

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи
другого (магістерського) рівня вищої освіти
на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ
ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ
РОСЛИННИЦТВА**

Виконав: студент _____ Кокотяк Роман Вадимович

Керівник: _____ Сокол Сергій Петрович

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри тракторів і
сільськогосподарських машин

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

_____ (підпис)

_____ (прізвище, ініціали)

„_____” _____ 20__ р.

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

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____

керівник роботи _____

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “_____” _____ 20__ року

№ _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

5. Перелік демонстраційного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кокотяк Р.В. Удосконалення технологічної лінії для отримання біогазу з відходів рослинництва/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025. – 71 с.

В роботі представлено аналіз стану і перспектив розвитку біогазових установок як одного із напрямків використання відновлювальних джерел енергії, проведено аналіз сучасних технологій виробництва біогазу і розроблено конструкцію подрібнювача біомаси для біогазової установки. Проведено розрахунки і визначено основні параметри удосконаленого подрібнювача.

Розроблені заходи з охорони праці, які можуть бути використані при проведенні інструктажів для обслуговуючого персоналу і підвищать рівень безпеки працівників при виконанні технологічних операцій.

Економічний ефект від застосування розробок на практиці становить 84,0 грн./т. Завдяки покращенню конструкції подрібнювача рослинної маси, пропускна здатність і продуктивність лінії завантаження збільшується на 20%, що також позитивно впливає на якість роботи всієї біогазової установки.

Ключові слова: біомаса, технологія, біогазові установка, подрібнювач, параметри, режим роботи, охорона праці, економічний ефект.

З М І С Т

В С Т У П.	6
1. АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ	11
1.1 Стан і перспективи розвитку біогазових установок.	11
1.2 Характеристика біомаси і процесу отримання біогазу.	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ БІОГАЗОВОЇ ЛІНІЇ.	17
2.1 Фізико-хімічні передумови отримання біогазу.	17
2.2 Технології метанової ферментації.	19
2.3 Технологічні лінії та обладнання.	22
2.4 Обґрунтування вибору технологічної лінії отримання біогазу із відходів рослинництва.	32
3 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА.	34
3.1 Аналіз подрібнювачів біомаси.	34
3.2 Обґрунтування конструкції удосконаленого подрібнювача біомаси.	39
3.2.1 Енергетичний розрахунок подрібнювача.	39
3.2.2 Технологічні розрахунки подрібнювача.	42
3.2.3 Розрахунок ножа на міцність.	43
3.2.4 Розрахунок вала на міцність.	45
3.2.5 Розрахунок шпонкового з'єднання.	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.	51
4.1 Загальні положення по охороні праці.	51
4.2 Охорона праці при роботі на біогазових установках.	52
4.3 Розрахунок охоронного освітлення.	55
5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.	64
Д О Д А Т К И.	66

В С Т У П

Починаючи з кінця минулого століття перед суспільством все частіше і гостріше з'являються ознаки світової енергетичної кризи. Зростання цін на нафту і інші види традиційних енергоносіїв ставлять під загрозу динамічний розвиток навіть передових країн світу. Енергетичні проблеми, що стоять перед людством, є причинами багатьох воєн і міждержавних конфліктів, а способи їх подолання знаходяться в центрі уваги урядів країн, міжнародних організацій, включаючи ООН. Основним висновком в їх рішеннях є усвідомлення урядами і суспільством необхідності переходу на відновлювальні джерела енергії [1, 6, 7].

Збільшення частки відновлювальних джерел енергії в паливно-енергетичному балансі світу дозволяє покращити стан навколишнього середовища через зменшення забруднення води і повітря, кількості відходів виробництва і життєдіяльності людства в цілому. В країнах Євросоюзу частка відновлювальних джерел енергії в енергетичному балансі в 2020 році запланована близько 20%, в Україні – близько 12% (рис.1). Найбільш раціональними відновлювальними джерелами енергії є використання сонячного випромінення, енергії вітру, геотермальної енергії, а також використання біомаси – органічної речовини рослинного або тваринного походження. Зазвичай – це деревина, солома, лузга, качани кукурудзи, відходи лісової і деревопереробної промисловості, осад стічних вод, комунальні відходи, тваринний гній або послід.

Враховуючи розвиток аграрного сектору, Україна має найбільший серед країн Європи потенціал біомаси, доступної для виробництва енергії. За експертними оцінками теоретичний потенціал біомаси в Україні становить близько 50 млн. т.у.п. (умовного палива), технічно досяжний – 36 млн.т.у.п.,

економічно доцільний – 27 млн.т.у.п. З них на відходи рослинництва і тваринництва припадає до 15,5 млн.т.у.п., лісового господарства – 11,4 млн.т.у.п., а тверді і рідкі комунальні відходи – 3,1 млн.т.у.п. [1, 2, 4].

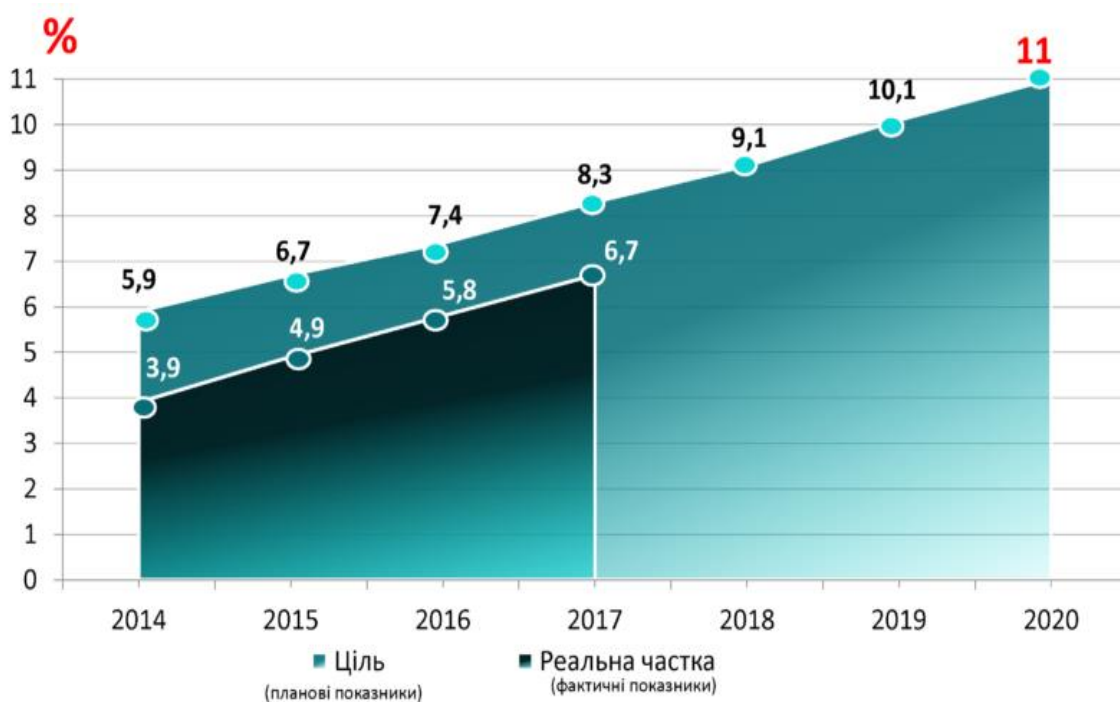


Рисунок 1 – Загальна частка «чистої» енергії в енергобалансі України
(Джерело: звіт Держенергоефективності)

В Україні перша біогазові установка (БГУ) була побудована в 1993 році на свинофермі «Запоріжстали». Наступними стали компанії «Агро-Овен», «Еліта», «Українська молочна компанія». Біогазова установка на комбінаті «Запоріжсталь» була впроваджена для очищення стоків та зменшення споживання енергії. Теплова утилізація біогазу реалізується на власні потреби свинокомплексу комбінату [2, 3].

На свинокомплексі корпорації «Агро-Овен» електроенергія, що виробляється у біогазовій установці, споживається на власні потреби установки та підприємства, при цьому когенераційна установка не підключена до загальної електромережі.

У вересні 2011 року почалося будівництво біогазової установки на базі свинокомплексу в селі Копанки Івано-Франківської області.

У 2012 році «Миронівський хлібопродукт» почав будувати біогазову установку на птахофабриці «Оріль-лідер» у Дніпропетровській області. Планує реалізувати амбітну біогазову програму з тридцяти БГУ компанія «Укрлендфармінг».

Агропромхолдинг «Астарта-Київ» у 2012 році почала будівництво установки на Глобинському цукровому заводі (Полтавська область) за рахунок кредиту ЄБРР. Таким чином, впровадження біогазових технологій залишається справою флагманів АПК, що мають власні ресурси для роботи в умовах слабого фінансового ринку і відсутності інвестицій.

Для покращення ситуації у квітні 2019 року було прийнято Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії». Він уможливує добровільну участь інвестиційних проектів електроенергетики з біомаси в аукціонах та передбачає відповідну державну підтримку через збереження аукціонної ціни на електроенергію строком на 20 років. Це дало певний позитивний результат і за даними Держенергоефективності (ДАЕЕ), сьогодні в Україні діє 49 установок, що виробляють енергію з біогазу та працюють за “зеленим” тарифом. Загальна встановлена потужність таких установок – 86 МВт, що майже у 5 разів більше, ніж наприкінці 2015 року (18 МВт). З них 59 МВт (21 установка) працюють на відходах сільського господарства, 27 МВт (28 установок) – на твердих побутових відходах. Протягом 2018 року було введено 12 МВт біогазових потужностей (12 установок), протягом 2019 року – 40 МВт (16 установок). При цьому, за даними НКРЕКП, упродовж 2019 року біогазовими установками вироблено 247 млн. кВт-год. електроенергії. Таким чином, темпи зростання біогазових потужностей в Україні в 2019 році майже в 3,5 рази перевищили показники 2018 року. Загальна кількість інвестицій у цей сектор протягом 2012-2019 років – 140 млн. євро [2, 3, 5].

Застосування біомаси як біопалива сприяє зменшенню техногенного навантаження на довкілля. За прогнозами фахівців у



Рисунок 2 – Кількість біогазових установок, що працюють за «зеленим» тарифом в Україні

найближчому майбутньому передбачається покриття до 10% потреб у енергоресурсах за рахунок біомаси, одержуваної в сільському господарстві. Відбувається поступове заміщення традиційних енергопродуктів відповідними аналогами рослинного походження. Сьогодні промислове виробництво біопалив в Україні стимулюють прийняті законодавчі акти. Цьому повинні відповідати нові технології і техніка, що одночасно покликані скорочувати шкідливі впливи антропогенного походження [2, 3, 4, 7].

З початком війни українська біогазова галузь зазнала значних викликів, таких як часткові пошкодження установок та падіння виробництва, що вплинуло на загальний обсяг біогазу. Однак, галузь продовжує розвиватися і має потенціал для збільшення потужностей, попри складні умови, що зумовлено попитом на альтернативні джерела енергії [8].

Вплив війни на біогазову галузь:

- *Пошкодження:* Деякі біогазові установки були пошкоджені внаслідок бойових дій.
- *Падіння виробництва:* Спостерігалось зниження обсягів виробництва біогазу, зокрема, навесні 2022 року воно впало на 20%.

- *Невизначеність*: Війна створила виклики для стабільної роботи та розвитку біогазового сектору, але також посилила потребу в незалежних джерелах енергії.
- *Технологічний потенціал*: Україна має значний потенціал у галузі біоенергетики, освоївши практично всі види сировини для виробництва біогазу та біометану.
- *Збільшення потужностей*: Станом на вересень 2024 року, в Україні працюють 83 біогазові установки загальною потужністю 140 МВт та два заводи з виробництва біометану.
- *Виробництво біометану*: Галузь розвивається в напрямку виробництва біометану, що відкриває нові можливості для використання, зокрема, через газотранспортну мережу.
- *Збільшення попиту*: Потреба в енергетичній незалежності стимулює розвиток біогазового сектору, оскільки він пропонує альтернативу імпортованому газу [8].

Метою дипломної роботи є удосконалення технологічної лінії для отримання біогазу з відходів рослинництва для збільшення продуктивності біогазової установки.

1 АНАЛІЗ СТАНУ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ

1.1 Стан і перспективи розвитку біогазових установок

Одним із шляхів доповнення і часткової заміни традиційних видів палива в сільській місцевості є використання біогазу. Важливим аргументом на користь даного джерела енергії є необхідність вирішення на сучасному рівні екологічних проблем, що виникають при утилізації відходів у сільському господарстві. Однією з основних тенденцій у розгортанні екологічно безпечного виробництва продукції рослинництва і тваринництва є розвиток комплексних технологій з використанням процесів метанового зброджування при утилізації біомаси, в результаті якого утворюється біогаз. Для виробництва біогазу придатними є різноманітні відходи агропромислового комплексу, які містять целюлозу та інший цукор. У сільськогосподарських та побутових відходах при певних умовах виникають біохімічні процеси, які називаються ферментацією. У результаті ферментації із сільськогосподарських відходів одержують не лише біогаз, але й концентровані органічні добрива, які є цінним продуктом для застосування в сучасних технологіях вирощування культур - системах органічного землеробства тощо.

Широке використання біогазу розпочалося на початку двадцятих років минулого століття після розробки технології безперервного виробництва біогазу з очисних комунальних стоків. Перша установка для отримання газу зі стоків була побудована неподалік від Гааги. Проте вона не забезпечувала переробки органічних відходів сільськогосподарської продукції, що містять більше целюлози. У 1942 році в Алжирі професори Дуцеллер та Ісманн запатентували установку для виробництва біогазу із гною з періодичною системою роботи, без засобів підігрівання сировини.

Енергетичні труднощі повоєнного періоду сприяли поширенню нової технології автономного енергозабезпечення. За короткий проміжок часу в Північній Африці, Італії та Франції було побудовано майже 1000 установок типу

Дуцеллер - Ісманн для ферментації твердого гною. Пізніше, в останній чверті ХХ століття, в багатьох країнах Європи відновились інтенсивні експериментальні пошуки ефективної технології метанової ферментації, що дає можливість виробництва біогазу з різної сировини сільськогосподарського походження. У результаті широкомасштабних досліджень було створено технологію безкисневої переробки сільськогосподарських відходів, відому сьогодні в усьому світі. Її реалізація у різних регіонах має свою специфіку. В Європі внаслідок низьких температур застосовують додаткове підігрівання для забезпечення необхідної температури метанової ферментації. У більшості випадків використовують комплексні системи, що виробляють з біогазу одночасно теплоту та електроенергію, проте їх недоліком є високі одиничні інвестиційні витрати. Виробництво біогазу з різних видів сільськогосподарських відходів, головним чином гною, є традиційною технологією в ряді країн, що розвиваються. В останні роки біогазові установки отримали розповсюдження і в промислово розвинутих країнах, особливо в Західній Європі, де приблизно 70% їх припадає на невеликі установки з ємністю реакторів від 100 до 300 м³, які утилізують в основному відходи тваринництва. Біля 90 більш великих промислових біогазових установок з робочим об'ємом реактора до 5000 м³ застосовуються для переробки стоків гною. Доцільність автономного енергозабезпечення ферм з власного джерела енергії та необхідність зменшення шкідливих викидів в оточуюче середовище роблять енергетичний біогазовий блок обов'язковим елементом сучасних тваринницьких комплексів.

Зараз загальна кількість промислових біогазових установок на території ЄС складає близько 750 одиниць, з них найбільше (500) знаходиться у Німеччині, в Австрії - 120, в Італії - 70, у Швейцарії - 59 і в Данії - 40. Сьогодні в Данії існує близько 20 великих централізованих об'єктів типу САО, що обслуговують господарства у радіусі 10-15 кілометрів. В Австрії функціонують 3 об'єкти такого типу, у Швеції - 8, в Італії - 5 і в Німеччині - 3. Великі САО-системи щорічно постачають з аграрних кооперативів по декілька сотень

тонн сільськогосподарських відходів. Перевагами централізованих систем є можливості використання передових технологій знезаражування та звільнення від великої кількості баластних речовин у сировині. Такі централізовані САО-системи мають ферментаційні камери місткістю до 10000 м³ в яких можна виробляти енергію у кількості від кількох сотень кВт до декількох МВт. Одним з недоліків централізованих систем є великі відстані, на які необхідно перевозити субстрати. Слід зазначити, що розмір інвестицій не обумовлює кількості установок, а їх число - обсягів виробленого біогазу. Наприклад, Італія, яка має 70 біогазових установок, виробляє у 6 разів менше біогазу, ніж Данія, де переважають великі централізовані САО-системи.

Ферментація у невеликих камерах, без додаткового підігріву системи, де сировиною можуть бути гноївка та комунальні відходи, можлива в країнах з високою середньою температурою навколишнього середовища та іншими, ніж у розвинених країнах, структурами сільського господарства. Ферментаційні камери місткістю 4 - 12 м³, що обслуговують одне або декілька господарств, найбільш популярні у країнах Африки та Азії. Біогаз, який виробляється в малих системах, задовольняє енергетичні потреби господарств, служить для

Таблиця 1.1 – Стан виробництва біогазу в Україні, 2007 р. [4]

Вид біогазу	Теоретичний потенціал, млн. т у.п.	Коефіцієнт технічної доступності	Технічний потенціал, млн. т у.п.	Коефіцієнт енергетичного використання	Економічний потенціал, млн. т у.п.
Біогаз з відходів тваринництва	3,27	0,7	2,45	0,3	0,76
Біогаз з твердих побутових відходів	0,77	0,6	0,46	0,6	0,26
Біогаз з осадів станцій аерації	0,21	0,6	0,13	0,7	0,09
Біогаз з кукурудзи як енергетичної культури	1,59	0,7	0,11	1,0	1,11
ВСЬОГО	5,84		4,15		2,22

приготування їжі та освітлення приміщень. Найбільша кількість таких установок (8 мільйонів ферментаційних камер) знаходиться в Китаї.

Зараз в Україні працюють три крупні біогазові установки та понад десяти знаходяться в стадії проектування або спорудження (табл.1.1).

1.2 Характеристика біомаси і процесу отримання біогазу

Біогаз, придатний для енергетичних цілей, виникає в процесі безкисневої ферментації біомаси (рис. 1.1):

- тваринних відходів і рослинного силосу (залишків рослинного походження) в сільськогосподарських біогазових установках;
- осаду стічних вод в очисних спорудах;
- органічних відходів на комунальних звалищах сміття.

Безкиснева ферментація – це складний біохімічний процес, що відбувається в анаеробних умовах. При цьому бактерії розкладають органічні



Рисунок 1.1 – Можливості отримання і використання біогазу [4]

речовини на прості сполуки, основними з яких є метан і диоксид вуглецю. В процесі без кисневої ферментації до 60% органічної речовини перетворюється на біогаз. Біогаз складається, основним чином, з метану (CH_4) – 55-70%, CO_2 – 32-37%, NO_2 – 0,2-0,4% та $6 \text{ г}/100 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{S}$ перед процесом очищення від сірки

і менше 0,01 г/100 м³ Н₂S після нього [4, 9]. Швидкість розкладу біомаси залежить від характеристик і маси сировини, температури та оптимально обраного часу тривалості процесу. Оптимальна температура ферментації становить близько 30-35⁰С для мезофільних бактерій і 50-60⁰С – для

Таблиця 1.2 - Енергетичний потенціал біомаси в Україні (2015 та 2050 рр.) [3]

В и д б і о м а с и	Теоретичний по- тенціал, млн. т		Частка, доступна для енергетики, %		Потенціал, доступ-ний для енергетики, млн. т н.е.	
	2015	2050	2015	2050	2015	2050
Солома зернових культур	35,14	52,7	30	30	3,65	5,48
Солома ріпаку	3,1	4,7	40	40	0,43	0,65
Побічні продукти вироб- ництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	30,3	45,5	40	40	2,32	3,48
Побічні продукти вироб- ництва сояшнику (стебла корзинки)	21,2	21,2	40	40	1,22	1,22
Вторинні відходи с/г (лушпиння сояшнику)	1,90	1,90	74	74	0,50	0,50
Деревна біомаса (дрова, порубкові залишки, відходи деревообробки)	6,0	9,0	94	94	1,39	2,08
Деревна біомаса (сухостій деревина з лісосмуг, обрізки)	8,8	8,8	41	41	1,03	1,03
Біодизель (з ріпаку)	-	-	-	-	0,19	0,19
Біоетанол (з кукурудзи і цукрового буряку)	-	-	-	-	0,54	0,54
Біогаз із відходів та побіч-но продукції АПК	1,6 ^x	11,2 ^x	50	100	0,68	2,38
Біогаз із органічної частини твердих побутових відходів (ТПВ)	0,6 ^x	5,8 ^x	34	100	0,18	0,60
Біогаз із стічних вод (про- мислових і комунальних)	1,0 ^x	9,0 ^x	23	100	0,19	0,39
Енергетичні культури:						
-верба, тополя, міскантус (1,5 млн.га у 2015 р., 3 млн.га у 2050 р.)	17,25	51,8	90	90	6,58	19,74
-кукурудза на біогаз (0,5 млн.га у 2015 р., 1 млн.га у 2050 р.)	1,67 ^x	6,68 ^x	90	90	1,29	5,15
ВСЬОГО	-	-	-	-	20,19	43,42
Примітка: ^x – млрд. м ³ СН ₄ ; н.е. – нафтовий еквівалент						

термофільних. Для отримання таких температур у ферментаційних камерах використовують 20-50% від отриманого біогазу [4].

Україна належить до країн з високим біоенергетичним потенціалом [6]. За оцінкою Біоенергетичної асоціації України, станом на 2015 рік потенціал енергії з біомаси складав 20,2 млн. т н.е. (табл. 1.2). А виробництво і енергетичне використання сільськогосподарського біогазу – це один з найвигідніших методів отримання відновлювальної енергії, потенціал якої в Україні використовується не в повній мірі. Тому розробка, удосконалення і використання сільськогосподарських біогазових установок, що базуються на процесі метанової ферментизації, вкрай необхідні і вирішують ряд проблем:

- використання отриманого біогазу для задоволення енергетичних потреб при опаленні та виробництві електроенергії;
- виробництво мінерально-органічного біогною з шламу після ферментації;
- зниження екологічного навантаження на навколтшне середовище від виробництва тваринницької продукції;
- вирішення проблеми складування відходів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ БІОГАЗОВОЇ ЛІНІЇ

2.1 Фізико-хімічні передумови отримання біогазу

Розрізняють шість видів ферментації біомаси, що проходять одночасно або послідовно:

- амонієва;
- азотна;
- вивільняюча азот, якій підлягають азотні складові сировини;
- окислювальна;
- кислотна;
- метанова, якій піддаються вуглеводні із сировини, зокрема целюлоза.

Особливої уваги заслуговує метанова ферментація, що вивільнює горючий газ - метан, а також амонієва, продуктом якої є аміак у вигляді розчинних амонієвих солей.

Сільськогосподарські біогазові установки, що базуються на процесі метанової ферментації, знайшли широке застосування у всьому світі як для біологічного знешкодження органічних відходів, так і для виробництва енергії з біомаси.

Таким прикладом може бути технологічна схема біогазової установки «NaWaRo» (Nachwachsende Rohstoffe), що розповсюджена у Німеччині і розрахована на силос з рослин (кукурудзи, трав, буряків і т.п.), але в залежності від конкретних умов господарства, можуть використовуватися і інші субстрати. Така біогазові установка складається із ферментаційної та пост ферментаційної камери і когенераційного модулю. Після закінчення процесу ферментації залишки суспензії, яка була ферментована, є натуральним гноєм і можуть бути використані як ефективно екологічно чисте добриво, що дозволяє зменшити витрати мінеральних добрив в сільському господарстві.

Субстрати для біогазової установки, що пройшли процеси подрібнення та гомогенізації і були зібрані заздалегідь у накопичувальних сховищах, стають носієм енергії у вигляді біометану, виробленого у процесі мезофільної ферментації при температурі 37 °С, проведеної у ферментаційній камері. Першим етапом виробництва біометану є гідроліз: білки = амінокислоти → полісахариди → прості сахариди → жири → багатоатомні спирти і жирні кислоти. У процесі кислото утворення ацидогенний факультативний вид бактерій, який домінує у субстраті, перетворює розчинені у воді хімічні речовини у продукти гідролізу: головним чином, це коротко ланцюгові органічні кислоти (76%) – летючі жирні кислоти (мурашина, оцтова, пропіонова, масляна, валеріанова, капронова), спирти (метанол, етанол), альдегіди і гази CO₂ і H₂. Наступним етапом продукції біогазу є перетворення етанолу та летючих жирних кислот ацетогенними бактеріями до ацетатів, CO₂ і H₂, що називається ацетогенною або ацетатоутворюючою фазою. На третьому етапі за допомогою аутотрофних і гетеротрофних метаногенних бактерій з оцтової кислоти (майже 70%), H₂ і CO₂, а також мурашиної кислоти, метанолу, метиламіну, двом етилового сульфїду утворюється метан.

Для забезпечення максимальної ефективності процесу утворення біогазу у ферментаційній камері повинні підтримуватися відповідні біологічні умови. Параметри цих процесів залежать від пропорцій і концентрацій складових біомаси. Вони підбираються на основі фізико-хімічного аналізу та попереднього моделювання процесу в лабораторних умовах (табл. 2.1). Підтримання відповідної концентрації субстрату забезпечують механічні мішалки, які, крім того, унеможливають накопичення в проблемних зонах твердих органічних залишків.

Важливою умовою забезпечення регулярного протікання біохімічних процесів в біогазогенераторі є слаболужна реакція бродильного середовища, при цьому задовільним вважають рН на рівні 6-8 (оптимальне значення знаходиться в межах 7-7,5 рН). Надто лужна реакція сприяє ферментації через патогенне гниття, але викликає небажане виділення сірководню. У надто

кислому середовищі (при ферментації побутових відходів, виділень свиней) метанове бродіння може спинитись з блокуванням виділення біогазу.

Таблиця 2.1 – Продуктивність і час ферментації зеленої маси [4]

Сировина	Віддача біогазу, м ³ /кг	Термін ферментації, дні
Солома	0,367	78
Бадилля буряків	0,501	14
Гичка картоплі	0,606	53
Кукурудзяне стебло	0,514	52
Конюшина	0,445	28
Трава	0,557	25

Постферментаційний осад транспортується до постферментаційної камери, в якій відбувається процес завершення ферментації і дегазації осаду. Потім цей осад використовується як гній. Вироблений біометан після усунення сірководню, направляється до когенераційного модуля, тобто газового двигуна, в якому хімічна енергія біогазу піддається конверсії на електро- або теплову енергію.

2.2 Технології метанової ферментації

У сучасному біогазовому виробництві використовують три основні технології метанової ферментації: безперервну, змінну та періодичну.

Безперервна ферментація полягає у постійному або з короткими перервами в часі надходженні сировини (органічних відходів, виділень тварин тощо) до реактора. Одночасно з подачею свіжої гноївки відбувається відток маси, що перебродила. Сировина, що піддається ферментації, повинна мати рідку або напіврідку консистенцію. Найкраще для цього підходить гноївка великої рогатої худоби або свиней. Ця технологія потребує найменших ферментаційних камер і реалізує процес безперервного виробництва біогазу.

Ферментаційні резервуари можуть встановлюватись горизонтально або вертикально, різними можуть бути способи перемішування (механічною мішалкою, перекачуванням сировини, вдуванням біогазу тощо) маси, а також способи введення та виведення сировини. Технологія з безперервною ферментацією належить до найбільш технічно відпрацьованих.

Змінна ферментація потребує побудови щонайменше двох ферментаційних резервуарів, які по черзі заповнюються сировиною. Через певний час (від 8 тижнів до декількох місяців) звільняють перший завантажений резервуар, залишивши в ньому невелику кількість шламу для прищеплювання бактерій при наступному завантаженні. Виробництво біогазу при використанні цієї технології є циклічним. Чим більше резервуарів, тим коротші перерви між циклами виробництва газу з різних місткостей.

Періодична ферментація відбувається за подібним до змінної ферментації процесом, але з використанням одного ферментаційного резервуару, який періодично заповнюють і після закінчення ферментації звільняють. Ця технологія застосовується за наявності густої сировини, такої як гній. Ферментаційний резервуар являє собою ще і склад гною, який звільняється під час його вивозу на поле. Часто ставляться вимоги, щоб період перебування гною у ферментаційному резервуарі був не меншим за 6 місяців. За таких вимог і такої технології виробництво газу можливе лише двічі на рік і є найнижчим у порівнянні з іншими технологіями.

Результати, досягнуті в розвитку технічного забезпечення сільської місцевості з використанням біогазових установок, це лише невеликий крок в напрямку вирішення загальної комплексної проблеми. Технології переробки органіки з використанням біомаси рослинного походження в біогазових установках набувають поширення у зв'язку зі скороченням поголів'я великої рогатої худоби та зростанням вартості традиційних енергоносіїв. Проте технічне забезпечення в Україні цих технологій не відповідає сучасним вимогам і потребує відповідної розробки. Важливою умовою розвитку біогазових технологій на сучасному етапі є підвищення ефективності технічних засобів для

виробництва біогазу з мінімально можливими викидами шкідливих газів в навколишнє середовище.

Вироблено та реалізовано концепцію технічного і технологічного вирішення проблеми сумісного використання органічних добрив та рослинної біомаси в біогазових реакторах. Технологічний процес розпочинається в первинній місткості, де рідкі та тверді органічні добрива перемішуються до однорідної маси і подаються в реактор за допомогою помпи. Якщо суміш достатньо рідка, то від первинної місткості можна відмовитись, подаючи сировину безпосередньо в реактор. Це стає можливим при застосуванні суміші із сінажу кормових буряків. Бродіння проходить в реакторі, в якому підтримується постійна температура 35-45°C. У цьому температурному режимі бактерії працюють найефективніше. З реактора суміш самоплином перетікає в місткість -сховище, де завершується бродіння. Так відбувається технологічний процес роботи біогазової установки сховищно-поточного типу.

Під час бродіння в реакторі до бродильної суміші постійно додається свіжа суміш, яка і витісняє перероблену в іншу місткість. За допомогою механічних змішувачів процес бродіння в реакторі розподіляється рівномірно за об'ємом. Бродильна суміш залишається в реакторі стільки часу, скільки це біологічно необхідно для розкладання органічних речовин бактеріями. При оптимальних умовах і температурі в реакторі 35-45 °C органічні речовини розкладаються на 90-95% за 35-45 діб. Особливу увагу необхідно звертати на однорідність бродильної суміші. У реакторі бактерії повинні бути постійно забезпечені органічними речовинами. Це потребує постійної подачі однорідної органічної суміші в реактор. Біогаз має в своєму складі незначну кількість сірки, яка впливає на довговічність агрегатів біогазової установки. Для виділення сірки з біогазу на поверхню бродильної суміші в реактор за допомогою невеликого компресору задувається свіже повітря. Це приводить до того, що спеціальні мікроорганізми перетворюють газоподібну сірку в тверду, яка стає цінною складовою органічних добрив.

Технологія вирощування рослинної маси обумовлює ефективність процесу зброджування. Вміст сирової фази в біомасі визначає час перебування субстрату в реакторі. А вміст сирової фази залежить від ступеню розвитку рослин. Тому, щоб забезпечити максимальний вихід метану з газу, потрібно оптимізувати час скошування. Пізнє збирання дає високий вихід біомаси з гектару, а раннє — низький. Тому можливий питомий вихід метану з біомаси на гектар площі вирощеної біомаси може коливатись у значних межах.

Оскільки в суміші, якою є сировина для зброджування в біогазовому реакторі, важливим компонентом є гній, необхідно визначити його ефективність при утворенні біогазу. Одна голова ВРХ виробляє щорічно близько 1,5 т сировини в формі органічних добрив, з яких вихід метану становить в середньому 355 м³, а вихід метану з гектару рослин на енергетичні потреби відповідає виходу метану від 8-18 голів ВРХ. Ці розрахунки не визначають переробку органічних добрив як менш ефективну. Доцільно використовувати обидва субстрати, які при об'єднанні створюють субстрат з поліпшеними якостями. Зокрема, підвищується якість органічних добрив, що одержують в процесі утилізації відходів тваринництва і рослинництва.

Всі побудовані на даний момент біогазові установки, як господарські, так і промислові, відрізняються великим різноманіттям специфічних виробничих, технологічних та технічних рішень.

2.3 Технологічні лінії та обладнання

Технічних варіантів реалізації метаногенеза біомаси достатньо багато, починаючи з конструктивно простих, непрофесійно виготовлених установок і закінчуючи технологічно досконалими установками довгочасної безперервної дії з використанням прогресивних і автоматизованих систем .

На рис. 2.1 наведено схеми чотирьох основних типів біогазових реакторів:

- *Господарський метантенк* (рис. 2.1, а) - найбільш проста установка, яка складається із двох металевих місткостей, верхня з яких служить газгольдером, а у нижню періодично завантажують гній для зброджування з добавкою

культури анаеробних бактерій з діючого біогазового генератора. Біогаз із газгольдера трубопроводом подається в будівлю і використовується за необхідністю.

- *Індійський метантенк* (рис. 2.1, б). Гній розміщується в нагромаджувачі, де він відокремлюється від соломи, яка не зброджується, та інших включень. Далі потік маси помалу проходить крізь заглиблену в ґрунт ємність з цегли, цикл бродіння в якій складає від 14 до 30 діб, у прийомний бак для відпрацьованої маси, що використовується як добриво. Тиск газу біля 10 см водяного стовпа створюється за допомогою важкого металевого газгольдера, який є найбільш дорогою частиною установки. Газгольдер періодично (приблизно раз на 6 місяців) піднімають, щоб вичистити ємність від нагромаджених у верхній частині шлаків.

Щоденна перевірка стану трубопроводів і регулярна профілактика установки обов'язкові. Недостатньо якісне обслуговування — основна причина можливого виходу метантенка з ладу. В Індії роботи із впровадження в сільський побут метантенків почалися в 1939 році, сьогодні там діють біля 100 000 подібних установок.

- *Китайський метантенк* (рис. 2.1, в). Представлена схема системи рекомендована для масового використання в КНР як для окремих господарств, так і для сільських общин. Головна особливість проекту — стаціонарний корпус з бетону, який значно дешевший за систему з важким плавучим металевим газгольдером. У міру виділення газу його об'єм збільшується, за рахунок відповідного росту тиску потік маси, призначеної для бродіння, припиняється. Цим досягається регулювання робочої системи.

- *Промислова установка для переробки відходів тваринницьких ферм* (рис. 2.1, г). Показано спрощену схему автоматизованої установки, в якій процес зброджування проходить при підігріванні до температури 35°C. Схема типової промислової установки для виробництва та використання біогазу, незалежно від способу проведення ферментації, включає наступне технічне обладнання:

резервуари та обладнання для збирання і підготовки сировини; камери ферментації з обігрівальними пристроями; резервуари для біогазу та газіві

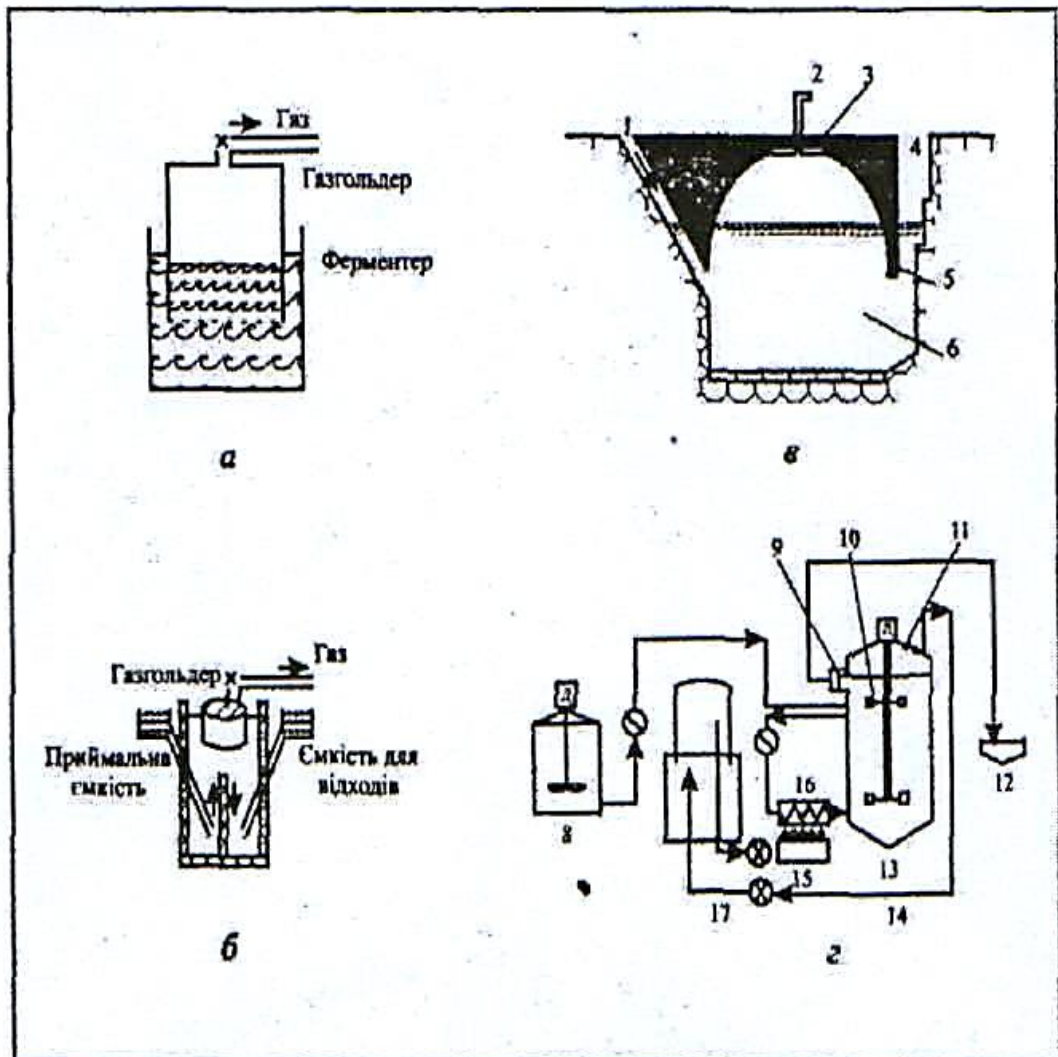


Рисунок 2.1 - Різновиди біогазових генераторів: а - господарський; б - індійський; в - китайський; г - промислова установка;
 1 - введення біомаси; 2 - газовий відвід; 3 - кришка, що знімається;
 4 - виведення переробленого матеріалу; 5 - роздільна стінка; 6 - ферментатор; 7- газ; 8 - приймач; 9 - клапан; 10 - мішалка; 11 - скло;
 12 - ємність для продуктів переробки; 13 - газогенератор; 14 – подача газу; 15 - пальник; 16 - теплообмінник; 17- водяний газгольдер

установки разом з обладнанням для очистки та обліку кількості виробленого газу; резервуари для утилізації та зберігання маси, що перебродила. Підготовка сировини (матеріалу, що завантажується) вимагає виконання певних вимог. Умовою застосування органічного матеріалу в процесі ферментації є відсутність в ньому токсичних сполук, а також відповідне подрібнення

матеріалу що може дозволити збільшити продуктивність виробництва біогазу навіть до 20%. Використання гомогенного біоматеріалу істотно сприяє ефективному протіканню процесу ферментації. Небажаними компонентами процесу є інгібітори, які важко розпадаються біологічним шляхом, такі як дезинфікуючі засоби, детергенти антибіотики та пестициди, що використовуються у сільському господарстві.

Рекомендується уникати завантажувати матеріал, що потребує сортування (наприклад шматки деревини, включення соломи, кісток, скла, пластику, металу, піску). У господарствах, які завантажують неоднорідний матеріал, обов'язково використовується ручне або ж механічне сортування, наприклад за допомогою решіток, сит, подрібнювачів матеріалу. У випадку ферментації пташиного посліду виникає необхідність видалення піску. Матеріал для завантаження, такий як гній, можна видаляти з ферми вручну або механізованим методом (за допомогою механічного чи гідравлічного транспортерів). У випадку безпідстилкового утримання корів у корівнику гноївка може сплавлятися безпосередньо у резервуар для сировини за допомогою відвідних каналів.

При збільшенні поголів'я тварин у господарстві зростає й ступінь складності системи очищення їх виділень. На фермах промислового свинарства переважає безпідстилкова система утримання тварин, у цьому випадку видалення гноївки проводиться гідравлічним або механічним шляхом. Резервуар для сировини служить для змішування та зберігання різних відходів (таких як гноївка та господарські відходи), звідки складові компоненти циклічно подаються до камери ферментації.

У випадку застосування великих установок для змішаної ферментації, де використовуються два види матеріалу, встановлюються два резервуари: один для сільськогосподарських відходів, інший - для відходів переробної промисловості, а далі ці два види відходів змішуються. Конструкція резервуару для сировини повинна не допускати її проникнення у ґрунт. З цієї причини необхідно запобігати його затопленню, а також інфільтрації та

ексфільтрації.

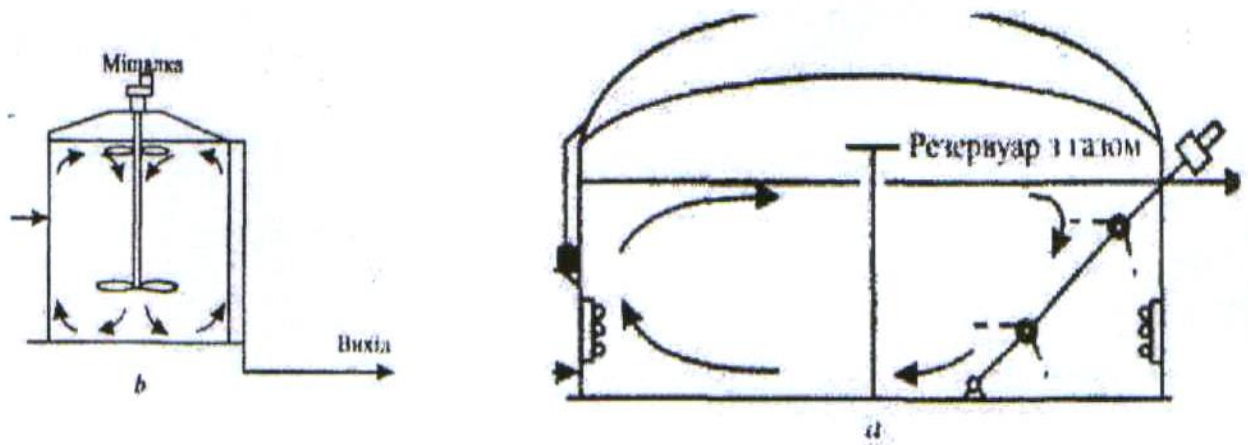


Рисунок 2.2 – Системи підтримки температури процесу ферментації

Біогазовий реактор, в якому відбувається метанова ферментація, являє собою основний елемент біогазової установки будь-якого технологічного рівня. Із резервуару для сировини перемішаний матеріал спрямовують до камери ферментації, де починається процес виробництва біогазу. Ферментаційна камера (біореактор) - це герметичний теплоізолюваний резервуар, оснащений обладнанням для подачі нових порцій сировини, відведення біогазу і біошламу та механізмами для підтримки однорідності матеріалу в камері (пристосування для перемішування маси та розбивання плівки), а також системами підтримання необхідної температури процесу ферментації (рис. 2.2).

Форма ферментаційної камери по можливості повинна сприяти незначним втратам тепла, належному протіканню ферментаційних процесів, простоті обслуговування, невеликим інвестиційним витратам. Теоретично ця форма має наближатись до кулі, проте на практиці частіше за все ферментаційні камери являють собою закриті резервуари, заглиблені в ґрунт або розміщені поверхнево, квадратні або круглі у перерізі.

Циліндрична форма є найбільш поширеною в промисловому варіанті будівництві метантенків.

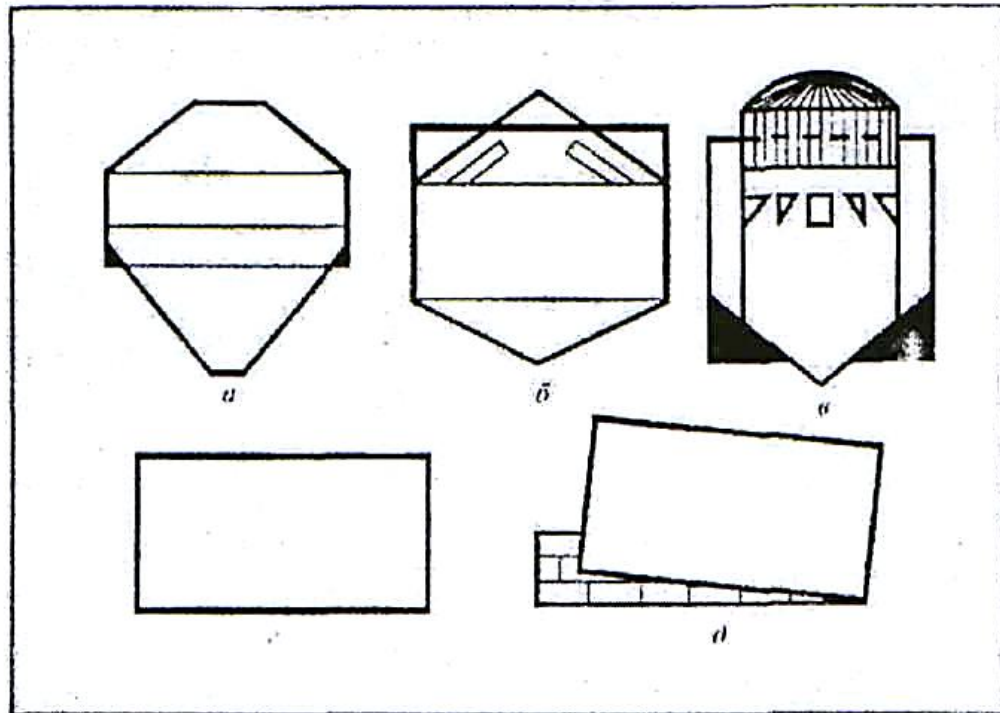


Рисунок 2.3 - Форми камер метанової ферментації: а - з постійним незаглибленим перекриттям; б - з постійним заглибленим перекриттям; в - з плаваючим перекриттям; г - горизонтальна, д - нахилена

Стандартна місткість біореакторів, виготовлених як готові пересувні резервуари, коливається від 50 до 150 м³. Ємність резервуарів, розрахованих на обсяг щорічної переробки близько 10 тис. м³, складає 0,5 - 1,5 тис. м³. Найбільші резервуари мають місткість до 5 тис. м³ і призначені для щорічної переробки до 100 тис. м³ відходів. Встановлено, що з 1 м³ місткості ферментаційної камери отримують в середньому 0,8 м³ біогазу.

Свіжий матеріал поступає у верхню частину камери, а відводиться з нижньої частини (над дном камери). У закритих камерах при відведенні перебродженого біошламу може статися зниження тиску, внаслідок чого всередину резервуару потрапляє повітря, утворюючи вибухонебезпечну суміш (з повітря та метану). Тому камери обладнують відповідними запобіжниками. Камери із постійним перекриттям (рис. 2.3, а, б) не потребують

такого захисту, оскільки щілини в ньому дають рідині можливість витікати вище перекриття, що врівноважує тиск всередині камери. Камери із плаваючим перекриттям (рухомим) мають конусне дно та циліндричну частину, де розміщене плаваюче перекриття, здебільшого сталєне. Плаваюче перекриття (рис. 2.3, в) виконує роль резервуара для біогазу (газгольдеру) або частково його замінює. Циліндричні камери (рис. 2.3, г, д) можна встановлювати вертикально або майже горизонтально. У другому випадку резервуар дещо нахилиють, що поліпшує переміщення осаду.

Наземні або підземні камери метанової ферментації (вертикальні, горизонтальні) виготовляються зі сталі, виливного бетону або монтуються з бетонних блоків невеликого розміру. На вибір матеріалу впливають його вартість, а також розрахункова величина внутрішнього тиску. Використовують і камери зі штучного матеріалу, однак вони дорожчі й не знаходять широкого використання. Зі штучного матеріалу або нержавіючої сталі виготовляється вся арматура та всі трубопроводи установки.

Процес ферментації протікає завдяки колоніям бактерій, які потребують безкисневого середовища, певної та постійної температури (35 або 55 °C), а також певного часу знаходження сировини в резервуарі. Для забезпечення протікання процесу ферментації у відповідності до технології необхідно постійно перемішувати сировину, враховуючи те, що:

- в усій місткості реактору повинна бути постійна та вирівняна температура і доступ бактерій до поживних речовин;
- бульбашки газу повинні мати можливість вільно підніматися на поверхню, завдяки чому процес накопичення біогазу стає більш ефективним;
- перемішування попереджає виникнення плівки на поверхні біомаси.

Перемішування виконується механічними мішалками або ж шляхом нагнітання (під тиском) біогазу в резервуар, що викликає виникнення бульбашок, які перемішують матеріал камери.

Оптимальна температура для мезофільної ферментації біомаси складає близько 35°C. Цю температуру неможливо отримати навіть влітку, тому всі біо-

газові установки, як правило, мають обігрівальні пристрої. Найчастіше застосовуються водяні нагрівачі, а іноді - теплообмінники. З метою підтримання відповідної температури всередині камери сировину перед завантаженням підігрівають шляхом розбавлення гарячою водою або ж в теплообмінниках. Джерелом теплової енергії є частина (25 - 35%) виробленого біогазу, інша частина, що залишилась, використовується для виробництва електроенергії або теплопостачання господарських приміщень. Витрати тепла для підтримання процесу ферментації залежать від ефективності метанової ферментації, а також конструкційного вирішення ферментаційного резервуару (теплова ізоляція). Для підігрівання води замість виробленого біогазу іноді використовують електричну енергію, отримуючи її з мережі або від вітрової електростанції. Виділяють декілька видів теплообмінників:

- Однотрубні теплообмінники, які складаються з труб, встановлених всередині камери, через які проходить гаряча вода.
- Зовнішні протиструменеві обмінники типу труба в трубі, де матеріал, що завантажується, протікаючи внутрішньою трубою, приймає тепло від гарячої води, яка протікає у зворотному напрямку по зовнішнім трубам.
- Внутрішні обмінники (у формі циліндрів або спіралей, розміщених в центральній частині камери ферментаційного резервуару), причому, незалежно від типу обмінника, температура води, яка протікає в них, не повинна перевищувати 80°C, що зберігає біологічний процес ферментації.

У біогазовій установці газ, призначений для виробництва електричної енергії, необхідно відділити від баластних речовин, таких як вода та сірководень (допустимий вміст H_2O 1000 - 2000 мг/м³). Для осушення біогазу використовують конденсуючий або адсорбуючий методи. Необхідність видалення сірководню виникає у зв'язку з його сильними корозійними властивостями, особливо при використанні біогазу для живлення газових двигунів. Сірководень звичайно видаляють шляхом біологічного окислення, додаючи 2-8% повітря до необробленого біогазу.

У деяких випадках виникає необхідність видалення двоокису вуглеводу фізико-хімічним шляхом, проте це необхідне лише тоді, коли до біогазу висуваються вимоги підвищеної якості.

Біогаз, утворений у ферментаційній камері, як більш легкий накопичується над масою, що ферментується, звідки трубопроводами відводиться у газовий резервуар. Накопичення біогазу в резервуарах забезпечує його рівномірну подачу споживачам в окремі години і навіть дні. Будують резервуари низького або високого тиску. Ємність резервуарів буває дуже різною і залежить від добового виробництва біогазу та його витрат. Проте вона не повинна бути меншою за максимальне добове виробництво газу. Проектний період зберігання біогазу становить декілька тижнів. Звичайно застосовують два види резервуарів:

- мокрі, призначені для зберігання біогазу при низькому тиску (до 500 мм водяного стовпа), які створюються верхнім пересувним перекриттям (куполом) ферментаційної камери сумісно з нею, змінної ємності в залежності від об'єму та тиску виробленого біогазу;
- сухі, високого тиску - окремі резервуари, переважно сталі, кулеподібні або циліндричні.

Резервуари для біогазу повинні бути обладнані наступними елементами:

- манометрами;
- механізмом перекривання полум'я, який запобігає його проникненню за межі установки;
- пристроєм, що служить для спалювання надлишку біогазу у випадку аварії установок, що його використовують.

Витрати на резервуари для біогазу складають суттєву частину загальних витрат. Тому на практиці не будують надто великих місткостей, а у випадку необхідності надлишок виробленого біогазу випускають в атмосферу. Тиск газу в резервуарах повинен підтримуватися на такому самому рівні, як у міській газовій мережі. З метою зменшення об'єму резервуару та створення можливості збереження великої кількості біогазу іноді будують сталі

резервуари високого тиску, де тиск газу досягає 20 кПа (при більш високому тиску відбувається зрідження). Проте ці резервуари дорогі й до того ж потребують спеціальних компресорів.

Біогаз, утворений у ферментаційній камері, містить значну кількість водяної пари і, як правило, сполук сірки. Для того, щоб відділити небажані компоненти, у нижній частині газопроводу встановлюють дегідруючий резервуар, окрім цього, газ пропускається через так звані десульфатори. Біогаз, проходячи у десульфаторах через дернову руду, очищується від сіркових сполук. Дернову руду необхідно періодично замінювати.

Виробництво електроенергії відбувається у комбінованих системах для виробництва електричної енергії та теплоти або ж у газових генераторах електричного струму. Вода, яка використовується для охолодження генератора, може спрямовуватися в теплообмінник і служити джерелом енергії для підігріву матеріалу, що завантажується. Електрична енергія, котра виробляється у комбінованих системах або ж в генераторах електричного струму, може використовуватися на власні господарські потреби або продаватися в енергетичну мережу. Один кубічний метр біогазу дозволяє виробляти:

- 2 кВт.год. електричної енергії (при коефіцієнті корисної дії системи 30%);
- 5 кВт.год. теплової енергії (при коефіцієнті корисної дії системи 70%);
- у комбінованих системах виробництва електричної енергії та теплоти: 2 кВт.год електричної енергії та 6,3 кВт.год теплової.

Зараз у світі існує ряд технічних рішень та установок, що дають можливість професійно проводити метанову ферментацію (виробництво біогазу) із виділень тварин.

Іншим способом виробництва біогазу з гною є метод Дуцеллера - Ісмана. У цьому методі установка для виробництва біогазу (рис. 2.4) складається з двох резервуарів (5) для збирання біогазу, чотирьох ферментаційних камер (2), теплообмінника (3) та насоса (4). Перед завантаженням у ферментаційні камери (2) гній складається і зберігається у сховищі (1), що знаходиться на

відкритому повітрі. Час складування гною складає від 14 до 50 днів. Завантаження гною у ферментаційні камери відбувається періодично. У цій технології використовується безпосереднє підігрівання, яке полягає у безперервному плинні рідкої фракції виділень через обмінник тепла (3), де вона підігрівається і звідти насосом (4) знову нагнітається у ферментаційні камери (2). Для підігрівання гноївки використовується вироблений біогаз. У цій установці можна виробляти з 1 тони гною великої рогатої худоби 20 м³ біогазу.

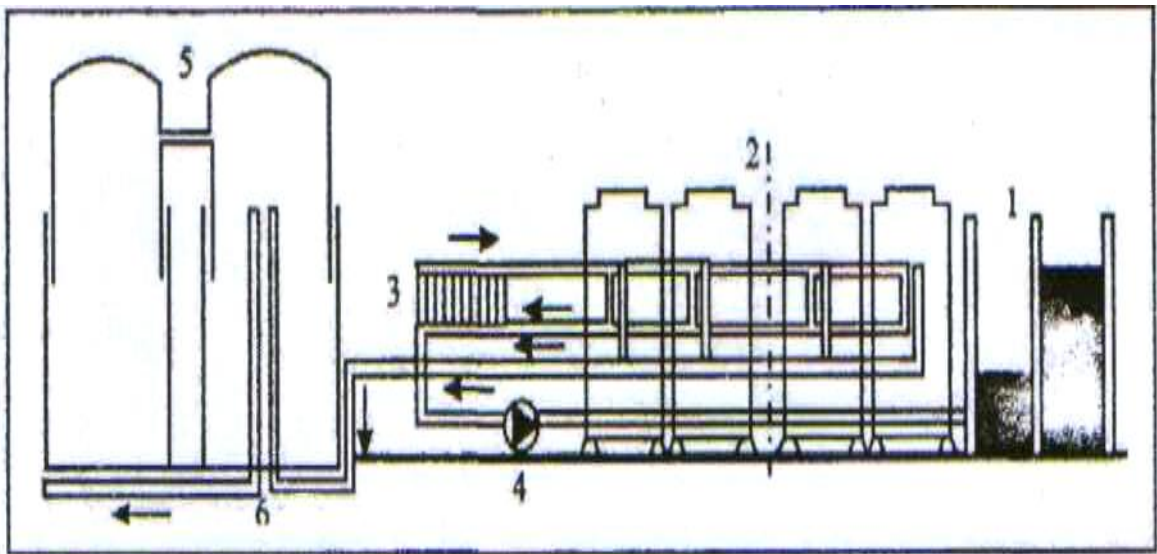


Рисунок 2.4 - Схема установки для виробництва біогазу методом Дуцеллера - Ісмана: 1 - гній; 2 - ферментаційна камера; 3 - пристрій для підігрівання; 4 -насос; 5 -резервуар для біогазу; б - відведення біогазу

2.4 Обґрунтування вибору технологічної лінії отримання біогазу із відходів рослинництва

Технологічна схема такої лінії передбачає, що з ферми гній по стічній доріжці подається на змішувач. Якщо в зимовий період в стійловому утриманні худоби біогаз отримуємо виключно з відходів тваринництва, то влітку тільки із зеленої маси, яка підвозиться транспортними засобами господарства. Ця маса вивантажується до приймального бункеру потім подається до подрібнювача і подрібнена зелена маса шнеком передається до змішувача. Із змішувача біомаса надходить до біореактора, з якого відпрацьована біомаса надходить до зливного бункеру. Після наповнення

бункера відпрацьованою біомасою, її відкачують в бочку і вивозять. В поточному технологічному процесі закладка біомаси в реактор проходить через 7 днів, попереднє зброджування біомаси на протязі 3 днів проходить на повітрі, тоді по технологічному процесі на третій день після забирання відпрацьованої маси повинні подрібнювати нову біомасу.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УДОСКОНАЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

3.1 Аналіз подрібнювачів біомаси

Для приготування якісної біомаси для отримання біогазу її компоненти повинні бути подрібнені. Подрібнення біомаси - це процес розділення механічним шляхом твердого тіла на частини, тобто дією зовнішніх сил, які більші за сили молекулярного щеплення.

Для подрібнення біомаси використовують різні типи подрібнювачів: ИГК-ЗОБ, ИСК-ЗА, ИРТ-165, РСС-6Б, Волгарь-5, КДХ-2 та інші. Ці машини не відповідають зоотехнічним вимогам тому, що мають низьку експлуатаційну надійність, високу енергетичність і металоємність, не якісно подрібнюють грубі корми, а особливо солому. Найбільш ефективний, являється подрібнювач ИГК-ЗОБ. Якість подрібнення в ньому досягається використанням штифтових робочих органів, які розривають солому, розминають її і розчіплюють на волокна. Але його низька експлуатаційна надійність, велика встановлена потужність (30 кВт) стримують для використання подрібнення зеленої маси.

Тому перед нами стоїть завдання вдосконалення подрібнювача біомаси так, щоб він відповідав вимогам і мав техніко-економічні показники кращі ніж прототип.

Машини для подрібнення біомаси (грубих і соковитих кормів) можна застосовувати окремо і в комплексах кормоприготувальних відділень. Вони бувають пересувні і стаціонарні, з приводом від електродвигуна або трактора.

Більшість машин для подрібнення біомаси мають живильний і різальний апарат, механізм приводу і транспортні органи для подрібненої зеленої маси. Залежно від конструкції різального апарату машини поділяються на дискові і барабанні. Живильні апарати можуть бути активні (при наявності живильного транспортера) і пасивні (при завантаженні маси руками). В більшості машин солому і біомасу попередньо пресують похилим

транспортером. Машини для подрібнення біомаси повинні забезпечувати подрібнення соломи, сіна і зеленої маси до розміру частинок 30-50 мм.

Подрібнювач ИГК-30Б

Подрібнювач грубих кормів ИГК-30Б призначений для подрібнення грубих кормів (з одночасним розщепленням стебел поздовж волокон) і навантаження його в транспортні засоби. Подрібнювач випускається в двох виконаннях: ИГК-30Б-I - мобільний, який навішується на трактор класу 1,4 з приводом від валу відбору потужності і ИГК-30Б-II - стаціонарний з приводом від електродвигуна. Подрібнювач складається (рис. 3.1) із зварної рами, на якій кріпиться живильник з притаманною камерою 9, подрібнювальний апарат, дефлектор 6 з механізмом повороту і електрообладнання з пусковою апаратурою. Живильник має горизонтальний 11 та похилий транспортери, які забезпечують стиснення сировини і його рівномірну подачу в подрібнюючу камеру. Похилий транспортер здійснює коливальні рухи відносно осі ведучого валу. Привод транспортерів здійснюється від валу ротора 4 через клинопасову передачу, черв'ячний редуктор, проміжний вал і ланцюгову передачу. На проміжному валу встановлена муфта відключення живильника.

Приймальна камера призначена для подачі біомаси в подрібнювальний апарат і видалення сторонніх включень. Вона складається з корпусу і обичайки. Для запобігання накопичення корму в корпусі встановлений відбивач 2. Зверху циліндричної частини камери знаходиться люк для огляду і очищення камери, і внизу - вікно для видалення важких включень, які попадають із кормами.

Подрібнюючий апарат складається з рами, ротора 4 з лопатками 1 і лопатями 3, диска 8 і привода з електродвигуном. Рама зварної конструкції, подрібнююча камера складається із стінок і обичайки. На обичайці знаходяться чотири люки. До передньої стінки камери при допомозі прижимів кріплять нерухомий диск 8. Подрібнювач має два диски: нерухомий 8 і обертальний 7, на яких встановлені штифти. На обертальному диску по колу закріплені три

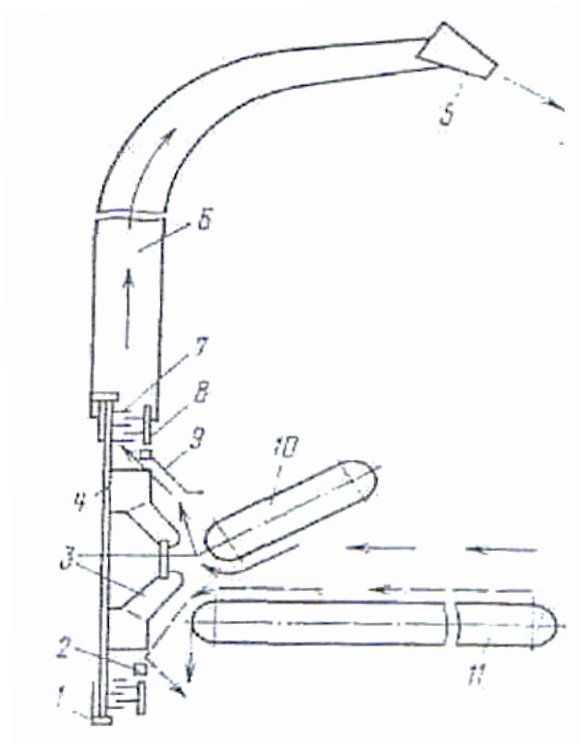


Рисунок 3.1 - Технологічна схема подрібнювача ИГК-30Б:

1 – лопатка; 2 – відбивач; 3 - лопатка ротора; 4 – ротор; 5 - регулюючий козирок; 6 – дефлектор; 7,8 - обертовий і нерухомий диски; 9 - приймальна камера; 10,11 - верхній і нижній транспортери

ряди, а на нерухомому - два ряди штифтів, які в поперечному перерізі мають клинову форму і встановлені загостреною частиною вперед по ходу обертання. Кожух подрібнюючого апарату має патрубок для виводу подрібненої маси і кріплення розвантажувальної труби, на якій знаходиться дефлектор.

Дефлектор 6 з механізмом повороту призначений для транспортування подрібненої маси і подачі її до місця розвантаження. Його кріплять до обойми перехідника, що забезпечує поворот дефлектора важелем на 360°. Біомасу рівномірно подають вручну або механічним способом на нижній горизонтальний транспортер 11 живильника. Потім біомаса поступає в приймальну камеру, де відділяються сторонні предмети (каміння, грудки ґрунту, металічні домішки). Біомаса підхвачується втягуючим повітряним потоком і направляється в подрібнювальну камеру. Проходячи між штифтами 7 ротора 4 і

нерухомого диску 8, корм подрібнюється, розчіплюється поздовж і поперек волокон. Після цього подрібнена маса повітряним потоком і лопатками 1 ротора 4 викидається із камери і дефлектор 6 і козирком направляється до місця розвантаження.

Недоліками даної конструкції є неможливість роботи з матеріалом підвищеної вологості. Солома при підвищеній вологості втрачає здатність ламатися і важко піддається розриву і перетиранню. Стебла зависають на штифтах і загальмовують диск, в результаті чого, падає продуктивність з 3,0 до 0,8 т/год., а енергоємність процесу підвищується з 7,2 до 16 кВт*год./т.

Подрібнювач грубих кормів ИРТ-165

Призначений для подрібнення сіна, соломи та інших грубих кормів, подрібнювач може використовуватися в складі потокової технологічної лінії кормоцехів, а також самостійно. Маса для подрібнення може подаватися в рулонах (рис. 3.2).

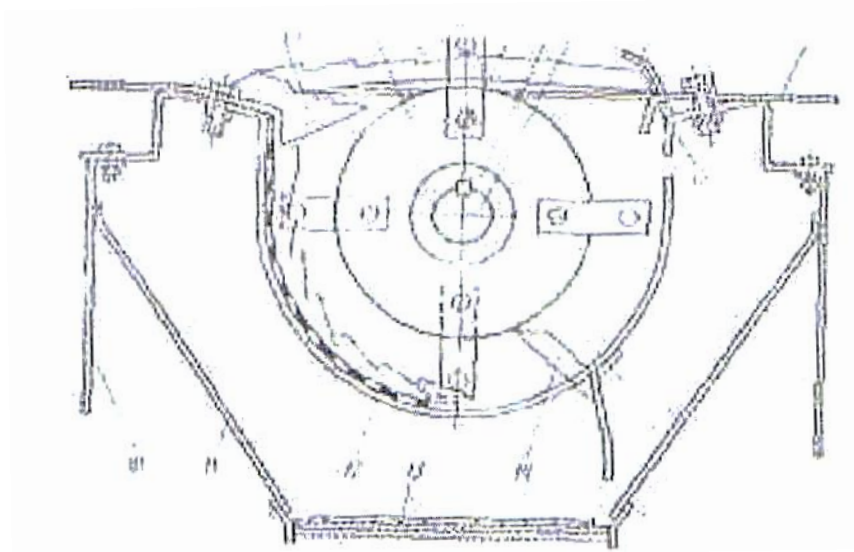


Рисунок 3.2 - Подрібнювач грубих кормів ИРТ-165

Основними частинами подрібнювача є живильна воронка і подрібнювальний барабан. Живильна воронка являє собою циліндр з конічним розтрубом, виготовлений з листової сталі. У верхній частині циліндра приварені бігова доріжка для опорних роликів і зубці ведучої зірки

привода воронки. Приводиться вона від електродвигуна через електромеханічну муфту і клинопасову передачу на проміжний вал, звідки ланцюговою передачею приводиться конічний редуктор. Під дією електромеханічної муфти можна змінювати швидкість руху живильної воронки.

Подрібнювальний барабан приводиться від електродвигуна через карданний вал і клинопасову передачу. Подрібнювальний барабан встановлений в днищі дробарки. Лопаті воронки захвачують масу і підводять до подрібнювального барабану, де вона подрібнюється молотками і проштовхується через отвори решітки на стрічковий вивантажувальний транспортер.

Соломорізка РСС-6Б

Призначена для подрібнення грубих і зелених кормів. Робочими органами є дисковий різальний апарат з шістьма прямолінійними ножами і живильний механізм транспортного типу, крім живильних вальців, він має похилий притискний транспортер, що значно поліпшує якість подрібнення кормів. Всі механізми приводяться в дію від валу відбору потужності транспортера, на який прикріплюється машина.

Робота соломорізки: масу, яку подрібнюють, подають на горизонтальний транспортер, що транспортує її до похилого живильного транспортера і живильних вальців. Живильний транспортер і вальці стискають масу і подають її на проти різальну пластину, де продукт відрізаються ножами, падає в низ і лопатями й повітряним потоком через дефлектор по трубі транспортується в необхідне місце. Довжину частинок регулюють зміною шестерінок і кількість ножів.

Машина обладнана пристроями для загострення ножів. Він являє собою супорт, на напрямній якого змонтована рухома каретка. Переміщення напрямної супорта і каретки по напрямній дозволяє підводити ніж до наждачного круга. Машину згідно технологічної лінії встановлюють на фундаменті.

3.2 Обґрунтування конструкції удосконаленого подрібнювача біомаси

Подрібнювач складається з камери, в якій розміщений ротор. Ротор в свою чергу має диск, на якому розміщені ножі. Ножі прикріплені на диску при допомозі часток з призмами шайбами. Щоб виключити процес повернення ножа, він має спеціальну миску, яка не дозволяє йому повертатися. Ротор кріпиться в одній порі і розміщений вертикально в циліндричній камері. В верхній частині камери закріплено нерухомий диск штифтами-протиризами. До рухомого диску прикріплений напрямний конус і лопаті, які під час роботи створюють повітряний потік для транспортування подрібненої маси. Ротор приводиться в рух від електродвигуна через муфту, подрібнена маса викидається в дефлектор. Працює подрібнювач наступним чином: біомаса завантажується в воронку і під дією сили земного тяжіння падає на напрямний конус, його лопатями відкидається в зону взаємодії ножів і штифтів, де переминається, перерізається, розчіплюється і потоком повітря створеним лопатями диска відкидається в дефлектор. Обертання ротора здійснюється від електродвигуна через муфту МАВІІ. На відміну від ИГК-ЗОБ вдосконалений подрібнювач не має завантажувального транспортера і його приводу, оснащений завантажувальною воронкою і вертикально розміщеного ротора, на диску якого закріплені ножі. Таке вдосконалення спрощує конструкцію подрібнювача і дає можливість подрібнювати соломі будь-якої вологості.

3.2.1 Енергетичний розрахунок подрібнювача

Проводячи свої дослідження, професор Резнік М.Е. вивів залежність зусилля різання для заданої швидкості. Оптимальна швидкість різання, так рахував вчений, складає 35..40 м/с. Крім властивостей подрібнюючого матеріалу, значення кута ковзання і швидкості різання, великий вплив здійснюють конструктивні параметри ріжучої пари і її технічний стан в процесі експлуатації. До таких параметрів відносяться: кут загострення, гострота леза

(рахує професор) повинна бути в межах 20..40 мкм. При затупленні леза допускається зменшення гостроти до $\delta_{max} = 100$ мкм, після чого лезо потрібно загострити.

Зусилля різання ножом визначається за формулою:

$$P_{риз} = \delta \cdot \delta_p \cdot \Delta S \quad (3.1)$$

де δ - гострота леза, $\delta = 20$ мкм;

δ_p - контактне розвалювання корму при подрібненні різанням, $\delta_p = 10^6 \cdot 11$ Па;

ΔS - довжина активної частини леза, $\Delta S = 0,1$ м.

$$P_{риз} = 2 \cdot 10^5 \cdot 11 \cdot 10^6 \cdot 0,1 = 22 \text{ Н},$$

Величина критичної сили, яка викликає процес подрібнення з зусиллям $P_{риз}$ визначається із залежності

$$P_{риз} = 0,6 P_{кр} \quad (3.2)$$

$$P_{кр} = \frac{P_{риз}}{0,6} = \frac{22}{0,6} = 27,5 \text{ Н},$$

Потужність процесу подрібнення визначається по формулі:

$$N_n = K \cdot P_{кр} \cdot v_p \cdot \psi \quad (3.3)$$

де K - кількість ножів, які одночасно подрібнюють соломку, $K = 30$ шт

ψ - коефіцієнт, враховуючий заповнення камери, $\psi = 0,2$;

v_p - швидкість різання, м/с.

$$v_p = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot r_{сер} \quad (3.4)$$

де n - частота обертання ротора, $n = 1450$ хв⁻¹.

$r_{сер}$ - середній радіус розміщення ножів, $r_{сер} = 0,5$ м.

$$v_p = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} \cdot 0,5 = 79,9 \text{ м/с}$$

$$N_n = 30 \cdot 27,5 \cdot 79,9 \cdot 0,2 = 12523,5 \text{ Вт} \approx 12,5 \text{ кВт}$$

Враховуючи можливі перевантаження, визначаємо потужність електродвигуна:

$$N_{el}^1 = N_n \cdot K' \quad (3.5)$$

де K' - коефіцієнт, який враховує можливі перевантаження, $K' = 1,25$.

$$N_{el}^1 = 12,5 \cdot 1,25 = 15,6 \text{ кВт}$$

Крім процесу подрібнення в камері відбувається процес викидання подрібненої соломи потоком повітря в дефлектор. Кількість повітря, яке необхідне на викидання подрібненої соломи визначаємо по формулі:

$$V = \frac{G_n}{\gamma_n} \quad (3.6)$$

де G_n - масова подача повітря, м/с;

γ_n - об'ємна маса повітря, $\gamma_n = 1,24 \text{ т/м}^3$

$$G_n = \frac{Q_r}{3,6\mu} \quad (3.7)$$

де Q_r - продуктивність подрібнювача, $Q_r = 3,0 \text{ м}^3/\text{с}$;

μ - коефіцієнт масової концентрації, $\mu = 0,85$.

$$G_n = \frac{3,0}{3,6 \cdot 0,85} = 0,98 \text{ м/с}$$

$$V = \frac{0,98}{1,24} = 0,79 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначаємо потужність електродвигуна, яка необхідна для видування соломи з камери:

$$N_{el}^{11} = \frac{V \cdot h}{\eta \cdot \eta_1 \cdot \eta_2} \quad (3.8)$$

де h - шлях повітря для піднімання повітря на висоту $H = 1,5$ м;
 $\eta \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$ - ККД вентилятора, передачі, $\eta = 0,55$, $\eta_1 = 0,96$, $\eta_2 = 0,98$.

$$h = g \cdot \mu \cdot \gamma_n \cdot H \quad (3.9)$$

$$h = 9,81 \cdot 0,85 \cdot 0,24 \cdot 0,5 = 15,5 \text{ Н}$$

$$N_{el}^{11} = \frac{0,79 \cdot 15,5}{0,55 \cdot 0,96 \cdot 0,88} = 23,7 \text{ Вт}$$

Таким чином, загальна потужність електродвигуна повинна дорівнювати:

$$N = N_{el}^{11} + N_{el}^1 = 15,6 + 0,0237 = 16 \text{ кВт.}$$

3.2.2 Технологічні розрахунки подрібнювача

Задавшись продуктивністю подрібнювача $\Pi_n = 3000$ кг/год. (ИГК-30Б) визначаємо секундну подачу подрібненої соломи:

$$\Pi_c = \frac{\Pi_n}{3600} = \frac{3000}{3600} = 0,83 \text{ м/с}$$

За один оберт подрібнювач повинен подрібнювати і видуту наступну масу соломи:

$$G_{об} = \frac{\Pi_c \cdot 60}{n} \quad (3.10)$$

де n - частота обертання ротора, $n = 1450$ хв⁻¹.

$$G_{об} = \frac{0,83 \cdot 60}{1450} = 0,044 \text{ кг}$$

Ця маса соломи буде займати такий об'єм:

$$V_c = \frac{G_{об}}{\rho} \quad (3.11)$$

де ρ - об'ємна маса подрібненої соломи, $\rho = 70 \text{ кг/м}^3$.

$$V_c = \frac{0,034}{70} = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Для ефективного подрібнення об'єм камери V_n повинен бути більшим V_c тому, що пропускна здатність подрібнювача зменшується, тобто $V_n > V_c$.

Визначаємо об'єм камери. В нашому випадку корисним об'ємом камери являється зона розміщення ножів і штифтів. Ця рама представляє собою кільце з розмірами $D = 1000 \text{ мм}$, $d = 600 \text{ мм}$, $H = 110 \text{ мм}$.

$$V_k = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) \quad (3.12)$$

$$V_k = 0,11 \cdot 3,14 \cdot (0,5^2 - 0,3^2) = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

Коефіцієнт запасу об'єму визначаємо за формулою:

$$\psi_s = \frac{V_k}{V_c} = \frac{5,5 \cdot 10^{-2}}{4,9 \cdot 10^{-4}} = 112$$

Таким чином об'єм камери подрібнення в 112 рази більший об'єму соломи, який в ній знаходиться. Зменшити об'єм камери ми не можемо, тому зменшиться ніж по довжині, або зменшиться швидкість обертання.

Перевіряємо продуктивність подрібнювача за формулою:

$$P_r = G_{об} \cdot n \cdot 60 \quad (3.13)$$

$$P_r = 0,034 \cdot 1450 \cdot 60 = 3000 \text{ кг/год.}$$

Така продуктивність нас задовольняє.

3.2.3 Розрахунок ножа на міцність

Ножі закріплені на диску при допомозі гайок з пружними шайбами нерухомо, тому при обертанні диска на кожен ніж буде діяти така сила, що буде згинати ніж (рис. 3.3).

Для розрахунку приймаємо найбільшу силу, яка може виникати в процесі експлуатації подрібнювача:

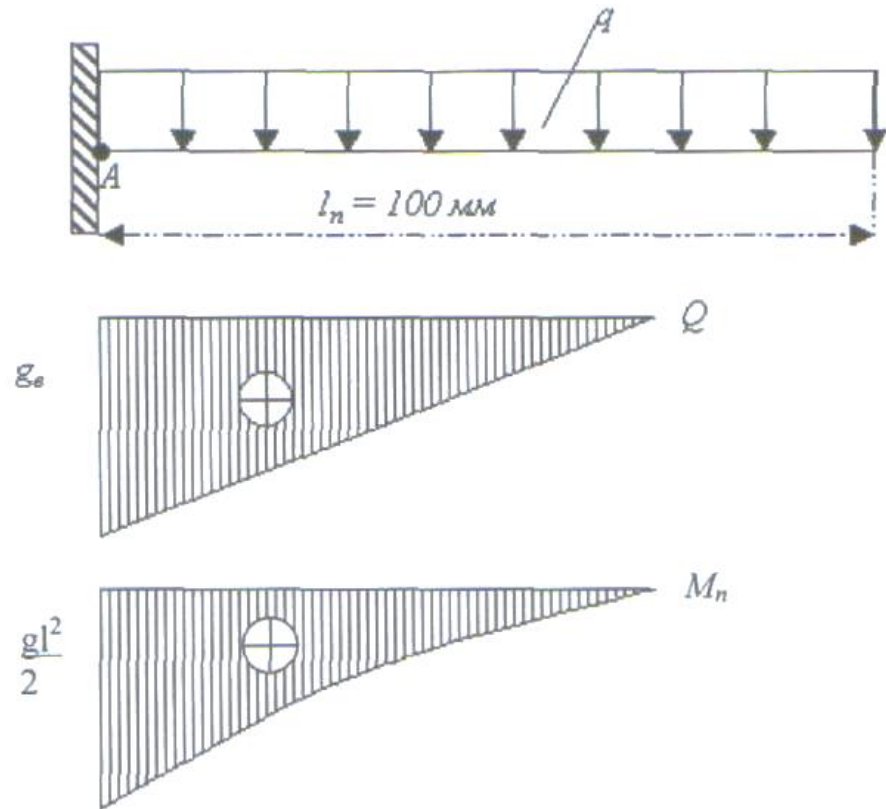


Рисунок 3.3 - Схема до розрахунку ножа

Для розрахунку приймаємо найбільшу силу, яка може виникати в процесі експлуатації подрібнювача:

$$Q = \frac{M_{кр}}{r} = \frac{9550 \cdot N_{да}}{n \cdot r} \quad (3.14)$$

$$Q = \frac{9550 \cdot 15}{1450 \cdot 0,5} = 1975 \text{ H}$$

$$q = \frac{Q}{l_n} = \frac{197,5}{100} = 1,975 \text{ H/мм}$$

Згинаючий момент визначаємо по формулі:

$$M = \frac{gl^2}{2} = \frac{1,975 \cdot 100^2}{2} = 985 \text{ H} \cdot \text{мм} = 9,875 \cdot 10^3 \text{ Нм} \quad (3.15)$$

Найбільше навантаження ножа буде в перерізі А. Визначаємо діаметр ножа в перерізі А:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{\omega}{0,7}} \quad (3.16)$$

де ω - момент опору.

$$\omega = \frac{M}{[\sigma_{ng}]} \quad (3.17)$$

де $[\sigma_{ng}]$ - допустима напруга згину, $[\sigma_{ng}] = 115$ МПа.

$$\omega = \frac{9,875 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{115} = 8,586 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^3$$

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{8,586 \cdot 10^{-2}}{0,7}} = 0,94 \text{ мм}$$

З розрахунків видно, що прийняті ножі з діаметром в місці кріплення $d = 10$ мм згинатися не будуть, тому що $d > d_p$

3.2.4 Розрахунок валу на міцність

Вал подрібнювача передає обертовий момент від валу електродвигуна на диск з ножами.

Потужність прийнятого електродвигуна $N_{дв} = 15$ кВт. Частота обертання валу $n = 1450$ хв⁻¹. Передаточне число $i = 1$. визначаємо величину обертового моменту на вагу ротора.

$$M_{np} = 9550 \frac{N_{дв}}{n} \quad (3.18)$$

$$M_{np} = 9550 \frac{15}{1450} = 98,8 \text{ Нм}$$

Визначаємо приблизний діаметр валу:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{M_{np}}{0,2[\tau_{np}]}} \quad (3.19)$$

де $[\tau_{np}]$ - допустима напруга скручування для матеріалу валу, $[\tau_{np}] = 40$ мПа,

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{98,8 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 10}} = 24 \text{ мм}$$

Враховуючи визначений діаметр валу, проводимо ескізну конструкцію (рис.3.4).

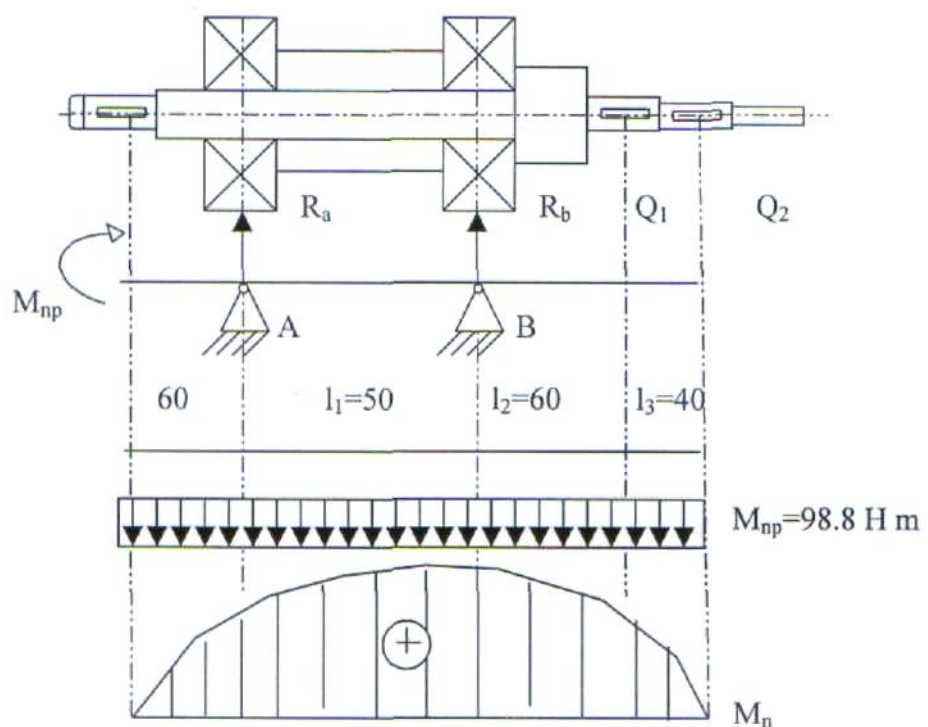


Рисунок 3.4 - Схема до розрахунку валу подрібнювача

Можливе навантаження валу показано на рисунку. Визначаємо реакцію в опорах:

$$\sum M_a = 0 + R_b \cdot l_1 \cdot Q_1 \cdot (l_1 + l_1) - Q_2 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned} \sum M_a = 0 & R_a \cdot l_1 - Q_1 \cdot l_2 - Q_2 \cdot (l_2 + l_3) + \\ & + R_b = \frac{Q_1 \cdot l_2 + Q_2 \cdot (l_2 + l_3)}{l_1} \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$R_b = \frac{Q_1 \cdot l_2 + Q_2 \cdot (l_2 + l_3)}{l_1} \quad (3.22)$$

де Q_1, Q_2 - сили, які змінюють вал при дії оператора на вал під час монтажу, технічного обслуговування, експлуатації, $Q_1 = 500$ Н, $Q_2 = 250$ Н.

$$R_b = \frac{500(0,05 + 0,06) + 250(0,05 + 0,06 + 0,04)}{0,05} = 1850 \text{ Н}$$

$$-R_b = \frac{500 \cdot 0,06 + 250(0,06 + 0,04)}{0,05} = 1100 \text{ Н}$$

Перевірка:

$$R_a + R_b = Q_1 + Q_2 \quad (3.23)$$

$$1850 - 1100 = 500 + 250$$

$$750 = 750$$

Розрахунки показують, що найбільший згинаючий момент буде в т. В. Визначаємо цей момент.

$$M_n = R_b(l_2 + l_3) \quad (3.24)$$

$$M_n = 1850(0,06 + 0,04) = 185 \text{ Нм.}$$

Напруга в небезпечному перерізі валу (т. В) буде мати значення:

$$\sigma = \frac{M_n}{w} = \frac{M_n}{0,1 \cdot d^3} \quad (3.25)$$

де d - діаметр валу в т. В, $d = 40$ мм = 0,04 м

$$\sigma = \frac{185 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 40^3} = 28,9 \text{ МПа}$$

$$\tau = \frac{M_{np}}{0,2 \cdot d^3} \quad (3.26)$$

$$\tau = \frac{98,8 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 40^3} = 77,7 \text{ МПа}$$

Перевірка на статичну міцність. Дану перевірку проводимо по допустимих напругах. При перевантаженні в 200% коефіцієнт перевантаження $K_n = 2$. Вал виготовлений з сталі 40Х з характеристикою: НВ = 200.

$$\sigma_B = 730 \text{ МПа}$$

$$\sigma_r = 500 \text{ МПа}$$

$$\tau_r = 280 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{-1} = 320 \text{ МПа}$$

$$\tau_{-1} = 200 \text{ МПа}$$

$$\psi_\sigma = 0,1 \quad \psi_\tau = 0,05$$

Відношення $\sigma_r / \sigma_B = 0,68$

При цьому відношення $[n_T] = 1.3 \dots 1.5$ Перевіряємо вал в небезпечному перерізі:

$$[\sigma_{CT}] = \frac{\sigma_T}{[n_T]} = \frac{500}{1,5} = 333 \text{ МПа}$$

Максимальна еквівалентна напруга:

$$\sigma_{екв.мах.} = K_n \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = 2 \sqrt{28,9^2 + 3 \cdot 7,7 \cdot 2} = 31,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{екв.} < [\sigma_{CT}] = 333 \text{ МПа}$$

Статична міцність валу забезпечена. Визначаємо коефіцієнт запасу міцності:

$$n_\sigma = \frac{\sigma - 1}{K_\sigma \cdot \sigma} = \frac{\sigma - 1}{\left(\frac{K_{\sigma_k}}{K_d} + K_F - 1 \right) \cdot K_\sigma \cdot \sigma} \quad (3.27)$$

$$n_{\sigma} = \frac{320}{\left(\frac{1,7}{0,79} + 1,1 - 1\right) \cdot 1 \cdot 28,9} = 4,9$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau - 1}{K_{\tau} \cdot \tau} = \frac{\tau - 1}{\left(\frac{K_{\sigma k}}{Kd} + K_F - 1\right) \cdot K_{\tau} \cdot \tau} \quad (3.29)$$

$$n_{\tau} = \frac{220}{\left(\frac{1,45}{0,79} + 1,1 - 1\right) \cdot 1 \cdot 7,7} = 14,7$$

Розрахунки показують, що міцність валу в небезпечному перерізі забезпечена. Враховуючи реакцію в опорах (в т. А і В), а також діаметр валу, приймаємо підшипники 308, їх розміри: $d = 400$ мм; $D = 90$ мм; $B = 23$ мм; $R = 25$ мм. Допустиме навантаження $Q_c = 25000$ Н, маса $G = 0,83$ кг.

3.2.5 Розрахунок шпонкового з'єднання

Маточина диска на валу закріплена на шпонці. Діаметр валу під маточиною $d = 40$ мм. Враховуючи діаметр валу вибираємо призматичну шпонку з розмірами $l = 40$ мм, $b = 12$ мм, $t_1 = 5$ мм, $h = 8$ мм, $t_2 = 3,3$ мм.

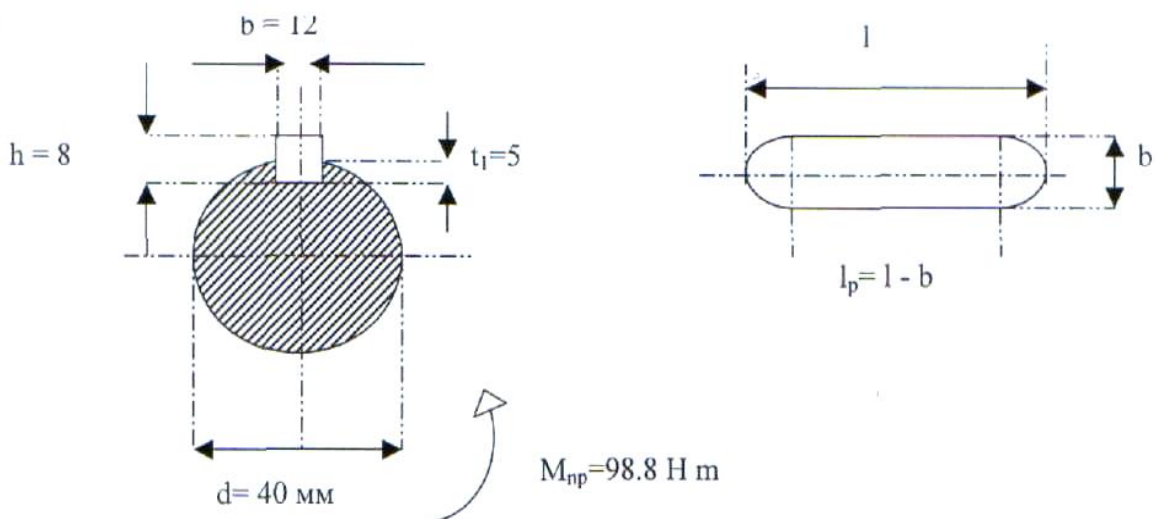


Рисунок 3.5 - Схема до розрахунку шпонкового з'єднання

Міцність шпонкового з'єднання перевіряємо по формулі:

$$\sigma_{cm} = \frac{2M_{np} \cdot 10^3}{d(h-t_1) \cdot l_p} \leq [\sigma_{cm}] \quad (3.30)$$

де h - висота шпонки, $h = 8$ мм;

t_1 - глибина паза вала, $t_1 = 5$ мм;

l_p - розрахункова довжина шпонки, $l_p = l - b = 40 - 12 = 28$ мм;

$[\sigma_{cm}]$ - допустима напруга зминання, $[\sigma_{cm}] = 80$ МПа.

Прийmemo сталь 20.

$$\sigma_{cm} = \frac{2 \cdot 98,8 \cdot 10^3}{40(8-5) \cdot 28} = 58,8 \text{ МПа}$$

$58,8 < 80$ - міцність шпонкового з'єднання забезпечена.

Визначені параметри робочих органів удосконаленого подрібнювача біомаси використовуються при проектуванні вузлів і деталей машини.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення по охороні праці

Охорона праці у нашій країні, яка охоплює заходи по подальшому полегшенню і оздоровленню умов праці на основі механізації і автоматизації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів техніки безпеки, усуненню причин, що призводять до травматизму і професійних хвороб робочих і службовців, створенню на підприємстві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов - важлива державна задача.

При організації охорони праці в господарстві слід керуватися «Правилами охорони праці у сільськогосподарському виробництві», затвердженими наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240 (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 р. за № 1090/32542).

Охорона праці механізаторів має велике значення. Механізаторам необхідні знання по правовим питанням охорони праці і правилам техніки безпеки. Механізаторам необхідно мати певні навички при роботі з сучасними високопродуктивними машинами, дотримуватися правил виробничої санітарії і користуватися засобами індивідуального захисту. До роботи допускають лише технічно справні машини і знаряддя, що повністю відповідають вимогам безпеки. Нові, відремонтовані, а також машини, що тривалий час не працювали, допускають до роботи лише після їх обкатки і ретельної перевірки роботи всіх органів.

Причіпні і начіпні машини заздалегідь перевіряють і агрегатують лише з тим трактором, що зазначений у заводській інструкції машини.

До роботи на агрегатах допускаються фізично здорові, навчені за спеціальністю (наявність посвідчення про кваліфікацію) і проінструктовані (за ГОСТ 12.0.004-90) механізатори. Залежно від виду роботи, механізатори мають бути забезпечені відповідними засобами захисту і спецодягом [18].

На місце роботи агрегатів не допускають сторонніх осіб, які не мають відношення до технологічного процесу.

4.2 Охорона праці при роботі на біогазових установках

При експлуатації обладнання для отримання біогазу і його використання необхідно враховувати вибухонебезпечність метану. Небезпека вибуху виникає при змішуванні метану з повітрям у співвідношенні від 5 до 15% за об'ємом. У разі витoku, за наявності вентиляції, газ випаровується без яких або наслідків. У зв'язку з цим на установці для отримання метану і в оточуваний її зоні необхідно суворо дотримуватись заходів безпеки, необхідних для попередження пожежі і вибуху [19].

До складу біогазу також входять сірководень (H_2S), вуглекислий газ (CO_2). Сірководень, якщо і представляє небезпеку для здоров'я людей, то зустрічається в невеликих кількостях і легко виявляється за неприємним запахом. Оскільки питома маса сірководню більша за масу повітря, тому необхідно звертати увагу на те, щоб при витоках цей газ не зміг нагромаджуватися в поглибленнях. При високих концентраціях він притупляє сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може привести до смертельних отруєнь, але ще раз можна відзначити, що частка сірководню в біогазі дуже мала і складає не більше 1 %. Вуглекислий газ входить до складу біогазу, теж може накопичуватись в глибоких виїмках, оскільки він також важчий за повітря, за наявності нещільності в установці викликає небезпеку задухи [18, 19].

Перелік заходів безпеки включає:

1. Ємності для газу необхідно розміщувати на достатній відстані від житлових будинків, складів і громадських доріг. Мінімально допустимі такі відстані: від будинків з м'якою покрівлею – 10 м; від будинків з твердою покрівлею – 5 м.

2. Забороняється паління і розпалювання вогню поблизу газових резервуарів (в радіусі 10 м). Встановлюються спеціальні таблички з відповідними надписами.

3. Регулярно перевіряють рівень води в резервуарі газгольдера циліндричного типу. Зимою необхідно попереджувати утворення крижаної кірки. Ремонт резервуарів і трубопроводів повинні проводити тільки спеціалісти (організація виготовлювач обладнання), що особливо важливо для усіх робіт, які виконуються з відкритим полум'ям і зварюванням на газгольдері і трубопроводах.

4. Попередження виходу метану і змішування його з повітрям в обмеженому просторі включає в себе забезпеченість герметичності газопровідних ліній і вентиляцію редукційних клапанів з відводом повітря назовні.

5. Видалення повітря із газопровідних ліній здійснюється шляхом пропускання по них газу до його використання.

6. Установка вогнегасників здійснюють на газопровідних лініях, які проходять поблизу газоспалювальних установок.

7. Забезпечення відповідних вентиляцій в зоні газопровідних ліній.

8. Обладнують вентиляційний отвір під стелею приміщення для виходу назовні газу, щільність якого менша щільності повітря.

9. Укладають газопровідні лінії з позитивним або зворотним нахилом, з обладнанням на нижньому кінці лінії водовідокремлювача (біогаз містить водяну пару).

10. здійснюють захист газопровідних ліній і особливо водовідокремлювачів і вогнегасників від замерзання, оскільки це може перервати подачу газу, пошкодити газопровідну лінію і привести до значного збільшення тиску в метантенку або газгольдері, розрахованому на низький тиск.

11. Видалення всіх потенційних джерел іскроутворення із зони біогазової установки і газопровідних ліній.

12. Резервуари для зберігання газу, що призначаються для зарядки балонів, повинні бути розраховані натиск 170 кг/см^2 .

Вимоги безпеки під час обслуговування установки наступні:

1. До обслуговування біогазової установки допускаються особи не молодше 18 років, тільки після проходження інструктажу з охорони праці на робочих місцях. Запис про проведення інструктажів проводиться в журнал з обов'язковим підписом проінструктованих робітників і особи, що проводила інструктаж.

2. Інструктаж з охорони праці з обслуговуючим персоналом повинен проводитися щодня перед заступанням зміни на роботу. Особи, які виконують роботи по обслуговуванню біогазової установки, проходять медичний огляд не рідше 1 разу на 6 місяців. Вагітні жінки до роботи по обслуговуванню біогазової установки не допускаються.

3. Під час роботи з біогазової установкою необхідно пам'ятати про вибухонебезпеку метану і стежити за герметичністю газгольдера і його комунікації. При виявленні витоку газу роботу потрібно припинити, усувати дефект повинні тільки фахівці, які мають допуск до роботи з вибухонебезпечними речовинами.

4. Порожні цистерни і резервуари біогазової установки оглядаються не менше ніж двома фахівцями, які знають заходи безпеки і забезпечені шланговими протигазами, гумовими рукавичками і страхуючими мотузками. Після роботи необхідно провітрити спецодяг в спеціально відведеному для цього приміщенні [18].

При експлуатації біогазової установки необхідно звертати увагу на наступне:

– Вдих біогазу у великих кількостях на протязі тривалого часу може викликати отруєння, так як сірководень, який міститься в біогазі, дуже отруйний. Неочищений біогаз пахне тухлими яйцями, але після очистки не має ніякого запаху. Тому всі приміщення, де стоять побутові прилади, які використовують біогаз, треба регулярно провітрювати. Газові труби повинні

регулярно перевірятися на герметичність і захищатися від пошкоджень. Витік газу необхідно виявляти за допомогою мильної емульсії або спеціальних приладів. Застосування відкритого вогню для виявлення витіку газу забороняється. Біогаз у суміші з повітрям в пропорції від 5% до 15% при наявності джерела спалаху з температурою 600°C або вище може призвести до вибуху. Відкритий вогонь небезпечний при концентраціях біогазу у повітрі понад 12%. Таким чином, забороняється куріння та розведення вогню біля установки. Під час проведення зварювальних робіт відстань до газового обладнання повинна бути не менше 10 метрів. Після зливу сировини з біогазових установок для проведення ремонту реактор повинен провітрюватися, так як існує небезпека вибуху суміші біогазу і повітря.

– Тиск газу, який подається по газопроводу до місця споживання, не повинен перевищувати 0,15 МПа, а перед газовими приладами має бути не більше 0,13 кг/см². Реактор повинен бути обладнаний засувками, гідрозатворами, які у випадку необхідності могли б відключити його від магістрального скиду надлишкового тиску у газовій системі у випадку перевищення ним норми.

– Електрообладнання, яке використовується, повинно бути заземлене. Опір проводу для заземлення має бути не більше 4,0 Ом.

4.3 Розрахунок охоронного освітлення

Охоронне освітлення передбачається вздовж території майданчика. Воно повинно забезпечувати освітленість 0,5 лм на рівні землі [18, 19].

Розрахунок ведемо виходячи з виразу:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot \rho \cdot z \cdot K_3}{N \cdot \eta} \quad (4.1)$$

де $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік одного світильника, лм;

$E_{\text{н}}$ – нормована освітленість;

ρ - площа, яку освітлюють;

$z = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує відношення середньої освітленості до мінімальної;

K_3 – коефіцієнт запасу;

N – кількість світильників;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Освітленість E знаходимо з виразу:

$$E = \frac{\Phi_{л}}{\rho} \quad (4.2)$$

Площа: $\rho = a \cdot b = 25 \cdot 15 = 375 \text{ м}^2$. Звідси

$$\Phi_{л} = 0,5 \times 375 = 187,5 \text{ лм.}$$

Знаходимо кількість світильників, потрібних для охоронного освітлення:

$$N = \frac{E_{н} \cdot \rho \cdot z \cdot K_3}{\Phi_{л} \cdot \eta} = \frac{0,5 \cdot 375 \cdot 1,15 \cdot 1,1}{187,5 \cdot 0,95} = 2,33.$$

Приймаємо кількість світильників $N = 2$.

Розраховуємо потужність світильника:

$$P = \frac{P_{н} \cdot \rho}{N}, \quad (4.3)$$

де $P_{н}$ – питома потужність, Вт/м².

$$P = \frac{0,42 \cdot 375}{1} \approx 100 \text{ Вт.}$$

Розроблені заходи з охорони праці сприяють зменшенню травматизму і нещасних випадків при експлуатації удосконаленої лінії по виробництву біогазу в господарстві.

5 ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Завдяки покращенню конструкції подрібнювача рослинної маси, пропускна здатність і продуктивність лінії завантаження збільшується на 20%, що також впливає на якість роботи всієї біогазової установки. Розрахунок економічної ефективності проводимо в порівнянні з серійною машиною ИГК-30Б, продуктивність якої дорівнює $P_c = 3000$ кг/год. Тоді продуктивність удосконаленого подрібнювача рослинної маси буде дорівнювати $P_y = 3600$ кг/год. Вихідні дані для розрахунків приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для визначення економічної ефективності

Показники	Базова машина ИГК-30Б	Удосконалений подрібнювач
Продуктивність, т/год.	3,0	3,6
Вартість агрегату, грн.	120000	104000
Витрати палива, кг/т.	4,0	3,3
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1

Затрати праці визначимо за формулою:

$$Z_{\text{п}} = \frac{M}{W}, \quad (5.1)$$

де M – кількість обслуговуючого персоналу, чол.;

$W_{\text{г}}$ – продуктивність агрегату за годину змінного часу, т/год.

Базовий і удосконалений комплекс машин обслуговує одна особа - механізатор. Тоді, будемо мати наступні затрати праці при роботі:

- базового комплексу машин:

$$Z_{\text{п.б}} = \frac{1}{3,0} = 0,33 \text{ люд.год/т,}$$

- НОВИМ КОМПЛЕКСОМ МАШИН:

$$Z_{п.м} = \frac{1}{3,6} = 0,28 \text{ люд.год/га.}$$

Зниження затрат праці становить

$$Z_z = 0,33 - 0,28 = 0,05 \text{ люд.год./т.}$$

Прямі експлуатаційні затрати при проведенні подрібнення рослинної маси визначаються по формулі:

$$C = C_o + C_a + C_p + C_{пмм}, \quad (5.2)$$

де C_o – оплата праці з усіма нарахуваннями, грн./т;

C_a – амортизаційні відрахування, грн./т;

C_p – затрати на ремонт і технічне обслуговування, грн./т;

$C_{пмм}$ – витрати на електроенергію, грн./т.

Оплата праці механізатору, який працює на серійному агрегаті, нараховується по тарифній сітці за норму виконаної роботи. За 1 т підготовленої біомаси оплата праці становить:

$$C_{o}^1 = \frac{C_T}{W_{зм}}, \quad (5.3)$$

де C_T – оплата праці за тарифною сіткою;

$W_{зм}$ – продуктивність агрегату за зміну.

Для механізатора, який працює на базовому агрегаті по четвертому розряду вона становить 347,8 грн. за зміну (з врахуванням підвищення мінімальної зарплати до 8000 грн.) [21]. А за 1 т подрібненої рослинної маси оплата праці буде становити:

$$C_{o.б}^1 = \frac{347,8}{21,0} = 16,6 \text{ грн./т.}$$

Крім того, в господарстві проводиться доплата: 50 % - за складність робіт (становить 8,3 грн./т), 12% - за інтенсивність робіт (становить 2,0 грн/т).

І тоді оплата праці з нарахуваннями буде становити:

$$C_{об}^H = 16,6 + 8,3 + 2,0 = 26,9 \text{ грн./т.}$$

На цю суму механізатору нараховується 20 % за класність (становить 5,4 грн./т) і 51 % соціального страхування і ін. (становить 13,7 грн./т). І тоді вся оплата праці з нарахуваннями механізатору, який працює на базовому агрегаті, становить:

$$C_{об} = 26,9 + 5,4 + 13,7 = 46,0 \text{ грн./т.}$$

Для механізатора, який працює на обслуговуванні удосконаленого подрібнювача, оплата праці буде проводитися по четвертому розряду тарифної сітки і за 1 т обробленої площі становить:

$$C_{O.H}^1 = \frac{347,8}{25,2} = 13,8 \text{ грн./т.}$$

Аналогічно нараховуються всі необхідні доплати: 50 % за складність робіт (6,9 грн./т), 12 % за інтенсивність робіт (1,7 грн./т). І оплата праці з нарахуваннями буде становити:

$$C_{он}^H = 13,8 + 6,9 + 1,7 = 22,4 \text{ грн./т.}$$

На цю суму нараховується 51 % соціального страхування (11,4 грн./т) і 20% за класність (становить 4,5 грн./т) і оплата праці з усіма нарахуваннями для механізатора, який працює на новому агрегаті, буде становити

$$C_{он} = 22,4 + 11,4 + 4,5 = 38,3 \text{ грн./т.}$$

Амортизаційні відрахування визначаються виходячи з річних норм відрахувань на знаряддя за формулою:

$$C_a = \frac{S \cdot \alpha}{100 \cdot D \cdot K \cdot W_{3M}}, \quad (5.4)$$

де S – ціна машини, грн.;

D – кількість днів роботи за рік;

K – коефіцієнт змінності.

За нормативами [21] річна норма відрахувань для всіх машин загального і спеціального призначення становить 15 %. Тоді нарахування на амортизацію для базової машини будуть становити:

$$C_{аб} = \frac{120000 \cdot 15}{100 \cdot 180 \cdot 1,8 \cdot 21,0} = 2,7 \text{ грн./т.}$$

Для нового знаряддя амортизаційні відрахування будуть становити:

$$C_{ан} = \frac{104000 \cdot 15}{100 \cdot 180 \cdot 1,8 \cdot 25,2} = 1,9 \text{ грн./га.}$$

Так як норма відрахувань на ремонт і технічне обслуговування така ж сама, як і для амортизаційних відрахувань, то приймаємо ці ж самі значення для відповідних машин.

При умові агрегування подрібнювачів з тракторами класу 1,4, затрати на паливо і мастильні матеріали визначаються за формулою:

$$C_{пмм} = Ц_{п} \cdot g_{т}, \quad (5.5)$$

де $Ц_{п}$ – комплексна ціна 1 кг палива, грн./кг;

$g_{т}$ - витрати палива на 1 т.

Затрати на паливо і мастильні матеріали для базового агрегату будуть становити:

$$C_{пмм}^б = 59,9 \cdot 4,0 = 239,6 \text{ грн./т.}$$

Аналогічні затрати на роботу удосконаленого агрегату будуть складати:

$$C_{пмм}^н = 59,9 \cdot 3,3 = 197,7 \text{ грн./т.}$$

Загальні прямі затрати на подрібнення біомаси серійним агрегатом будуть становити:

$$C_c = 46,0 + 2,7 + 2,7 + 239,6 = 291,0 \text{ грн./т.}$$

Загальні прямі затрати на подрібнення біомаси удосконаленим зняряддям будуть становити:

$$C_H = 38,3 + 1,9 + 1,9 + 197,7 = 239,8 \text{ грн./т.}$$

Зниження прямих затрат при впровадженні удосконаленого зняряддя будуть становити:

$$E = C_c - C_H = 291,0 - 239,8 = 51,2 \text{ грн./т.}$$

В відсотках економічний ефект становить:

$$E_{\Pi} = \frac{51,2 \cdot 100}{239,8} = 21,4 \text{ \%}.$$

Таблиця 5.2 - Основні техніко-економічні показники проекту

Назва показників	Серійний агрегат	Удосконалений агрегат
1. Продуктивність агрегату, т/год.	3,0	3,6
2. Питомі витрати палива, кг/т	4,0	3,3
3. Затрати праці, люд.год./га	0,24	0,22
4. Прямі експлуатаційні затрати, грн./га	291,0	239,8
в т. ч.: - оплата праці з нарахуваннями;	46,0	38,3
- амортизаційні відрахування;	2,7	1,9
- затрати на ремонт і ТО;	2,7	1,9
- затрати на ПММ.	239,6	197,7
5. Зниження прямих затрат, грн./т	--	51,2
6. Ефект від отримання додаткової продукції, грн./т	--	32,8
7. Загальний економічний ефект, грн./т	--	84,0

Крім того, за рахунок підвищення продуктивності біогазової установки, як мінімум, на 10%, можна отримати з 1 т біомаси додатково 2 м³ біогазу. При

вартості 1 м³ 16,39 грн. економічний ефект від отримання додаткової продукції становитиме:

$$E_d = 16,39 \cdot 2 = 32,8 \text{ грн./т}$$

Загальний економічний ефект з 1 т буде становити:

$$E_z = 51,2 + 32,8 = 84,0 \text{ грн./т.}$$

Основні техніко-економічні показники представлені в таблиці 5.2.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Застосування біогазових установок є перспективним напрямком використання відновлювальних джерел енергії і цей напрямок необхідно удосконалювати і використовувати. Особливо це стосується сільськогосподарського виробництва, яке дає і має великий потенціал необхідної біомаси для роботи біогазових установок.

2. Одним із напрямків удосконалення процесу є підготовка біомаси для ефективного і найбільш продуктивного використання її в біореакторах. Тому удосконалення подрібнювача біомаси дозволяє підвищити продуктивність процесу герметизації і отримання біогазу.

3. На підставі аналізу існуючих машин розроблено конструкцію удосконаленого подрібнювача і визначено основні його параметри і режим роботи. Завдяки покращенню конструкції подрібнювача рослинної маси, пропускна здатність і продуктивність лінії завантаження збільшується на 20%, що також впливає на якість роботи всієї біогазової установки.

4. Розроблено заходи з охорони праці при експлуатації біогазової установки і, зокрема, удосконаленого подрібнювача. Їх можна використовувати при проведенні інструктажів обслуговуючого персоналу, що дозволить підвищити рівень безпеки і зменшити травматизм при експлуатації установки.

5. Економічний ефект від використання удосконаленого подрібнювача становить 84,0 грн./т біомаси при підвищенні продуктивності і збільшенні добутку газу з одиниці біомаси.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сфера біогазу в Україні: великі перспективи та реальність// <https://energytransition.in.ua/sfera-biohazu-v-ukraini-velyki-perspektyvy-ta-realnist/>.
2. Трипольська Г.С., Дячук О.А., Подолець Р.З., Чепелев М.Г. Біогазові проекти в Україні: перспективи, наслідки та регуляторна політика// Економіка і прогнозування. 2018, № 2, с.111-134.
3. Гелетуха Г., Драгнєв С., Кучерук П., Матвєєв Ю. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України. – Київ, 2017. – 70 с.
4. Ришард Титко, Володимир Калініченко. Відновлювальні джерела енергії (Досвід Польщі для України)/ Варшава – Краків – Полтава, 2010. – 533 с.
5. Konferencja OZE w ZSE nr 1 – Krakow 26.10.2007 – wyklad Ryszard Ciach.
6. Енергетична стратегія України на період до 2030 року.
7. Сіденко В. Відновлювальні джерела енергії: реалії та можливості// Економіка України. – 2008. - № 5(558). – С. 91-93.
8. В Україні налічується більш як 80 біогазових установок// <https://landlord.ua/news/v-ukrayini-nalichuyetsya-bilsh-yak-80-biogazovyh-ustanovok>
<https://landlord.ua/news/v-ukrayini-nalichuyetsya-bilsh-yak-80-biogazovyh-ustanovok>.
9. Малярєнко В.А. Енергетика і навколишнє середовище. – Харків: Видавництво САГА, - 2008 р. – 364 с.
10. Корчемний М.О., Федорейко В.С., Щербань В.В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники та посібники, 2001. – 984 с.

11. Технологія використання біомаси в біогазових установках // Т. Амон, Б. Амон, В. Дубровин і ін. // Зб. наук. праць НАУ. – 2003. - №60. – С.18.
12. Довідник з опору матеріалів / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвієв В.В. Відп. Ред. Писаренко Г.С. – 2-е вид., перероб. і доп. К: Наукова думка, 1988 – 736 с.
13. Опір матеріалів/ Під заг. ред. Г.С. Писаренка, К.: Вища школа, 1973р. – 672 с.
14. Землеробська механіка. Т.2. Теоретичні основи сільськогосподарської механіки/ А.С. Кобець, А.Г. Дем'яненко, О.Ю. Береза, О.А. Гонь і ін.- Дніпро, «Свідлер А.Л.», 2022. – 712 с.
15. Закон України «Про альтернативні види палива» від 14.01.2000 № 1391-XIV [Електронний варіант].
16. Лемешев М.С., Майданюк А.Д. Вимоги безпеки під час роботи з установкою для отримання біогазу [file:///C:/Downloads/1461-5230-1-PB20\(1\).PDF](file:///C:/Downloads/1461-5230-1-PB20(1).PDF).
17. Целинський В.П. Охорона праці в рослинництві. – К.: Урожай, 1991. – 80 с.
18. Гряник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. Охорона праці. – К.: Урожай, 1994. – 272 с., іл..
19. Лешахін С.Д. Довідник з охорони праці в сільському господарстві. - К.: Урожай, 1990. - 165 с.
20. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві// Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 р. за № 1090/32542.
21. Вініченко І.І, Сітковська А.О. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства// Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.