

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ _____ ” _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

**«Удосконалення змішувача кормів з обґрунтуванням його
конструктивних параметрів»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-23М-1.1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____ Скульський Дмитро
Станіславович

« _____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Руслан КІСІЛЬОВ

« _____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____ Станіслав КАТЕРИНИЧ

« _____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2			Загальна документація			
3						
4			Знову розроблена			
5						
6	A4	MP 00.000 ПЗ	Пояснювальна записка	1		
7						
8			Документація по			
9			науковій частині			
10						
11			Знову розроблена			
12						
13	A1	MP 00.001 НЧ	Класифікація змішувачів	1		
14						
15	A1	MP 00.002 НЧ	Теоретичні дослідження	1		
16			процесу змішування			
17						
18	A1	MP 00.003 НЧ	Теоретичні дослідження	1		
19			процесу змішування			
20						
21	A1	MP 00.004 НЧ	Результати експериментальних	1		
22			досліджень			
23						
24						
MP 00.000 ВП						
Відомість проекту						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист
Разраб.	Скульський					1
Пров.	Кісільов					2
Н.контр.	Мачок				ЦНТУ, гр. ГМ-23М-11	
Утв.	Васильківський					

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1			<u>Документація по</u>			
2			<u>інженерній частині</u>			
3						
4			<i>Знову розроблена</i>			
5						
6	A1	MP 00.000 TC	Технологічна схема	1		
7			змішувача СКО-Ф-3,0			
8						
9	A1	MP 00.040 СБ	Мішалка змішувача	1		
10						
11						
12			<u>Документація по</u>			
13			<u>деталях</u>			
14						
15			<i>Знову розроблена</i>			
16						
17	A3	MP 00. 102	Цапфа	1		
18						
19	A3	MP 00. 105	Лопать ліва	1		
20						
21	A3	MP 00. 106	Лопать права	1		
22						
23	A3	MP 00. 101	Труба	1		
24						
25						
26						
27						
28						
29						

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

				MP 00.000 ВП		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
					2	

ЗМІСТ

стор.

1. Вступ	
2. Наукова частина	
3. Інженерна частина.....	
4. Охорона праці	
5. Обґрунтування економічної ефективності.....	
6. Висновки	
Список літератури	
Додатки.....	

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Тваринництво як сектор сільськогосподарського виробництва має забезпечувати зростаючі потреби населення у продуктах харчування, таких як м'ясо, молоко та яйця, а також постачати промисловість необхідною сировиною, зберігаючи при цьому конкурентоспроможність.

Сучасний розвиток тваринництва, зростаючі вимоги до якості та собівартості продукції, а також основні завдання національної програми відтворення тваринництва в Україні передбачають всебічну інтенсифікацію скотарства і птахівництва. Це досягається шляхом упровадження комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів на фермах і комплексах, а також створення потужної кормової бази. Для цього необхідно застосовувати новітні методи заготівлі та зберігання якісних кормів, впроваджувати передові технології їхньої підготовки і переробки, а також виготовлення високопоживних і збалансованих кормових сумішей.

Якість переробки та підготовки кормів до згодовування, а також приготування збалансованих і повнораціонних кормових сумішей безпосередньо впливає на їх поїдання та ефективність засвоєння. Це сприяє підвищенню продуктивності тварин, покращенню їхнього здоров'я та вгодованості, зниженню витрат кормів на виробництво продукції та підвищенню її якості.

Процеси обробки та підготовки кормів до згодовування, а також приготування кормових сумішей виконуються у механізованих кормоцехах, оснащених потоковими технологічними лініями. Вони укомплектовані спеціальним технологічним обладнанням і машинами, що забезпечують ефективність виробничого процесу.

Важливою операцією в технологічних лініях приготування кормів і кормових сумішей є змішування різних кормових компонентів.

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Скульський				Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кісільов							
Реценз.								
Н. Контр.	Мачок					<i>ЦНТУ, гр. ГМ-23М-1.1</i>		
Затверд.	Васильковський							

В Україні та за кордоном у механізованих кормоцехах досі широко застосовуються змішувачі застарілих конструкцій, які не відповідають сучасним стандартам і зоотехнічним вимогам щодо якості кормосумішей. Вони відзначаються високою метало- та енергомісткістю, що знижує ефективність виробництва. Наразі є проблема в науковому обґрунтуванні раціональних параметрів робочих органів і режими їхньої роботи, а конструкція мішалок залишається недосконалою. Тому в даній дипломній роботі ми пропонуємо нову конструкцію змішувача з використанням плоско-лопатевої мішалки.

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На початкових етапах якість суміші значно покращується завдяки інтенсивному конвективному змішуванню компонентів на рівні макрооб'ємів, що забезпечує швидке переміщення частинок і рівномірний розподіл основних складових.

На цьому етапі дифузійний процес майже не відбувається через малу поверхню контакту між частинками, а швидкість змішування практично не залежить від фізико-механічних властивостей маси.

Після завершення змішування на рівні макрооб'ємів розпочинається інтенсивне перемішування на рівні мікрооб'ємів. У цей період домінує дифузійне змішування (зона II), що сприяє рівномірному розподілу дрібних частинок у загальному об'ємі суміші. Далі настає етап сегрегації часток (зона III), коли подальше змішування стає неефективним, оскільки частинки зі схожими властивостями починають групуватися. На цьому етапі процес слід припинити, щоб уникнути погіршення однорідності суміші.

Тривалість дифузійного етапу залежить від фізико-механічних характеристик компонентів кормів, зокрема гранулометричного складу, щільності, форми та текстури поверхні. Чим подібніші властивості компонентів, тим ефективніше відбувається їхнє змішування, тоді як значна різниця у розмірах частинок сприяє їхній сегрегації.

Середній розмір часток визначається за наступним виразом:

$$d_{сер} = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{n_{\phi}} d_i \cdot \gamma_i, \quad (2.1)$$

де: d_i – середній показник окремих часток i -ої фракції, мм; γ_i – вміст конкретної i -ої частки фракції в утвореній кормосуміші, %; n_{ϕ} – кількість перемішувальних компонентів в кожній фракції.

Вологість сформованої суміші визначається за таким виразом:

$$W_{заг} = \frac{n_1 W_1 + n_2 W_2 + \dots + n_n W_n}{n_1 + n_2 + \dots + n_n}, \quad (2.2)$$

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: $n_1, n_2 \dots n_n$, – визначені чинники маси встановлених компонентів групи кормів, кг;

$W_1, W_2 \dots W_n$, – вологість групи компонентів.

Коли кількість інгредієнтів у суміші збільшується, масова частка кожного окремого компонента у кінцевому складі зменшується, що поступово уповільнює процес змішування.

У такому випадку ефективність процесу сумішоутворення можна оцінювати за динамікою зростання масової частки контрольного компонента протягом часу. Рівняння кінетики цього процесу може бути представлене у такій формі:

$$v_{зм} = d \cdot C_i / d_t = f_n(t) - f_o(t) \quad (2.3)$$

де: $V_{зм}$ – показник інтенсивності встановленого процесу сумішоутворення, 1/с;

C_i – вміст контрольного компонента в належному кормі, г/г;

t – час, що характеризує завершення процесу змішування часток, с;

$f_n(t), f_o(t)$ – встановлені показники інтенсивності як прямого, так і зворотного процесів сумішоутворення, 1/с.

Аналіз процесу змішування із застосуванням різних робочих органів мішалок показує, що вони не забезпечують повного й достатнього розуміння фізичної сутності цього процесу. Це свідчить про те, що існуючі конструкції робочих органів не гарантують ефективного контролю над активним перерозподілом компонентів, а також не дають можливості здійснювати оперативне управління процесом сумішоутворення. Внаслідок цього виникає необхідність подальшого вдосконалення конструкцій змішувачів для підвищення рівня однорідності готової кормової суміші.

Усі компоненти кормів під час змішування зазнають рівномірного впливу основних робочих органів, рухаючись за довільними траєкторіями. Після цього відбувається хаотичний дифузійний перерозподіл частинок між потоками, що

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

MP 00.000 ПЗ

часто призводить до недостатньої однорідності суміші. Такий механічний процес змішування не забезпечує повного рівномірного розподілу компонентів, що ускладнює досягнення високих показників однорідності.

Однак у змішувачі даної конструкції інтенсивний масообмін між потоками всіх компонентів сприяє вирівнюванню загальної концентрації. Це досягається завдяки збільшенню кількості зіткнень частинок, складнішим траєкторіям їхнього руху та більшій кількості перетинів потоків у порівнянні з традиційними змішувачами, що сприяє покращенню якості готової кормової суміші.

Для усунення недоліків традиційних кормозмішувачів доцільно застосувати потоково-контурну схему руху часток у об'ємі бункера. Це покращення дозволить інтенсифікувати процес змішування, забезпечуючи більш рівномірний розподіл компонентів та підвищуючи рівень однорідності готової суміші.

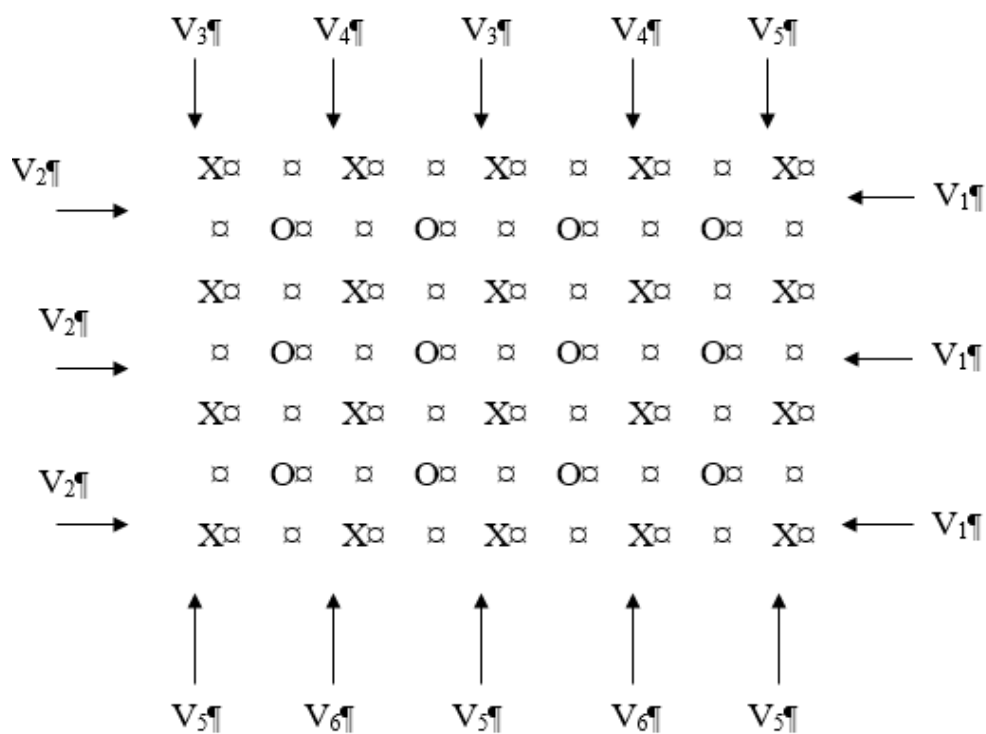


Рис. 2.2. Встановлена графічна схема, що чітко характеризує спосіб сумішоутворення.

Використання такої схеми сприяє створенню впорядкованих потоків частинок, зменшує ймовірність сегрегації та забезпечує активний масообмін

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

між усіма компонентами, що робить процес змішування більш стабільним і контрольованим.

Швидкість руху компонентів кормів під впливом різних робочих органів мішалок можна проілюструвати на рисунку 2.3. Використання різноманітних механізмів, таких як осьовий, круговий і відцентровий рух, що реалізується за допомогою лопатей та пальців, забезпечується вдосконаленою конструкцією мішалки.

Основною особливістю цієї конструкції є застосування плоских лопатей, які закріплені на горизонтальних трубах мішалки під різними кутами нахилу до її осі. Лопаті розташовані у парних рядах із певним кроком уздовж осі мішалки, що сприяє оптимізації траєкторії руху частинок.

Таке розміщення робочих органів значно інтенсифікує процес змішування, підвищуючи динамічність усіх його етапів. Крім того, наявність закріплених пальців сприяє рівномірному розподілу компонентів у робочому об'ємі, що підвищує рівень однорідності готової суміші.

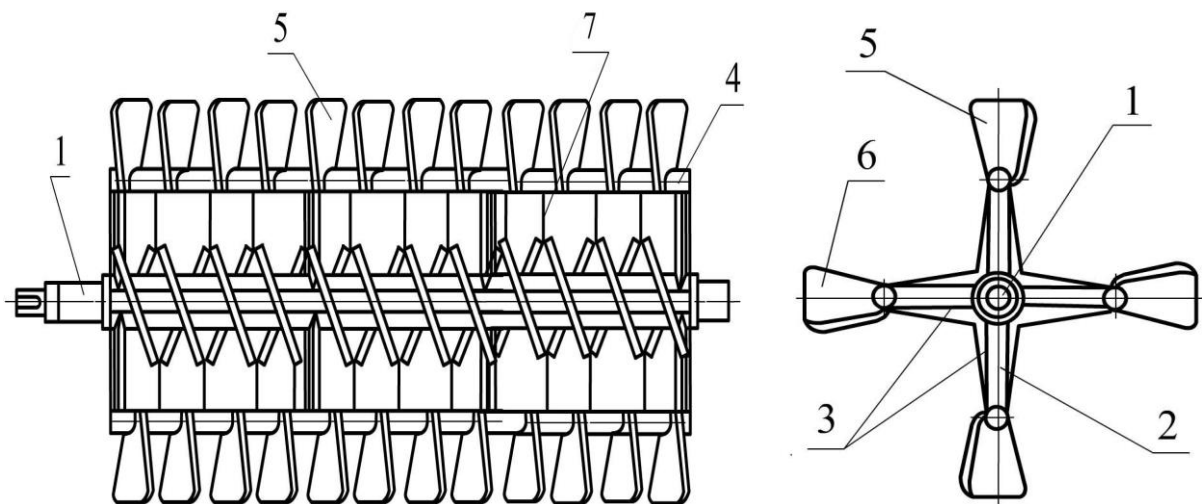


Рис. 2.3. Технологічна схема мішалки з виконаними плоскими лопатями:
1 – вал у вигляді пустотілої труби; 2 – стрічка; 3 – розпірна косинка; 4 – труба; 5, 6 – ліва та права конструкція лопатей; 7 – радіальні пальці

Подібний режим такого процесу виконаний лопатевим змішувачем і має досить конкретне забезпечення умов технологічного процесу змішування групи

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кормів для ВРХ. Так, для тихохідних змішувачів характерна умова $k = \frac{\omega^2 \cdot R_{л}}{g} < 30$), а також для швидкохідних ($k > 30$). Значення швидкості руху встановлених лопатей за умови, а коли відцентрова сила $m\omega^2 R_{л}$, тобто постійно діє на сформовану частку вздовж плоскої лопаті і не повинна перевищувати отримане значення сили ваги такої частки, в протилежному випадку вона зійде з даної лопаті і вийде із фази процесу перемішування групи вибраних компонентів кормів. Тобто, колова швидкість руху даної мішалки знаходиться з наступного виразу:

$$\omega_{кр} = \sqrt{g / R_{лон.}}, \quad (2.4)$$

де: $R_{лон.}$ – радіус конструкції лопаті, м.

Активну роботу розробленої мішалки в процесі змішування кормів з встановленим гранулометричним складом, тобто вибраними компонентами. Зменшене ударне навантаження від закріплених робочих органів формує значення кутової швидкості, що дорівнює наступному виразу $\omega = 0,5 \omega_{кр}$.

Проекція плоскої лопаті на окрему розгорнуту площину після незначних перетворень прийме наступний вигляд:

$$b = \frac{\rho^\circ \pi}{180} R_{лон.} = \rho R_{лон.}, \quad (2.5)$$

де: ρ°, ρ - центральні кути конструкції лопаті в градусах або в радіанах.

Надалі крок між лопатями визначається за таким виразом:

$$t = \frac{\rho R_{лон.} \sin \alpha}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.6)$$

де: α – кут закріпленого положення лопаті до вісі валу запропонованої мішалки;

φ – значення кута тертя різних вибраних компонентів по конструкції лопаті.

Вектор швидкості руху частинок потоку компонентів ($R_{л}$), що виникає під впливом розроблених лопатей мішалки, формується відповідно до геометричних напрямків кругового обертання ($R_{к}$), осьового переміщення

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

($R_{oc.}$) та швидкості частинок уздовж лопаті ($R_{лоп}$). Величини цих складових встановлюються за такими формулами:

$$v_{кр.} (R_{лоп.}) = \omega R, \quad (2.7)$$

$$v_{oc.} (R_{лоп.}) = v_{кол.} (R_{лоп.}) \operatorname{tg} \alpha = \omega R_{лоп.} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.8)$$

$$v_{лоп.} (R_{лоп.}) = \frac{dS}{dt}. \quad (2.9)$$

В процесі переміщення частки компоненту під впливом поверхні лопаті її траєкторія нагадує гвинтову лінію зі змінним кроком і певним зовнішнім діаметром. У момент знаходження такої частки на поверхні лопаті її рух уздовж осі валу зумовлений дією таких сил, а саме: сили ваги mg , відцентрової сили $m\omega_1 R_{л.}$, реакції поверхні даного корпусу N , сили тертя об металеву поверхню корпусу F , нормальної реакції поверхні лопаті мішалки N_1 , сили тертя по самій лопаті F_0 та рушійної сили. Переміщення частки вздовж поверхні лопаті мішалки можливе за умови, що сила тертя перевищує задану рушійну силу T . Графічне зображення перелічених сил можна навести на рисунку 2.4.

Таким чином встановлюємо і використовуємо таку умову, де описано рух активної частки певного компоненту вздовж вісі валу, а саме при $T > F_0$, дана частка приготовленої суміші виконує рух по поверхні закріпленої лопаті змішувача:

$$(F + mg \sin \beta) \cos \alpha > (F + mg \sin \beta) \sin \alpha \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (2.10)$$

Саме умова стабільного руху частки компоненту буде виконуватися тоді, коли виконається така нерівність, тобто $\alpha < 90 - \varphi_1$.

Якщо лопаті розташовані паралельно або перпендикулярно до осі валу, поступальний рух компонентів уздовж осі припиняється. Коли кут між лопатями та віссю валу дорівнює 90 градусам, лопаті стають паралельними осі, і мішалка фактично працює як барабан, обертаючи всю масу корму без його переміщення вздовж валу. Важливо також враховувати осьове відставання компонентів, яке залежить від кутів α і φ та визначається за допомогою коефіцієнта μ .

$$\varepsilon = \frac{\sin \alpha \sin (\alpha + \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (2.11)$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	MP 00.000 ПЗ	

Відповідні співвідношення потрібних площ $\frac{F_{\text{лоп.}}}{F_{\text{зм}}} = \frac{\rho}{360} = \beta_0$ - це відношення

бічної проекції площі вибраної лопаті до площі поперечного перерізу конструкції ємності змішувача.

І нарешті, продуктивність лопатевої мішалки знаходимо за таким виразом:

$$Q = \psi K F_{\text{лоп.}} \omega R_{\text{лоп.}} \gamma T_1 T_2 (c-1) m, \text{ кг/с}, \quad (2.15)$$

де: K – кратність тільки однієї порції за один оберт валу даного змішувача;

ψ – чинник, що характеризує заповнення сумішшю запропонованою лопаттю змішувача;

c – кількість лопатей в рядах з певним кроком t ;

m – кількість конструктивних рядів лопатей на мішалці;

$F_{\text{лоп.}}$ – площа встановлення для бічної поверхні самої лопаті, м^2 ;

ω – показник кутової швидкості руху встановлених лопатей, с^{-1} ;

$R_{\text{лоп.}}$ – значення радіусу лопаті мішалки, м .

Таким чином, годинна продуктивність нашого змішувача з урахуванням кількості повторних циклів при виконанні операції змішування становить:

$$Q_{\text{зм}} = 3,6Q/n_{\text{ц}}, \text{ т/год.} \quad (2.16)$$

Відповідно нормальну силу P_n розкладаємо на два окремих напрямки: а саме, для кругового та осьового. В даному випадку встановлюємо зусилля P'_p , яке забезпечує перемішувальним часткам обертальний рух, і таким чином P'_o , що вже переміщує всі захоплені частки компонентів в осьовому напрямку складатиме:

$$P'_p = P_n \cdot \cos \alpha \quad \text{і} \quad P'_o = P_n \cdot \sin \alpha, \quad (2.17)$$

де: α – встановлений показник, що враховує кут нахилу нашої лопаті до вісі обертання валу.

Під впливом рівнодіючої сили R в площині руху часток даного компоненту по конструкції лопаті виникають сили тертя. Їх характеризує залежність $F_{\text{тер}} = fP_n$ і діють вони проти відносного руху всіх компонентів по

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції лопаті. Відповідно проведемо розкладку сили тертя $F_{\text{тр}}$ на певні складові, тобто, в кругову та осьову напрямках і зафіксуємо такі вирази:

$$F'_{\text{тр},p} = F_{\text{тер}} \sin \alpha = f P_{\text{н}} \sin \alpha, \quad (2.18)$$

$$F'_{\text{тр},o} = F_{\text{тер}} \cos \alpha = f P_{\text{н}} \cos \alpha. \quad (2.19)$$

Тоді сума векторів дозволить отримати вирази для зусиль:

$$\text{В круговому напрямку } P_p = P'_p + F'_{\text{тр},p} = P_{\text{н}}(\cos \alpha + f \sin \alpha), \quad (2.20)$$

$$\text{В осьовому напрямі } P_o = P'_o - F'_{\text{тр},o} = P_{\text{н}}(\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (2.21)$$

Тепер обчислюємо згідно формули потужність на привід конструкції мішалки з лопатями:

$$W_{\text{м}} = W_{\text{л}} + W_{\text{ст.}} + W_{\text{п}} + W_{\text{ф}}, \quad (2.22)$$

де: $W_{\text{л}}$, $W_{\text{ст.}}$, $W_{\text{п}}$, $W_{\text{ф}}$ – відповідно витрати потужностей, по-перше, на привід самих лопатей, потім стоек, а також пальців і відповідно тертя конструктивної мішалки в ємності, кВт.

$$W_{\text{м}} = \frac{(P_p \mathcal{G}_p + P_o \mathcal{G}_o) c_{\text{л}}}{1000} + \frac{M_{\text{ст.}} \cdot Z_{\text{ст.}} \cdot \omega}{1000} + \frac{M_{\text{п}} \cdot Z_{\text{п}} \cdot \omega}{1000} + \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \gamma \cdot L \cdot \omega \cdot f}{4 \cdot 1000}, \quad (2.23)$$

де: P_p , P_o – значення сформованого кругового та осьового зусилля в ємності змішувачі, Н;

v_p , v_o – відповідні показники, що враховують кругову і осьову швидкості руху підготовленої суміші, м/с;

$Z_{\text{л}}$ – показник значень кількості лопатей;

$M_{\text{ст.}}$, $M_{\text{п}}$ – відповідно виникаючі крутні моменти від дії сили опору стоек та самих пальців, Нм;

D – показник зовнішнього діаметру нашої мішалки, м;

L – довжина запропонованого бункера, м;

f – коефіцієнт внутрішнього тертя.

2.3. Програма експериментальних досліджень

Описані вище дослідження створюють підґрунтя для подальших експериментів, спрямованих на обґрунтування залежностей щодо нерівномірності змішування компонентів кормів та середньоквадратичного відхилення від вмісту контрольного компонента. Проведені експерименти

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

MP 00.000 ПЗ

Головний показник процесу змішування (оцінка нерівномірності) потрібних компонентів для отримання суміші обчислювався за допомогою середньоквадратичного відхилення контрольного компонента за встановленим виразом, а саме:

$$\sigma_e = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(x_i - \bar{x} \right)^2 / (z - 1)}, \quad (2.24)$$

де: \bar{x} - середньоарифметичне значення вмісту контрольного компонента у всіх складених пробах $\left(\bar{x} = \frac{\sum x_i}{m} \right)$; z - повторність складених проб.

Ступінь однорідності, він є якісним критерієм, що характеризує отриману кормову суміш обчислювали як співвідношення теоретичного або дослідного показника середньоквадратичного відхилення даного контрольного компонента в встановленій суміші за існуючим виразом:

$$\theta_{\text{суміші}} = \frac{\sigma_T}{\sigma_e} \cdot 100, \% \quad (2.25)$$

За вимогами вибраної методики отримані результати дослідів реєстрували протягом проходження 25 хвилин з подібним інтервалом у дві хвилини.

2.4. Результати експериментальних досліджень

Аналіз та обробка результатів лабораторних експериментів свідчать про те, що робоча фаза процесу змішування кормів із розробленою мішалкою триває 6–8 хвилин, тоді як для базової мішалки цей процес займає десь 15–18 хвилин. При цьому середньоарифметичне відхилення концентрації контрольного компонента не перевищує встановлених нормативних вимог. Найважливішим є те, що ступінь однорідності кормосуміші досягає 92–95%, що значно перевищує зоотехнічні стандарти, згідно з якими цей показник становить 86%.

Аналіз отриманих нижче графіків, що відображають ефективність змішування компонентів, показує, що розрахункова продуктивність запропонованого змішувача зростає в 1,5–1,7 рази порівняно з базовою

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

MP 00.000 ПЗ

моделлю СКО-Ф-3,0. При цьому енергетичні витрати на одиницю виробленої маси продукції знижуються в 1,3–1,5 рази, що свідчить про підвищену ефективність модернізованої конструкції.

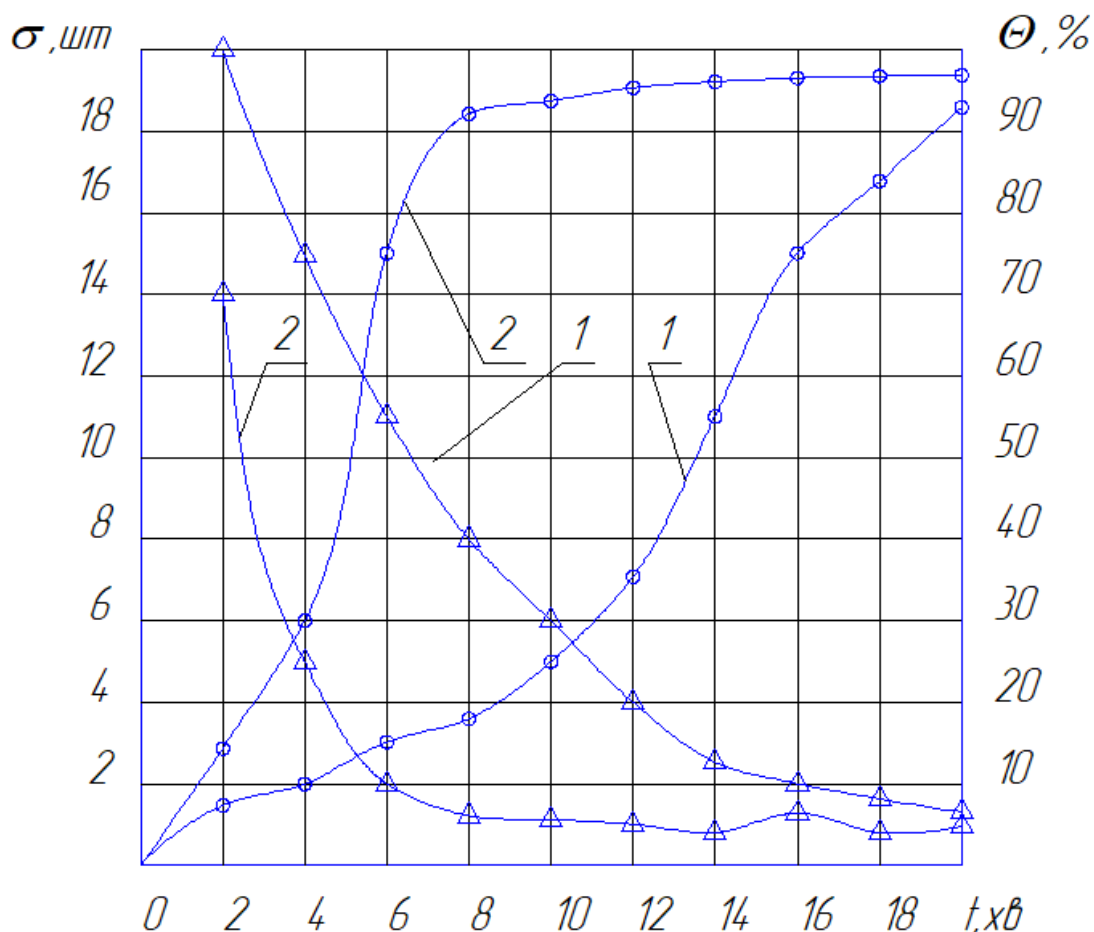


Рис. 2.6. Залежність встановленого середньоквадратичного відхилення для вмісту контрольного компонента суміші (σ) і показника однорідності (θ) від конкретного часу (t) змішування різних компонентів: 1 – серійний зразок лопатевого змішувача; 2 – удосконалений зразок конструкції змішувача з новими лопатями

Висновки за розділом.

- теоретичні дослідження підтвердили суттєві переваги нової конструкції змішувача, в якому використані плоскі лопаті. Це дає змогу ефективно застосовувати потоково-контурну схему для переміщення компонентів кормів як по поверхні лопатей, так і в зоні інерційного руху. Вдосконалення конструкції сприяло підвищенню однорідності суміші та зменшенню енергетичних витрат.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- обґрунтовано раціональні конструктивні та режимні параметри плоских лопатей, розташованих по краях мішалки під різними кутами нахилу до осі валу. Ці параметри відіграють ключову роль у забезпеченні оптимальної роботи змішувача.

- теоретичне обґрунтування продуктивності та енергетичних витрат лопатевого змішувача дозволило оцінити ефективність нової конструкції в порівнянні з існуючими технічними рішеннями.

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

3.1. Технологічні розрахунки

3.1.1. Зоотехнічні вимоги, що ставляться до якісної роботи запарника-змішувача кормів

Обраний змішувач моделі СКО-Ф-3,0 є одновальним та працює за принципом порційного змішування. Його основне призначення – підготовка повнораціонної збалансованої кормової суміші на основі вибраних вологих кормів і додаткових компонентів у кормоцехах господарств. Процес здійснюється за допомогою спеціалізованого обладнання та машин, що забезпечують ефективну роботу у потоково-технологічних лініях. Вдосконалена модель змішувача СКО-Ф-3,0 є стаціонарною та підходить як для невеликих, так і для великих фермерських господарств із значною кількістю великої рогатої худоби.

Технічна характеристика запропонованого змішувача СКО-Ф-3,0

Таблиця 3.2

№ п/п	Найменування показників	Значення показників
1	2	3
1	Тип	Стаціонарний одновальний
2	Продуктивність при приготуванні вологих кормосумішок без врахування часу на завантаження без запарювання при дії змішування 10-15 хв, т/год	4,7
3	Об'єм резервуара, м ³	3,0
4	Маса змішувача, кг: - → з конвеєрами і шафою керування - → без конвеєрів і шафи керування	2370 1700
5	Потужність двигунів, кВт: - → змішувача з конвеєрами - → змішувача без конвеєрів	11,07 7,37
6	Частота обертання вала мішалки, С ⁻¹ (хв ⁻¹)	0,3·(18)
7	Енергетичні показники: привід змішувача редуктор	Електродвигун 4АІ32-6БСУІ·N=5,5·кВт, Ц2У-250-31,5-11-КУ

					Арк.
<i>MP 00.000 ПЗ</i>					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

1	2	3
	привід механізму засувки ↓ ↓ привід вивантажувального шнека	електродвигун 4ААМ63ВУСУТ N=0,37 кВт мотор-редуктор ІМП-3-2-40-56ЦУІ·N=1,5 кВт
8	Рівномірність змішування, %	до 90
9	Витрати пари на 1 т корма при запарюванні, кг	160-200
10	Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1
11	Питомі витрати енергії, $\frac{\text{квт} \cdot \text{год}}{\text{т}}$ змішувач з конвеєрами змішувач без конвеєрів	 2,4 1,64
12	Затрати праці, $\frac{\text{люд} \cdot \text{год}}{\text{т}}$	0,22

Заводські рекомендації підкреслюють широкий спектр використання цього обладнання, що охоплює практично всі регіони країни. Для забезпечення оптимальної роботи зазначено, що температура навколишнього середовища не повинна опускатися нижче +5°C, а рівень вологості має залишатися в межах 37%. Рухомі механізми оснащені трифазними електродвигунами змінного струму з фіксованим нульовим проводом. Живлення двигунів здійснюється від мережі з напругою 380 В та частотою близько 50 Гц, при цьому допустиме відхилення напруги не перевищує 10%.

Попередньо підготовлені компоненти завантажуються в бункер змішувача у визначеному обсязі відповідно до добового раціону великої рогатої худоби, що дозволяє отримати суміш із вологістю 65–85%. Якість готового корму оцінюється за рівнем однорідності, який становить 86%.

В альтернативних варіантах змішувач може виконувати функцію запарювання кормів із дозованим введенням групи компонентів, а також подальшим завантаженням і повторним змішуванням усіх інгредієнтів. Ця стаціонарна модель оснащена бункером об'ємом до 3 м³.

					MP 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна продуктивність під час змішування компонентів без запарювання, з урахуванням часу завантаження, становить приблизно 4,7 т/год. Якщо ж виконується операція запарювання, продуктивність варіюється в межах від 0,5 до 1,5 т/год. Інші технічні характеристики моделі СКО-Ф-3,0 наведені в розробленій таблиці 3.2.

Для визначення рівня кормів використовуються спеціальні датчики та водомір. Процес механізації та автоматизації має бути повністю інтегрованим. Управління всіма операціями змішування та приготування кормових сумішей здійснюється дистанційно за допомогою пульта керування, із суворим дотриманням правил безпеки.

Згідно із заводськими інструкціями, для обслуговування змішувача рекомендовано залучати одну особу. Гарантійний термін експлуатації становить приблизно 9 років.

Основні показники надійності обладнання мають такі значення:

- надійності технологічної операції – 0,8;
- готовності – 0,99;
- технічного обслуговування – 0,95;
- технологічного використання – 0,95.

3.1.2. Обчислення продуктивності лопатевої мішалки.

Відповідно до добового раціону, відібрані компоненти завантажуються в ємність запарника СКО-Ф-3,0. Усередині бункера розміщена мішалка, закріплена в опорах, яка оснащена чотирма рядами жорстко закріплених лопатей. Вони розташовані під кутом 45° до вертикалі, причому перший ряд нахилений вправо, наступний – вліво, і цей порядок зберігається в подальших рядах. Лопаті мають плоску форму, їхня ширина становить 230 мм, а довжина – 290 мм. Потім площа отриманої поверхні лопаті дорівнює $F_{\text{лоп.}} = 0,0525 \text{ м}^2$, причому бічна площа становить $F_{\text{бічна}} = F_{\text{л}} \sin \alpha = 0,0372 \text{ м}^2$. В самому корпусі жорстко закріплені пальці для операції розрихлення і створення додаткового інтенсивного процесу. Вони мають такі параметри: $l_{\text{пальців}} = 0,08 \text{ м}$ і $d_{\text{пальців}} = 0,010 \text{ м}$.

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі формування суміші відбуваються такі етапи. Плоскі лопаті спрямовують рух різних кормових компонентів у визначених напрямках. Спочатку активна фаза змішування триває приблизно 3–4 хвилини, під час якої пальці додатково розпушують монолітну масу компонентів. Поступово процес прискорюється, і змішування переходить на мікрорівень, тобто відбувається на молекулярному рівні.

Робочі органи змішувача забезпечують рівномірний розподіл часток усіх компонентів, що сприяє підвищенню показника однорідності маси. Завдяки циклічному характеру процесу досягається стабільність змішування, що позитивно впливає на продуктивність машини.

Продуктивність плоско-лопатевого змішувача обчислюється за відповідною формулою, без урахування тривалості завантаження та запарювання, за умови, що кратність не перевищує десяти циклів для однієї порції суміші:

$$W_{зм} = \frac{3,6 \cdot \psi \cdot K \cdot F_{лб} \cdot \omega \cdot R_{л} \cdot \gamma \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot (\tau - 1) \cdot m}{n_{ц}}, \text{ т/год,} \quad (3.1)$$

де: ψ - діючий показник, що становить заповнення виготовленої лопаті, $\psi = 0,87$;

K - показник кратності тільки для однієї порції за визначений один оберт лопатевої мішалки;

$F_{лб}$ - площа бічної поверхні виготовленої лопаті, м²;

$R_{лон.}$ - показник, що впливає на максимальний радіус мішалки, який фіксується від центру валу до кінця вдосконаленої лопаті, м;

$\gamma = 310 - 340$ кг/м³ - показник, що враховує при обчисленні щільність підготовлених компонентів корму, кг/м³;

t_1 - показник, що виконує обчислення обертів порції корму виготовленою лопаттю в зону прискореного руху завантаженого матеріалу, $t_1 = 0,9 \dots 0,95$;

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\kappa_{\text{двиг.}} = 1500$ об/хв. Далі, для визначення передаточного числа механізму приводу розробленого валу встановленої мішалки, використовується наступний розрахунковий вираз:

$$u_{\text{заг}} = \frac{\kappa_{\text{двиг.}}}{\kappa_{\text{в}}}, \quad (3.6)$$

де: $\kappa_{\text{в}}$ – частота обертання валу розробленої мішалки. Для базового варіанту змішувача завод-виробник ставить рекомендації для показників режимів роботи: $\kappa_{\text{в}} = 18$ об/хв;

$$u_{\text{заг}} = \frac{1500}{18} = 83,3$$

Проаналізувавши кінематичну схему даного змішувача СКО-Ф-3,0 обчислюємо за подібною формулою загальне передаточне число:

$$u_{\text{заг}} = u_{\text{м}} \cdot u_{\text{пт}}, \quad (3.7)$$

де: $u_{\text{м}}$ – передаточне відношення для встановленого мотор-редуктора на конструкції для вивантаження продукції.

Врахувавши попередні обчислення нами пропонується мотор-редуктор такої модифікації Ц2У-250-31,5-11-У2.

$u_{\text{пт}}$ - відношення для клинопасової передачі, що становить $u_{\text{пт}} = 2,66$;

$$u_{\text{заг}} = 31,6 \cdot 2,66 = 84,05 .$$

Для забезпечення стабільної та надійної роботи повздовжнього вивантажувального шнека підбирається привід від електродвигуна з частотою обертання $\kappa_{\text{дв}} = 1425$ об/хв.

Далі, використовуючи відповідну формулу, виконується обчислення загального передаточного числа механізму приводу змішувача:

$$u_{\text{заг}} = \frac{\kappa_{\text{двиг.}}}{\kappa_{\text{ш}}}, \quad (3.8)$$

де: $\kappa_{\text{ш}}$ – частота обертання шнеку, що транспортує продукцію із змішувача-запарника, $\kappa_{\text{ш}} = 25$ об/хв.;

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$u_{заг} = \frac{1425}{25} = 57$$

Надалі, розбиваємо загальне передаточне число на певні характерні ступені передач і використовуємо вираз 3.9:

$$u_{заг} = u_{м.р.}, \quad (3.9)$$

де: $u_{м.р.}$ – чисельне значення показника передаточного відношення для встановленого мотор-редуктора, який є $u_{м.р.} = 57$;

$$u_{м.р.} = 57.$$

Для забезпечення якісного вивантаження готової продукції використовується індивідуальний привід конструкції засувки, який працює від електродвигуна з частотою обертання валу $k_{дв} = 1500$ об/хв.

Далі, застосовуючи відповідну формулу, обчислюється загальне передаточне число приводу даної засувки шнека:

$$u_{заг} = \frac{k_{двиг.}}{k_2} \quad (3.10)$$

де: k_2 – частота обертання валу, що створює можливість за допомогою спеціальної контр-гайки відкривати або зачиняти засувку. Такий показник становить $k_2 = 120$ об/хв;

$$u_{заг} = \frac{1500}{120} = 12,5$$

На завершальному етапі операції підбирається електродвигун марки 4AA63B4CY1 із потужністю 0,5 кВт. Він повинен забезпечити стабільну і безперебійну роботу в конструкції засувки, що сприятиме якісному вивантаженню готової суміші до колісного кормороздавача.

3.3. Обчислення на міцність валу мішалки даного запарника.

Встановлені дані для даної роботи: частота обертання валу вдосконаленої мішалки $k = 24,96$ об/хв, потім потужність на привод валу становить $N_{пр.} = 5,45$ кВт, а також крутний момент на валу активної мішалки

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

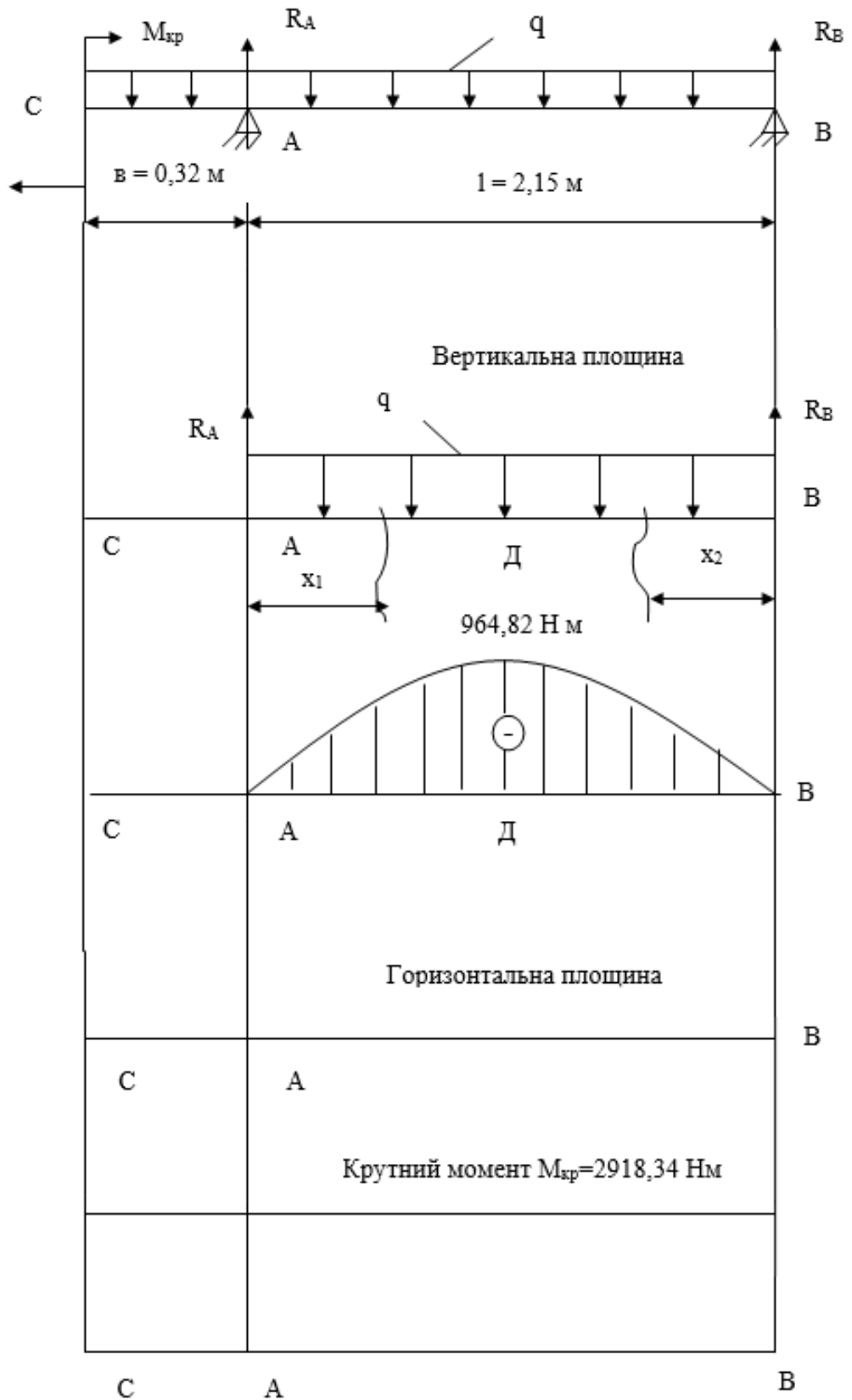


Рис. 3.3. Епюра згинальних і крутних моментів

Проводимо обчислення значень згинальних моментів:

Для першої ділянки: $M_{(x_1)} = R_A \cdot x_1 - \frac{q \cdot x_1^2}{2}$; $0 < x_1 < 1$;

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\text{л}}}{Y_{\text{люд}}} = \frac{380}{1000} = 380 \text{ mA} .$$

Тепер на розгляд винесемо випадок, коли людина одночасно потрапляє під дію двох фаз. Це особливо небезпечно, оскільки сила струму, що проходить через організм, може досягати критичних значень, загрожуючи життю.

При контакті людини з однією з фаз у момент, коли між фазою та землею існує фазна напруга U , необхідно передбачити відповідні заходи захисту.

Використовуючи відповідний вираз, проведемо розрахунок сили струму, яка фактично впливає на організм:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{Y_{\text{люд}} + Y_{\text{вз}} + Y_n + Y_o} \quad (4.7)$$

де: U_{ϕ} – встановлена фазна напруга в даній контактній мережі, В;

$Y_{\text{вз}}$, Y_n , Y_o – різні захисні предмети для створення опору: наявне взуття, підлога, а також ефективне заземлення нейтралі, Ом.

Наприклад, якщо людина стоїть у взутті, що має в підошві металеві цвяхи та знаходиться на землі або на струмопровідній підлозі (металевій, залізобетонній чи цегляній), то вищевказаними показниками $Y_{\text{вз}}$ і Y_n можна дещо знехтувати.

У такій ситуації опір між тілом людини та землею значно зменшується, що збільшує ризик ураження електричним струмом. Це слід враховувати при проведенні розрахунків та виборі засобів захисту.

Як відомо, що сам опір заземлення нейтралі, є досить незначним, а саме є $Y_o = 40$ Ом. Це значення не є впливовим на людину, і тому виникає можливість для знехтування таким показником при використанні виразу 4.8:

$$I_{\text{люд}} = \frac{U_{\phi}}{Y_{\text{люд}}} . \quad (4.8)$$

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

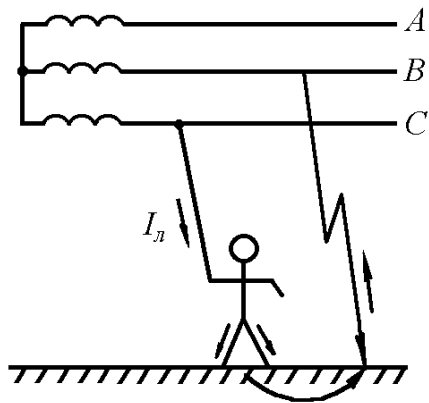


Рис. 4.3. Замикання одного із фазних проводів з ізолюваною нейтраллю

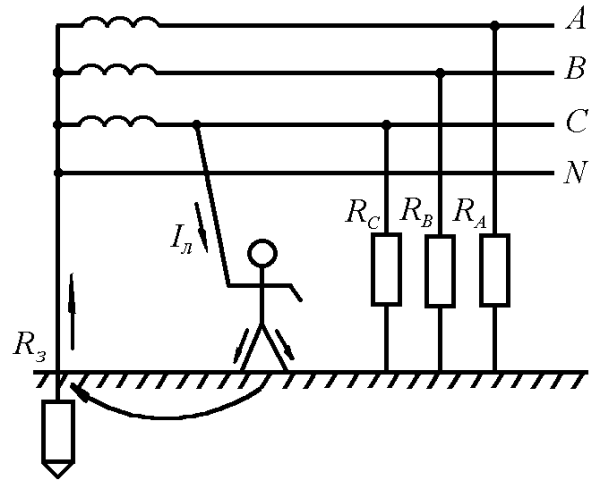


Рис. 4.4 Схема підключення фази

І нарешті, приймаючи $Y_{люд} = 1000$ Ом, можемо встановити значення $I_{люд}$:

$$I_{люд} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ А} = 220 \text{ мА} .$$

Висновок: Отримана сила струму є летальною для людини; практично не залежить від показника опору ізоляції та від фаз відносно заземлення. Як вихід з даної ситуації – це обов’язкове використання ізолюючих підставок, гумових килимків та інших засобів захисту.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP 00.000 ПЗ

Арк.

5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1. Економічна ефективність від впровадження вдосконаленого змішувача

Оцінювання економічної ефективності запропонованої конструкції лопатевого змішувача кормів моделі СКО-Ф-3,0 проведено на основі теоретичних та експериментальних досліджень його конструктивних і режимних параметрів.

На підставі отриманих результатів можна здійснити розрахунок економічної ефективності вдосконаленого змішувача у порівнянні з серійною моделлю.

Як критерій економічної оцінки розглядається річний економічний ефект від використання розробленої машини. Його розмір має гарантувати високий рівень ефективності інвестицій, що не повинен бути нижчим за нормативний показник 0,2 на етапі випробувань.

До характерних показників порівняльної економічної ефективності належать річний економічний ефект, термін окупності додаткових інвестиційних вкладень, а також річна економія ресурсів.

Річний економічний ефект від використання нової машини (E_p), враховуючи обсяг і якість продукції, визначали у гривнях згідно наступного виразу:

$$E_p = (P_{\bar{o}} - P_n) \cdot B_z + E_{\bar{y}}, \quad (5.1)$$

де: $P_{\bar{o}}, P_n$ – це сукупні об'єднані витрати тільки на одиницю наробітку, тобто по базовій та розробленій модернізованій машинах, грн./од. наробітку;

B_z – встановлений річний обсяг пройденого наробітку розробленою машиною в різних кліматичних умовах або регіонах, од. наробітку;

$E_{\bar{y}}$ – визначений річний економічний ефект, який забезпечується за рахунок зміни показників кількості і якості приготовленої продукції, грн.

Річний обсяг визначеного наробітку даною машиною в одиницях наробітку виконували за виразом 5.2:

$$B_z = W_{ek} \cdot T_z, \quad (5.2)$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

MP 00.000 ПЗ

де: $W_{ек}$ – встановлена продуктивність саме нової машини тільки за 1 годину експлуатаційного часу, тобто од. наробітку/год;

T_3 – річне навантаження розробленої машини в певному регіоні, год.

Таким чином, річна економія (О) від проведення експлуатаційних навантажень даної машини у гривнях обчислювали за таким виразом:

$$O = (I_{\bar{o}} - I_n) \cdot B_3, \quad (5.3)$$

де: $I_{\bar{o}}, I_n$ – встановлені прямі експлуатаційні витрати, а саме, по базовій та по вдосконаленій машинах тільки на одиницю наробітку, грн./од. наробітку.

Період окупності різних додаткових інвестицій на нашу нову машину у роках потрібно оцінити згідно виразу:

$$T_{окд} = \frac{K_n - K_{\bar{o}}}{O}, \quad (5.4)$$

де: $K_n, K_{\bar{o}}$ – різні сумарні інвестиції в конструкцію нової, а також базової машин, грн.

різноманітні сукупні витрати (П) у гривнях тільки на одиницю встановленого наробітку обчислювали га таким виразом:

$$P = I + K \cdot E_n, \quad (5.5)$$

де: I – встановлений чинник, що характеризує експлуатаційні витрати, грн./од. наробітку;

K – питомий чинник, що характеризує інвестиційні вкладення, грн./од. наробітку;

E_n – встановлений нормативний коефіцієнт, що обґрунтовує економічну ефективність.

Таким чином, наявні прямі експлуатаційні витрати (И) у гривнях тільки на одиницю встановленого наробітку обчислювали за наступною формулою:

$$I = Z + \Gamma + P + A, \quad (5.6)$$

де: Z – сформовані затрати на оплату праці персоналу, що обслуговує розроблену техніку, грн./од. наробітку;

					<i>MP 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

