основні положення охорони праці та безпеки в такому цеху включають в себе наступне.

1 Відповідність законодавству: Забезпечення додержання всіх вимог чинного законодавства у сфері охорони праці та безпеки на виробництві.

2 Організація навчання та інструктування: Проведення навчання та інструктування всіх працівників щодо правил та процедур безпеки робіт.

3 Оснащення та технічні засоби: Забезпечення цеху сучасними технічними засобами, які відповідають вимогам безпеки. Це включає в себе регулярну перевірку та обслуговування обладнання.

4 Особистий захист: Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, такими як каски, окуляри, респіратори, виробничі костюми і т. д.

5 Ризики та їх контроль: Визначення потенційних ризиків на робочому місці та розробка заходів щодо їх зменшення або усунення. Це може включати в себе контроль пилу, уникання пожежі, управління відходами і т. д.

6 Регулярні інспекції та аудити: Проведення регулярних інспекцій робочих місць та аудитів системи безпеки для виявлення недоліків і вдосконалення системи охорони праці.

7 Перша допомога та надання медичної допомоги: Наявність навчених персоналу, які можуть надавати першу допомогу у випадку травм або нещасних випадків, а також забезпечення доступу до медичної допомоги у разі потреби.

8 Евакуація і пожежна безпека: Розробка планів евакуації, наявність засобів пожежогасіння та здійснення регулярних навчань з пожежної безпеки.

9 Записи і звіти: Проведення обліку всіх інцидентів, аварій та нещасних випадків, а також складання звітів про них для подальшого аналізу та запобігання

подібним ситуаціям у майбутньому.

10 Залучення працівників: Активна участь працівників у впровадженні та поліпшенні системи охорони праці та безпеки через їхню залученість у процес прийняття рішень та надання пропозицій щодо безпеки на робочому місці.

Загальна мета цих заходів - забезпечити безпечні умови праці для всіх працівників у цеху, запобігти нещасним випадкам і травмам, а також зменшити ризики для навколишнього середовища та виробництва в цілому.

## **5.2 Охорона праці при роботі з пресом для виготовлення брикетів**

До проведення робіт з обслуговування брикетного пресу допускаються особи, які відповідають віковим вимогам, встановленим чинним законодавством, та пройшли медичний огляд відповідно до встановленого порядку, а також не мають медичних протипоказань до виконання цього виду робіт. Вони повинні пройти виробниче навчання згідно з відповідною програмою, успішно пройти верифікацію з теоретичних знань та практичних навичок, пов'язаних із безпечними методами роботи, і отримати допуск до самостійної роботи в установленому порядку.

Перш ніж розпочати самостійну роботу оператора брикетного пресу (далі - машиніста), він повинен пройти стажування під керівництвом спеціально призначеної особи протягом перших 2-14 змін, залежно від характеру роботи та кваліфікації працівника.

Періодичний медичний огляд машиніста повинен проводитися згідно з встановленим порядком, визначеним Міністерством охорони здоров'я.

Машиніст повинен проходити перевірку знань з питань охорони праці не рідше одного разу на 12 місяців. Позачергова перевірка знань проводиться у випадках: після перерви в роботі протягом більше одного року; при переміщенні з одного підприємства на інше; на вимогу керівника підприємства або органу державного нагляду і контролю; при введенні нових або переглянутих нормативно-правових актів з питань охорони праці; при введенні нового обладнання або

технологічних процесів.

Машиніст повинен проходити інструктаж з питань охорони праці: перед прийняттям на роботу; в процесі роботи щонайменше один раз у 6 місяців; при внесенні нових або переглянутих положень або документів з питань охорони праці; при внесенні змін в технологічні процеси, заміні або модернізації обладнання, інструментів, сировини, матеріалів або інших факторів, що можуть впливати на охорону праці; при виникненні подій, які порушують норми та закони з охорони праці; за вимогою контролюючих органів; при перерві в роботі більше 6 місяців; при отриманні інформації про нещасні випадки, які сталися на схожому виробництві.

Машиніст зобов'язаний знати і дотримуватися вимог, викладених у "Правилах безпеки на підприємствах торф'яної промисловості", технологічних інструкціях заводів-виробників щодо експлуатації брикетних пресів та інструкціях з охорони праці. Він також повинен розуміти небезпечні та шкідливі фактори, пов'язані з виконанням робіт, і знати основні методи їх захисту.

Машиніст має використовувати засоби індивідуального захисту, які надаються безкоштовно відповідно до галузевих стандартів і є обов'язковими для носіння. Це включає в себе бавовняний костюм з пилонепроникною тканиною, брезентові чоботи або ботильйони з шкіряною пилозахисною підошвою, діелектричні рукавички, комбіновані рукавиці тощо.

Машиніст повинен негайно повідомляти свого безпосереднього керівника про будь-які несправності брикетного пресу та супутнього обладнання, а також про будь-які інші проблеми або небезпеку, які він помічає в процесі роботи. Перед початком роботи машиніст повинен також перевіряти стан обладнання та інструментів і не приступати до роботи, якщо він вбачає будь-які несправності чи небезпечні ситуації.

Пуск преса повинен виконуватися машиністом лише за наявності відповідного розпорядження, записаного в змінному журналі за вказівкою безпосереднього керівника робіт.

Перед запуском преса у роботу після його зупинки машиніст повинен

провести такі перевірки:

- Переконалися в відсутності торф'яної пробки у матричному каналі. Якщо пробка виявлена, необхідно видалити її за допомогою спеціального інструменту під наглядом безпосереднього керівника. Заборонено видаляти пробку за допомогою самого преса.

- Перевірити стан матричних каналів і наявність необхідних зазорів між штемпелями і матрицями.

- Переконалися в надійному кріпленні штемпелів до повзунів.

- Перевірити стан і надійність кріплення лотків.

- Перевірити справність знепилювання.

- Перевірити справний стан регулятора тиску пресування (пружинно-гідролічного для преса В8232, пружинно-важільного для преса типу БПД-2).

- Перевірити справність системи мастила, кількість і якість мастила.

- Перевірити справність парової та водоохолоджувальної систем преса.

- Перевірити наявність та справність огорож.

- Перевірити наявність промасленої брикетної крихти.

- Перевірити відсутність бруду і пилу на обладнанні та в механізмах.

Якщо після проведених перевірок не виявлено несправностей у брикетному пресі та пов'язаному з ним обладнанні, або такі несправності були усунені машиністом, може бути виконаний пуск преса.

При пуску преса після тривалої зупинки машиніст повинен виконати наступні дії:

- Увімкнути систему парового обігріву головки та матриць преса. Дозволяється включити прес у роботу, якщо матриці та головка достатньо прогріті (температура не менше 70°C).

- Подати звуковий сигнал.

- Увімкнути систему знепилювання преса.

- Увімкнути двигун циркуляційного мастила, переконалися, що ця система працює нормально, потім увімкнути двигун преса, а після цього послідовно - підпресувальник і живильник.



- Завантаження каналів повинно здійснюватися промасленою крихтою до виходу безперервної стрічки.
- Поступово зменшувати подачу промасленої крихти та збільшувати подачу сушки до виходу з каналу для отримання брикетів.
- Регулювання навантаження повинно здійснюватися за допомогою завантажувальних шиберів преса (при наявності пасивного живильника - вручну, при наявності коміркового - з пульта управління).
- Працювати з одним штемпелем у преса протягом 10-15 хвилин, після чого завантажити другий штемпель цього ж преса.
- Після того, як прес приходить в нормальний режим (брикетна стрічка отримала нормальний зовнішній вигляд, канал працює чітко, плавно, без стуку та збоїв), припинити подачу промасленої крихти, закрити подачу пари для обігріву головки та штемпелів преса, включити подачу охолоджуючої води для формувального інструмента.

- Поступово увімкнути інші преси по мірі надходження сушіння.

Пуск преса в роботу після запланованої зупинки тривалістю не більше 2-4 годин машиніст повинен виконати описані вище процедури на торф'яній сушці, що поступово подається невеликими порціями.

При пуску преса після аварійної короткочасної зупинки без виходу преса з ладу, машиніст повинен:

- Провести очищення матричного каналу перед штемпелем від пухких брикетів та сушіння.
- Заповнити матричний канал сухою брикетною крихтою на вказану довжину, яка необхідна для обробки протягом 2-3 робочих циклів.
- Запустити двигун трансмісії.
- Якщо ці дії не призводять до відновлення нормального режиму роботи, відпустити матричний канал від брикетів на всій довжині.
- Знову запустити прес відповідно до зазначеного порядку (пункт 3.1.4) за наявності промасленої брикетної крихти.

Пуск преса, який був зупинений без промасленої брикетної крихти, машиніст

повинен виконувати лише за присутності безпосереднього керівника робіт та згідно з його вказівками.

Заборонено запускати брикетний прес в таких випадках:

- Якщо в матричному каналі є торф'яна пробка.
- Якщо штемпелі та матриці зношені.
- Коли кріплення штемпелів до повзунів ослаблене.
- З холодними матрицями.

При запуску преса машиністу заборонено перебувати перед виходом брикетів.

Вимоги безпеки під час роботи на пресах.

Під час роботи машиніст повинен контролювати:

- Роботу обладнання та систем преса, уникаючи перевантажень.
- Відсутність сушіння в картерах пресів та роботу систем пиловідсмоктування.

- Стан підшипників механізмів та наявність в них мастила, якщо необхідно, то поповнити або замінити мастило.

- Навантаження підпресувальника. При перевантаженні підпресувальника автоматично відбувається відключення електродвигуна підпресувальника з подачею звукового сигналу.

Заборонено:

- Тривала робота преса на холостому ході (понад 30 хвилин).
- Експлуатація преса без охолодження матричного каналу.
- Робота преса без системи пиловідсмоктування від штемпелів та зошита преса.

- Робота преса з незакритими або несправними лотками.
- Експлуатація шлюзових затворів без електроблокування кришок люків з електродвигуном приводу.

Експлуатація підпресувальника в таких випадках:

- Відсутність вільного обертання робочого органу (шнека).
- Несправність системи пиловідсмоктувача.

- Недостатнє ущільнення підшипникових вузлів редуктора.
- Відсутність огорожі муфти.

Ці заходи забезпечують безпечну експлуатацію брикетного преса та допомагають запобігти аваріям і травмам під час роботи з ним.

### **5.3 Вимоги щодо забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях**

Машиніст повинен зреагувати на такі надзвичайні ситуації та негайно зупинити роботу преса:

- Виявлення позаштатних явищ у роботі преса (наприклад, стукоту, нагрівання підшипників, іскріння, «бавовни», викиду матеріалу із завантажувальних пристроїв).

- Засор матричного каналу.
- Виявлення вогнищ займання поблизу робочої зони.
- Випадок виробничого нещасного випадку.
- Причини аварійної зупинки преса слід зафіксувати у змінному журналі.

Перед зупинкою преса необхідно подати звуковий сигнал і заповнити матричні канали преса промасленою крихтою. У випадках, які потребують негайної зупинки, машиніст повинен зробити зупинку без застосування промасленої крихти та негайно повідомити безпосереднього керівника робіт про причини зупинки.

Якщо виявлено спалах електроустановок, машиніст повинен:

- Вжити заходів щодо відключення електроустаткування.
- Розпочати гасіння спалаху наявними засобами пожежогасіння.

Важливо пам'ятати, що забороняється застосовувати пінні вогнегасники та воду для гасіння електроустановок.

- Негайно повідомити безпосереднього керівника робіт про подію.
- Якщо неможливо ліквідувати пожежу наявними засобами пожежогасіння, викликати пожежну охорону.

Для гасіння незначних вогнищ торф'яного пилу слід дотримуватися наступних інструкцій: спочатку очистити і зволожити місцевість навколо вогнища пожежі, а потім акуратно зібрати пил, що горить, мокрою ганчіркою у відро, наполовину наповнене водою. Важливо уникати застосування струменя води, так як це може спричинити сплеск пилу та посилити ситуацію.

Якщо виникла пожежа на ділянці виробництва брикетів, машиніст повинен:

- Подати звуковий сигнал, повідомляючи про тривогу та пожежу.
- Вжити заходів щодо відключення електроустаткування.
- Викликати пожежну службу та вжити заходів щодо локалізації та гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння, а також запобігти її поширенню.

У разі нещасного випадку (травмування, опіку, отруєння, раптового захворювання) машиніст повинен надати першу допомогу потерпілому.

#### **5.4 Висновки з розділу**

В результаті аналізу процесу роботи пресу для виготовлення брикетів визначені основні положення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Представлено інструкцію з охорони праці при роботі із пресом для виготовлення брикетів. Надані вимоги щодо забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях із пресом для виготовлення брикетів.

## 6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРЕСУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

### 6.1 Постановка задачі

Комплексна оцінка техніки та технологій передбачає визначення оцінюваного варіанта на відповідність його світовому рівню (відповідає світовому рівню, вищому за світовий рівень, не відповідає світовому рівню).

При комплексній оцінці прес-брикетувальника як аналогії прийнято обладнання для гранулювання та брикетування кормів ОПК-3.0-2 та мобільний прес-брикетувальник паливних брикетів «Biotruck». Вихідні розрахункові дані їхньої оцінки наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для комплексної оцінки прес-брикетувальника

Позначення та найменування даних	Значення даних виробів		
	проектний	базових	
		ОПК-3.0	«Biotruck»
$U$ – обсяг маси, що переробляється	2560		
$\Pi$ – продуктивність обладнання	0.35	3.5	8.0
$T_n$ – річне напрацювання	7314.28	731.43	
$K_{ти}$ – коеф. технічного використання	0.7		
$\Pi_o$ – оптова ціна машини	1960	16900	8900.0
$\Phi_{(т)}$ – коеф., що залежить від терміну служби	0.224		
$Q_m$ – питома вартість монтажу	0.2	0.1	
$t_{сл}$ – термін служби виробу	6		
$m$ – маса обладнання	5100	17350	4730
$N$ – встановлена потужність приводу	9.6	207.0	354.0
$K_{ор}$ – нормативного часу на ТО, рем	0.163		
$g_{ор}$ – середньорічні витрати на ТО, рем	0.18		
$g_a$ – частка амортизаційних відрахувань	0.166		
$g_e$ – питома енергоємність процесу	27.4	59.14	59.14
$C_e$ – вартість натур. од. енергоносія	0.12	0.55	
$g_t$ – пит. витрати праці	2.96	0.296	0.125
$C_t$ – вартість 1 години роботи оператора	0.81		
$q_m$ – пит. енерговитрати на вироб. виробів	23		

Позначення та найменування даних	Значення даних виробів		
	проектний	базових	
		ОПК-3.0	«Biotruck»
$q_{op}$ – пит. енерговитрати на обслуг. і ремонт	0.0032		
$q_e$ – енергетич. еквівалент енергоносія	12	79.5	
$q_T$ – пит. енерговитрати праці оператора	61.2		
$t$ – річні витрати часу	7314.28	731.43	320.0

Комплексна оцінка техніки виконується в наступній послідовності:

– визначається номенклатура показників за чинними керівними документами;

– визначаються чисельні значення показників технічного рівня та якості виробів, експлуатаційних, економічних показників як оцінюваної техніки, так і аналогів;

– визначаються упереджені та оперативні витрати на виконання даного технологічного процесу порівнюваним виробом та його аналогом;

– виконуються розрахунки комплексного показника відповідно до цієї методики з використанням Excel.

## 6.2 Методика розрахунку економічної ефективності

Для оцінки прес-брикетувальника використовується вираз, представлене в узагальненому вигляді:

$$k = (mK_{ty} + nJ_{про} + pK_e) / (m + n + p), \quad (6.1)$$

де  $m$ ,  $n$ ,  $p$  – значення величин вагомості коефіцієнтів  $K_{ty}$ ,  $J_{про}$ ,  $K_e$ ;  $K_{ty}$  – коефіцієнт технічного рівня виробу;  $J_{про}$  – коефіцієнт інтегральної оцінки;  $K_e$  – коефіцієнт енергетичної ефективності виробу.

Внаслідок складності визначення значень коефіцієнтів вагомості  $m$ ,  $n$ ,  $p$  для практичних розрахунків використовується вираз із узагальненим поправним коефіцієнтом  $R$ .

$$k = R (mK_{ty} + nJ_{про} + pK_e) / 3, \quad (6.2)$$

де  $R = 0.969$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив вагомості коефіцієнтів

$K_{\text{ты}}, J_{\text{про}}, K_e$ ; при  $k > 1$  – виріб перевищує світовий рівень;  $k = 1$  – виріб відповідає світовому рівню;  $k < 1$  – виріб відповідає світовому рівню.

$$K_{\text{ты}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \quad (6.3)$$

де  $g_i = H_{\text{нi(Бi)}} / P_{\text{нi(Бi)}}$  – відносний показник якості;  $n$  – кількість показників якості;  $P_{\text{нi}}, P_{\text{Бi}}$  – абсолютне значення  $i$ -го показника оцінюваного та базового виробів.

$$J_{\text{про}} = J_{\text{н(Б)}} / J_{\text{Б(н)}}, \quad (6.4)$$

де  $J_{\text{н}}, J_{\text{Б}}$  – інтегральні показники оцінюваного та базового виробів.

$$J_{\text{(н,Б)}} = \frac{\Pi T_{\text{н}} K_{\text{ти}}}{\Pi_o \phi(t) + \Pi_m + Z_{\text{н}}} \quad (6.5)$$

де  $\Pi$  – продуктивність виробу, натур.ед. в годину;  $T_{\text{н}}$  – річне напрацювання виробу,  $T_{\text{н}} = I / \Pi_{\text{год}}$ ;  $K_{\text{ти}}$  – коефіцієнт технічного використання;  $I$  – обсяг матеріалу, що переробляється;  $\Pi_{\text{про}}$  – оптова ціна виробу;  $Q_{\text{м}}$  – сумарна вартість монтажу виробу, віднесена до одного року;  $Z_{\text{н}}$  – річні експлуатаційні витрати;  $\phi(t)$  – коефіцієнт, що залежить від терміну служби виробу.

$$Z_{\text{н}} = Z_{\text{ср}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{е}} + Z_{\text{т}}, \quad (6.6)$$

де  $Z_{\text{ср}}$  – річні витрати коштів на ТО і ремонт,  $Z_{\text{ср}} = \Pi_o g_{\text{ср}}$ ;  $q_{\text{ср}}$  – частка середньорічних витрат від оптової ціни на ТО та ре ремонт;  $Z_{\text{а}}$  – амортизаційні відрахування,  $Z_{\text{а}} = \Pi_o g_{\text{а}}$ ;  $g_{\text{а}}$  – частка амортизаційних відрахувань від оптової ціни;  $Z_{\text{е}}$  – витрати на спожиту енергію,  $Z_{\text{е}} = g_{\text{е}} C_{\text{е}} I$ ;  $q_{\text{а}}$  – питома енергоємність процесу (електроенергія, ГСМ та ін);  $C_{\text{е}}$  – вартість натуральної одиниці енергоносія;  $Z_{\text{т}}$  – Оплата праці оператора,  $Z_{\text{т}} = g_{\text{т}} C_{\text{т}} I$ ;  $q_{\text{т}}$  – питома витрати на одиницю перероблюваного матеріалу;  $C_{\text{т}}$  – вартість однієї години роботи оператора,  $K = Q'_{\text{б}} / Q'_{\text{н}}$ ;  $Q_{\text{б}}, Q_{\text{н}}$  – сукупні, що включають уречевлені та оперативні витрати енергії при виробництві брикетів, відповідно, базовим та оцінюваним виробом.

$$Q_{\text{Б(н)}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{т}} + Q_{\text{пм}} + Q_{\text{ем}} + Q_{\text{опм}} + Q_{\text{т}}, \quad (6.7)$$

де  $Q_{\text{пм}}$  – Енерговитрати на виробництво прес-брикетувальника,  $Q_{\text{пм}} = m g_{\text{м}} t$ ;  $Q_{\text{ем}}$  – енерговитрати використаних енергоносіїв при виробництві брикетів,  $Q_{\text{ем}} = N I g_{\text{м}} / \Pi$ ;  $Q_{\text{опм}}$  – енерговитрати на технічне обслуговування та ремонт преса,  $Q_{\text{опм}} = \text{Кор}_{\text{img op}} / \Pi$ ;  $Q_{\text{т}}$  – енергоємність праці оператора,  $Q_{\text{т}} = I g_{\text{т}} / \Pi$ ;  $m$  – маса прес-

брикетувальника;  $N$  – встановлена потужність приводу;  $g_m$  - питомі енерговитрати виробництва преса;  $g_e$  – енергетичний еквівалент енергоносія;  $g_a$  - питомі енерговитрати на технічне обслуговування та ремонт;  $g_t$  - питомі енерговитрати праці оператора;  $t$  – річні витрати часу;  $K_{op}$  - частка нормативного часу на ТО і ремонт.

Розрахунки показують, що коефіцієнт технічного рівня прес-брикетувальника порівняно з ОПК -3.0 -2 та «Viotruck-2000» складає відповідно  $K = 1.618$  та  $K = 1.456$ , тобто він перевищує аналоги.

### 6.3 Визначення економічної ефективності прес-брикетувальника

Річна економічна ефективність прес-брикетувальника порівняно з ОПК-3.0 - 2 визначається відповідно до виразу

$$E_r = (U_{\delta} + EK_{\delta}) - (U_n + EK_n), \quad (6.8)$$

де  $U_{\delta}$  і  $U_n$  – відповідно прямі виробничі витрати за базового та пропоноване обладнання;  $K_{\delta}$  і  $K_n$  – капіталовкладення в базове та пропоноване обладнання;  $E$  - галузевий нормативний коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень,  $E = 0.15$ .

Величина річної економічної ефективності прес-брикетувальника, розрахована за даними табл. 6.1 складає  $E_r = (2908300 + 0.15 \times 2028000) - (1554700 + 0.15 \times 235000) = 1622500$  грн., або 647 грн. на тонну брикетів.

### 6.4 Висновки з розділу

Комплексна оцінка прес-брикетувальника показала, що порівняно з обладнанням для гранулювання та брикетування кормів ОПК-3.0-2 та мобільним прес-брикетувальником паливних брикетів «Viotruck» коефіцієнт його технічного рівня вищий і становить відповідно  $K = 1.618$  та  $K = 1.45$  тобто він перевищує аналоги. Річна економічна ефективність прес-брикетувальника для середнього господарства становить 647 грн. на тонну брикетів.



## ВИСНОВКИ

1. Пресовані матеріали являють собою складне середовище за складом та фізико-механічними властивостями. При брикетуванні відбувається перехід суцільного дисперсного сипучого середовища, що є статистичним, суцільно з властивостями монолітного тіла. Застосований для опису цього процесу статистичний метод виявив експонентну залежність основного закону стиснення маси, що ущільнюється.

2. Запропоновано розрахункову формулу визначення кінцевої щільності матеріалу, що враховує особливості брикетування на штемпельному пресі з кривошипно-шатунним механізмом. Значення величини  $a_{\tau}$  – одного з коефіцієнтів, що характеризують розширення ущільненого матеріалу залежно від факторів, що впливають на нього, слід визначити в подальших експериментальних дослідженнях.

3. Отримано розрахункові формули, що дозволяють визначити основні параметри прес-брикетувальника з урахуванням фізико-механічних та технологічних властивостей матеріалу, що пресується.

4. Застосування методики математичного планування експерименту дозволило визначити оптимальне поєднання головних факторів, що впливають на енергетичну щільність брикетів та визначають режим роботи прес-брикетувальника, яке перевірено та підтверджено експериментами. Це довжина частинок соломи 21.3 мм, вміст сполучного (глини або гною) 4.51 %, конусність матриці 1:10 (кут конуса більше  $5.725^{\circ}$ ), значення функції відгуку цьому режимі  $9.034 \text{ ГДж/м}^3$ .

5. Інші показники при цьому становлять: продуктивність – 274 кг/год; щільність брикетів –  $643 \text{ кг/м}^3$ ; енергоємність 90.6 кДж/кг; ефективність виробництва брикетів – 157.8.

6. В результаті досліджень теоретично обґрунтовані та підтверджені експериментами формули, що дозволяють з достатньою для практичних цілей похибкою визначити довжину камери відкритого типу та інші основні

конструктивно-технологічні параметри та режими роботи преса. Вони можуть бути використані при проектуванні робочих органів брикетних пресів для пресування стебельчастих та волокнистих матеріалів.

7. Спалювання брикетів у газогенераторній печі показало стійке повне згоряння з питомою теплотою 11.3 -14.2 МДж/кг.

8. Брикети із соломи, соняшникової лушпиння та соломи зі сполучним у вигляді гною дають менше золи та більше летких речовин, ніж солома із сполучним у вигляді глини. Зола завжди має гарну крихітність.

9. Запропоновано теоретично обґрунтовані та підтверджені експериментами формули, які є основою розробленої методики інженерного розрахунку прес-брикетувальника. Вона може використовуватися при створенні пресів для стебельчастих та волокнистих матеріалів для визначення основних конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи.

10. Комплексна оцінка прес-брикетувальника показала, що порівняно з обладнанням для гранулювання та брикетування кормів ОПК-3.0-2 та мобільним прес-брикетувальником паливних брикетів «Biotruck» коефіцієнт його технічного рівня вищий і становить відповідно  $K = 1.618$  та  $K = 1.45$  тобто він перевищує аналоги. Річна економічна ефективність прес-брикетувальника для середнього господарства становить 647 грн. на тонну брикетів.

## Бібліографія

1. Савченко О. П., Ресурсозбереження – комплексний підхід. – К.: Політвидав України, 1987. – 287 с.
2. Бойлс Д. Біоенергія: технологія, термодинаміка, витрати / Перс англ. М. Ф. Пушкарьова; За ред. Е. А. Бірюкова.-М.: Агропромиздат, 1987. - 152 с.
3. Pietruszko S. M., Kulka T., Wisniewski G.: Renewable energy activity in Poland. Процедури 5-го Міжнародного енергетичного Conference, vol.3 Seul, Korea 1993.
4. Лончинські В. Традиції та можливості розвитку виробництва альтернативних палив у сільськогосподарських гуральні. Конференційні матеріали. Альтернативне паливо для двигунів внутрішнього згоряння. ІБМЕР, Варшава, 1993.
5. Saudicami K.ed.: Wood chirs for energy prodduction. The Centre of Biomass Technology, Aarhus 1993.
6. Ferrero G. L., Grassi G., Willams ed p. E.: Biomass Energy: Від Harvesting to Storage. Elsevier Applied Science 1986.
7. Silvesterini G.: A strategy to reduce greenhouse gases in Italy. Результати 2-го Word Renewable Energy Congress: "Renewable energy, technology and environment, vol.5 ed.by AA M. Saygh, Pergamon Press 1992.
8. Стейніфорт А. Р. Солома злакових культур. М., Колос, 1983.
9. Williams M. Burning ban boosts choppінг //What's New Farming. – 1990. № 11. – P.40 -41.
10. Trenlsenp. : Heisen mit stroh. DLG-Mittellungen № 13/90, 1990.
11. Wrixon G. T., Rooney A. E., Palz W. Renewable energy -2000, Srringer-Verlag, Berlin 1993.
12. Meier H . Silomais-Brennstoff fur die Stromerzeugung. Mais. 1988. 16, 2: s. 26-29.

13. Rettich S. Die Funktion des Danischen Folkecenters fur Erneuerbare Energien bei der Einfuhrung neuer Techniken. Folkecenter for RE (FC), 1992, 27 S.
14. ГОСТ 18132-72. Брикети та напівбрикети торф'яні. Метод визначення механічної міцності. М.: Державний комітет СРСР із стандартів. 1972, 3 с.
15. Горячкин В. П. Зібрання творів. Т. 3, М: Колос, 1965, 384 с.
16. Гутьяр Є. М. Досвід теорії сенопресування. Теорія, конструкція та виробництво сільськогосподарських машин. Т. IV. Сільгоспгіз, 1936.
17. Пустигін М. А. Теорія та технологічний розрахунок молотильних пристроїв. М., Сільгоспгіз, 1948, 93 с.
18. Пустигін М. А. Закон стиснення шару стебел хліба. - "Сільгоспмашина", 1937 № 12, с.14-17.
19. Особов В. І. Дослідження процесу брикетування сіна. Авторф.діс.-канд.техн.наук. М., 1963, с.8-141.
20. Особов В. І. Технологічні основи розрахунку робочих органів для ущільнення сіно-соломистих матеріалів. Дисс.-доктора техн.наук. Ленінград-Пушкін, 1971, с.12-381.
21. Долгов І. А. Наукові основи методики розрахунку робочих органів пресуючих, брикетуючих та прокочуючих сінозбиральних машин. Дисс.-доктора.техн.наук. М., 1971.
22. Храпач Є. І. Теоретичне та експериментальне дослідження соломо-пресу для комбайна. - Автореф.дісс-канд.техн.наук. Харків, 1956, 15 с.
23. Некрашевич В. Ф. Експериментально-теоретичне дослідження робочого процесу преса-гранулятора трав'яного борошна. Авторф. дис.-канд.техн.наук. Ленінград-Пушкін, 1968, 25 с.
24. Алфьоров С. А. Дослідження процесу пресування соломи. Авторф.діс.-канд.техн.наук. М., 1955, 19 с.
25. Григор'єв А. А. Дослідження та дослідження нових способів пресування сіна в рулони. Авторф.діс.-канд.техн.наук. М., 1967, 24 с.

26. Пережогін М. А. Дослідження процесів брикетування грубих кормів. Автореф.діс.-канд.техн.наук. Челябінськ, 1963, 19 с.

27. Колотєв А. А. Дослідження енергоємності процесу пресування сіна у брикети. Автореф.діс.-канд.техн.наук. Алма-Ата, 1969, 22 с.

28. Шульга Г. Н. Дослідження та обґрунтування технологічного процесу та робочого органу плунжерного типу для пресування сіна в брикети. Авторф.діс.-канд.техн.наук. – Мінськ, 1974, 24 с.

29. Канафойський Ч. До питання вивчення явищ, що відбуваються під час молотьби більними барабанами. Праці Інституту сільськогосподарського машинобудування при Львівському політехнікумі у Дублянах, 1934 р.

30. Skalwe i t X. Krafte und Beans p ruchungen i n Stroh p ressen RKTD. Schr i ften Heftss, 138, S.30-35.

31. Butler J. L., Mc.Coll i p . F. Factors affect i ng the p ellet i ng of hay. Agricultural Engineering, 1959, v.40, № 8, p.442-448.

32. Особов В. І. Машина для брикетування сіна. "Трактори та сільгоспмашина", 1965 № 3, С.45-46.

33. Особов Ст І., Васильєв Г. К., Голяновський А, Ст, Машина та обладнання для ущільнення сіно-соломистих матеріалів. М.: Машинобудування, 1974.-231 с.

34. Особов В. І., Васильєв Г. К. Сінозбиральні машини та комплекси. Машинобудування, 1983.-304 с.

35. Кучинксас Х. М., Особов Ст І., Фрегер Ю. Л. Устаткування для сушіння, гранулювання та брикетування кормів - М.: Агропромиздат, 1988. - 208 с.

36. Biotruck 2000 Franz Yaimer GmbH. KID GmbH, Augsburg, 1996, 4 с.

37. Strohbricketierung eine Entwicklung mit Zukunft? - Практичні Landtechnik, 1983, 36, 10: 24 (332) - 26(334) (нім.) П 24936.

38. Семенюта А. Т., Колесников І. К. Гігієна годівлі великої рогатої худоби. М.: Россільгоспвидав, 1977.

39. Мельников С. В., Лещинскас А. П. До обґрунтування технології приготування брикетування кормів. Записки ЛСХІ, т.290, Ленінград-Пушкін, 1976.
40. Poor B, Herren K, Buchelle W. Fild wafering an evalution. Agricultural Engineering, 1968, sertember, P.114-118.
41. Giacomelli E. Cubattatura del foraggio o macchine Cubattatrice. Macch. e motory agricolie, 1971, 29, № 12, S.41-48.
42. Мальков В. Г. Інженерно-технологічні засади виробництва повнорационних кормів. Кормівництво. ВІК, збірник наукових праць, 1974 № 8.
43. Особов В. І., Голяновський А. В. Класифікація робочих органів для ущільнення сіносомистих матеріалів. Трактори та сільгоспмашини, 1971 № 11.
44. Фарбман Г. Я. Особливості процесів брикетування та гранулювання // Записки ЛСХІ, т.362, Л.: -Пушкін, 1978, С.74-76.
45. Лазебний А. Ф. До розрахунку косарки-плющилки // Трактори та сільгоспмашини. – 1961. – № 3, С.32-33.
46. Сімакін Ю. А. Дослідження процесу брикетування кормів зубчастим робочим органом. Авторф.діс.-канд.техн.наук. - Краснодар, 1978, 24 с.
47. Задорін Г. І. Дослідження закономірностей деформування сіносомистих матеріалів ударним впливом. Авторф. дис канд.техн.наук. – Мінськ, 1970, 24 с.
48. Васильєв Г. К. Дослідження процесу ущільнення сіно-сомистих матеріалів вібраційним додатком навантаження. Авторф. дис.-канд.техн.наук. - М., 1970, 24 с.
49. Киженцев Н. Н. Дослідження та обґрунтування оптимальних параметрів процесу вібраційного брикетування сіна. Авторф.діс.-канд.техн.наук. Мінськ, 1975, 24 с.
50. Демідов З. П. Теорія пружності: Підручник для вузів. –Вища школа, 1979. – 432 с.

51. Веденяпін Г.В. Загальна методика експериментальних досліджень та обробки дослідних даних. - М.: Колос, 1973. - 199 с.

52. Кассандро́ва О.М., Лебеде́в В.В. Обробка результатів вимірів. - М: Наука, 1970. - 104 с.

53. Брянський Л.М., Дойніков А.С. Короткий довідник метролога: Довідник. – М.: Видавництво стандартів, 1991. – 79 с. мул.