МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерних технологій та професійної освіти
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
«___»_____ 2026 р.
Зав. кафедри _д.т.н., професор___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ __Володимир ДІДУР___
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Розробка проєкту свинарської ферми з удосконаленням змішувача премікcів»

Виконав: студент 4 курсу, групи 41-ім
освітньої програми___бакалавр_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
Захуцький Денис Миколайович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник доктор філософії, доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1. ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ СВИНОФЕРМИ 8

1.1. Вибір породи та обґрунтування технологічних рішень у свинарстві 8

1.2. Визначення чисельності та структури свинопоголів'я в межах виробничої програми 10

1.3. Розрахунок потреби в основних виробничих приміщеннях ферми 16

1.4. Висновки за розділом 18

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ДОПОМІЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ФЕРМИ 19

2.1. Розрахунок складських приміщень для зберігання кормів 19

2.2. Визначення параметрів гноєсховищ та складських площ для підстилки 21

2.3. Обчислення потреби у воді та вибір системи водопостачання 23

2.4. Концепція планування свинарського господарства 26

2.5. Висновки за розділом 27

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРЕМІКСІВ 29

3.1. Стан питання та аналіз конструкцій для змішування premіксів 29

3.2. Розробка та принцип роботи вдосконаленого змішувача 31

3.3. Обчислення ключових експлуатаційних параметрів змішувального пристрою 32

3.3.1. Оцінка геометричних параметрів та місткості 32

3.3.2. Визначення масових та вагових характеристик завантаження камери 33

3.3.3. Аналіз та розрахунок силових навантажень конструкції 34

3.3.4. Обґрунтування вибору та перевірочний розрахунок шатуна 35

3.3.5. Кінематичний розрахунок та оцінка клинопасового привода 37

3.3.6. Аналіз напруженого стану та довговічності вала конструкції 39

3.3.7. Вибір та розрахунок опорних вузлів вала змішувача 44
3.3.8. Перевірочний розрахунок шпонкового з’єднання 45
3.4. Висновки за розділом 46
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ …..... 47
4.1. Забезпечення безпечних умов праці при експлуатації вібраційної установки 47
4.2. Технічні засоби електрозахисту під час роботи 48
4.3. Висновки за розділом 49
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕНОГО ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРЕМІКСІВ 50
ВИСНОВКИ 54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 55

ВСТУП

Тваринництво становить одну з фундаментальних галузей агропромислового комплексу України, постачаючи країні стратегічно важливі продовольчі ресурси, зокрема м'ясо, молочні продукти та яйця. У контексті сучасної економічної кон'юнктури та демографічного зростання, прогрес тваринницької галузі набуває виняткового значення. Україна володіє сприятливими природно-кліматичними передумовами для диверсифікованого розвитку тваринницьких підгалузей, таких як скотарство, свинарство, птахівництво та вівчарство. Водночас, сектор стикається з низкою суттєвих викликів, до яких належать ринкова волатильність, зростання собівартості продукції та труднощі у сфері кормозабезпечення.

Свинарство посідає провідну позицію у загальній структурі тваринництва України. Ця підгалузь забезпечує значну частку вітчизняного ринку м'яса та є ключовим джерелом високоякісного білка для населення. Протягом останніх років свинарська галузь в Україні пережила значні трансформації, що охоплюють модернізацію виробничих циклів та імплементацію інноваційних технологій. Проте, існують обмежувальні чинники, такі як поширення хвороб, високі кормові витрати та дефіцит інвестиційного капіталу, які стримують її подальший розвиток. Подолання зазначених перешкод є пріоритетним завданням для забезпечення сталого прогресу галузі.

Основоположним чинником успішного функціонування свинарства є оптимізована система кормозабезпечення. Ефективне кормовиробництво безпосередньо впливає на продуктивність тварин, їхній фізіологічний стан та органолептичні характеристики кінцевої продукції. Раціональне харчування, що охоплює всі поживні вітаміни, речовини та мінеральні елементи, сприяє зростанню продуктивності свиней, мінімізації виникнення захворювань та покращенню якісних параметрів м'ясної продукції. У сучасних реаліях критично важливим є впровадження інноваційних стратегій у сфері

кормозабезпечення, зокрема застосування біотехнологій та оптимізація кормових раціонів. Такі заходи сприятимуть зменшенню собівартості кормів, підвищенню економічної рентабельності виробництва та забезпеченню стабільного розвитку свинарства в Україні.

РОЗДІЛ 1
ВИРОБНИЧО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЄКТУВАННЯ СВИНОФЕРМИ

1.1. Вибір породи та обґрунтування технологічних рішень у свинарстві

При обґрунтуванні вибору поголів’я для свинарського комплексу необхідно враховувати низку стратегічних факторів, що безпосередньо впливають на рентабельність виробництва. Першочерговим критерієм є спеціалізація господарства: для отримання високоякісної свинини пріоритет надається м’ясним типам, тоді як для отримання шпику або комбінованої продукції доцільно обирати сальні чи універсальні породи відповідно. Також критичне значення мають регіональні кліматичні особливості, генетичний потенціал тварин, їхня резистентність до захворювань та показники відтворення. Особлива увага приділяється інтенсивності росту, ефективності конверсії корму та забійним якостям туш.

Для реалізації даного проєкту обрано полтавську м’ясну породу (рис. 1.1), яка характеризується білою мастю та високою адаптивністю. Дана порода є результатом складного відтворювального схрещування п’яти генотипів: великої білої, миргородської, ландраса, уессекс-седлбекської та п’єтрена порід. Тварини цієї селекції демонструють високі показники продуктивності: багатоплідність свиноматок становить 10–12 поросят за один опорос, а середньодобовий приріст молодняка на відгодівлі сягає 740–756 г [1].

Тварини полтавської м’ясної породи характеризуються міцною конституцією та гармонійною будовою тіла. Особини вирізняються значними габаритами: тулуб довгий, з масивними, добре розвиненими плечима та грудною кліткою, а також широкою прямою спиною. Екстер'єр доповнює легка голова з невеликими, дещо звислими вухами. Показники живої маси дорослих

кнурів-плідників коливаються в межах 300–350 кг, тоді як середній показник для свиноматок становить близько 216 кг.

Ключовими перевагами даної селекції є стійкий імунітет, невибагливість до раціону годівлі та висока репродуктивна здатність. Завдяки відмінній адаптації до кліматичних умов України, ці свині придатні для утримання як у великих промислових комплексах, так і в невеликих господарствах, оскільки вони не потребують специфічних умов догляду. Така технологічність робить породу оптимальним вибором для фермерів із різним рівнем досвіду. Виражених недоліків у породи не зафіксовано; наявні зауваження мають технологічний характер і легко нівелюються за належного рівня управління на фермі [2].



Рис. 1.1. Зовнішній вигляд свиней м’ясної породи

Універсальність породи свиней забезпечила їй широке визнання та активне впровадження як у промисловому секторі, так і в структурі малих приватних господарств України. Важливим аспектом є безперервна селекційна робота, спрямована на вдосконалення продуктивних характеристик та збереження генетичного потенціалу породи. Завдяки сталій генетичній модернізації дана селекція зберігає лідерські позиції на вітчизняному ринку та має високий експортний потенціал для закордонних тваринницьких підприємств.

В умовах сучасного свинокомплексу ефективність забезпечується застосуванням потоково-ритмічного методу виробництва. Ця технологія

передбачає формування однорідних технологічних груп тварин за віковими та статевими ознаками, які переміщуються між виробничими дільницями відповідно до встановленого часового інтервалу. Для потужних підприємств найбільш доцільним є впровадження 7-денного (тижневого) ритму. Маючи визначене значення ритму виробництва (позначимо його як Р), з'являється можливість розрахувати необхідну кількість технологічних груп для забезпечення заданих обсягів виходу готової продукції [3]:

$$n_{\text{тг}} = \frac{365}{p}, \tag{1.1}$$

$$n_{\text{тг}} = \frac{365}{7} = 52{,}14.$$

Згідно з технологічним розрахунком, до прийняття встановлено 52 групи тварин. На основі актуальних показників продуктивності обраної породи, зокрема середньодобових приростів, визначено тривалість основних технологічних етапів. Загальний цикл утримання свиноматок розподіляється на наступні фази: період для холостих свиноматок становить 14 діб, для умовно поросних — 35 діб, для підсисних — 35 діб, а найтриваліший етап — для поросних свиноматок — триває 77 діб. Технологічні цикли для молодняка розраховані таким чином: період дорощування поросят охоплює 56 діб, тоді як фінальний етап відгодівлі триває 112 діб [3].

1.2. Визначення чисельності та структури свинопоголів'я в межах виробничої програми

Визначення необхідної кількості свиней на фермі є складним завданням, оскільки воно базується на аналізі біологічних процесів, яким притаманна мінливість та нестабільність окремих показників. До основних факторів, що впливають на формування поголів'я, належать рівень заплідненості

свиноматок, кількість отриманих поросят за один опорос, а також темпи росту молодняку. Зокрема, не всі свиноматки запліднюються з першого осіменіння, що може зменшити загальну чисельність приплоду. Крім того, кількість народжених поросят у гнізді варіюється, а швидкість їх росту впливає на тривалість досягнення товарної маси.

В рамках даного проєкту передбачається організація свинарського підприємства з річним обсягом виробництва 2200 тонн м’яса у живій масі. Для визначення кількості тварин, необхідних для реалізації протягом року, використовується відповідна розрахункова залежність, що враховує запланований обсяг виробництва та середню живу масу товарної свині [3]:

$$П_р = \frac{B1000}{M}, \text{гол}, \quad (1.2)$$

Де B – річний обсяг виробництва м'яса, т;

M – маса живої свині, призначеної для товарного виробництва, що коливається в межах від 100 до 125 кг.

За умови прийняття середньої маси на рівні 120 кг, розрахункова кількість становить:

$$П_р = 2200 * 1000/120 = 18333{,}3 \approx 18334 \text{ гол.}$$

З метою забезпечення необхідного обсягу реалізації визначається кількість поросят, які повинні бути відібрані з опоросів з урахуванням коефіцієнтів збереженості на різних етапах вирощування. Враховуючи показники збереженості на етапах підсисного періоду, дорощування та відгодівлі, розрахункова потреба у поросятах [3]:

$$П_{оп} = П_р / (k_в * k_д * k_с) \quad (1.3)$$

Де $k_Д$– коефіцієнт виживання молодняку свиней у період дорощування (діапазон значень: 0,94–0,96);

$k_В$ – коефіцієнт виживання молодняку свиней у період відгодівлі (діапазон значень: 0,97–0,98);

$k_С$– коефіцієнт виживання сисних поросят (діапазон значень: 0,9–0,95).

$$П_{оп} = \frac{18334}{0{,}98 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}95} = 20512{,}59 \text{ гол.}$$

Розрахункова потреба у поросятах становить 20513 голів.

Далі визначається кількість поросят, що припадає на одну технологічну групу відповідно до прийнятого ритму виробництва [3]:

$$П^{г}_{оп} = П_{оп} / n_{тг} \quad (1.4)$$

$$П^{г}_{оп}=20513/52=394{,}48 \text{ гол.}$$

При ритмі 7 днів і загальній кількості 52 групи, чисельність поросят на один опорос становить 395 голів.

Виходячи із середньої багатоплідності свиноматок, визначається необхідна кількість підсисних свиноматок у групі [3]:

$$N_{під} = \frac{П_{оп}^{г}}{П}, \text{ гол.} \quad (1.5)$$

Де П – чисельність поросят за одне народження приплоду, при цьому її значення коливається від 8 до 16 особин [4].

$$N_{під} = \frac{395}{11} = 35{,}9 \text{ гол.}$$

Відповідно до результатів обчислення (1.5), чисельність підсисних свиноматок у групі заокруглюється до найближчого парного значення ($N_{під}$=36). Потім відбувається коригування кількості новонароджених поросят з урахуванням ритму [3]:

$$П^{г}_{оп}{}' = N_{під} \cdot П, \text{ гол,} \quad (1.6)$$

$$П^{г}_{оп}{}' = 36 \cdot 11 = 396 \text{ гол.}$$

На наступному етапі розраховують чисельність молодняку на стадії дорощування та відгодівлі з урахуванням коефіцієнтів збереженості [3]:

$$П^{г}_{д} = П^{г}_{оп}{}' \cdot k_{с}, \text{ гол,} \quad (1.7)$$

$$П^{г}_{д} = 396 \cdot 0{,}95 = 376{,}2 \approx 377 \text{ гол.}$$

Таким чином, кількість поросят у групі дорощування становить 377 голів, а на етапі відгодівлі[3]:

$$П^{г}_{від} = П^{г}_{д} \cdot k_{д}\ , гол, \quad (1.8)$$

$$П^{г}_{від} = 377 \cdot 0{,}96 = 361{,}2 \approx 362\ гол.$$

Кількість технологічних груп, які одночасно перебувають у виробництві, визначається залежно від тривалості утримання тварин, санітарних перерв та часу формування груп [3]:

$$Г_{і} = \frac{t_{і}^{у} + t_{і}^{сан} + t_{і}^{фг}}{p}, \quad (1.9)$$

Де $t_{і}^{сан}$ – тривалість дезінфекції приміщення, діб;

$t_{і}^{у}$ – тривалість утримання, діб;

$t_{і}^{фг}$ – тривалість формування групи, діб.

Таким чином, загальна кількість технологічних груп на підприємстві дозволяє вибудувати чітку логістику руху поголів'я, де кожна група переходить на наступний етап суворо через кожні 7 діб. Це мінімізує простої приміщень та оптимізує використання кормових і трудових ресурсів. За результатами виконаних розрахунків визначено кількість технологічних груп для різних виробничих категорій свиней. Зокрема, для підсисних свиноматок встановлено 4 групи. Для холостих свиноматок кількість груп становить 2. Умовно поросні свиноматки представлені 5 групами. Для поросних свиноматок розраховано 11 груп. У сегменті дорощування визначено 8 технологічних груп, а для відгодівлі свиней — 16 груп:

$$Г_{під} = \frac{4 + 21 + 3}{7} = 4,$$

$$Г_{хол} = \frac{14}{7} = 2,$$

$$Г_{ум.пор} = \frac{35}{7} = 5,$$

$$Г_{пор} = \frac{77}{7} = 11,$$

$$Г_{дор} = \frac{49 + 7}{7} = 8,$$

$$Г_{відг} = \frac{109 + 3}{7} = 16.$$

Враховуючи можливий рівень незапліднення, розраховується кількість свиноматок, призначених для осіменіння [3]:

$$N_{\text{ос}} = N_{\text{під}} + N_{\text{під}} \cdot \text{К}_{\text{пх}}, \text{гол.}, \quad (1.10)$$

Де $\text{К}_{\text{пх}}$ – коефіцієнт прохолосту свиноматок приймає значення в діапазоні від 0,15 до 0,2.

$$N_{\text{ос}} = 36 + 36 \cdot 0{,}2 = 43{,}2 \approx 44 \text{ гол.}$$

Відповідно до джерела [3], загальна кількість холостих свиноматок та свиноматок на початкових етапах поросності у виробничих групах буде еквівалентна кількості осіменених свиноматок:

$$N_{\text{хол}} = N_{\text{ум.пор}} = N_{\text{ос}}, \text{гол.}, \quad (1.11)$$

$$N_{\text{хол}} = N_{\text{ум.пор}} = 44 \text{ гол.}$$

Для забезпечення чисельності поросят, яка відповідає запланованій величині групи опоросу, кількість свиноматок у групі на другому етапі супоросності, за умови підтвердженої вагітності, має бути ідентичною [3]:

$$N_{\text{пор}} = N_{\text{під}}, \text{гол.}, \quad (1.12)$$

$$N_{\text{пор}} = 36 \text{ гол.}$$

Для розрахунку чисельності свиней у кожній виробничій групі на господарстві протягом річного періоду застосовуються такі формули [3]:

$$N_{\text{i}}^{\text{заг}} = \Pi_{\text{i}}^{\text{г}} * \Gamma_{\text{i}} \text{ гол.}, \quad (1.13)$$

$$N_{\text{i}}^{\text{заг}} = N_{\text{i}} * \Gamma_{\text{i}} \text{ гол.}, \quad (1.14)$$

Де Γ_{i}– кількість одночасно функціонуючих технологічних груп;

Π_{i} , N_{i} – чисельність голів у відповідній технологічній групі.

$$N_{\text{хол}}^{\text{заг}} = 44 \cdot 2 = 88 \text{ гол.},$$

$$N_{\text{ум.пор}}^{\text{заг}} = 44 \cdot 5 = 220 \text{ гол.},$$

$$N_{\text{пор}}^{\text{заг}} = 36 \cdot 11 = 396 \text{ гол.},$$

$$N_{\text{під}}^{\text{заг}} = 36 \cdot 4 = 144 \text{ гол.},$$

$$N_{\text{дор}}^{\text{заг}} = 377 \cdot 8 = 3016 \text{ гол.},$$

$$N_{\text{відг}}^{\text{заг}} = 362 \cdot 16 = 5792 \text{ гол.}$$

З метою визначення оптимальної чисельності самців-виробників, що

задіюються у процесі штучного осіменіння, враховуються дві ключові детермінанти: щорічний обсяг виробництва спермопродукції одним плідником-самцем, виражений у дозах, а також загальна чисельність свиноматок, які підлягають запліднення [3]:

$$N^{заг}_{кн} = (N_{ос} * n_{тг} * k) / C, \text{ гол.}, \quad (1.15)$$

Де С – річний обсяг сперматозоїдних доз, отриманих від одного племінного кнура-плідника. Для поточних розрахунків, номінальне значення С встановлено на рівні 900 доз на рік;

k – коефіцієнт утилізації сперматозоїдних доз, значення якого зафіксовано на рівні 2,3.

$$N^{заг}_{кн} = (44 * 52 * 2,3) / 900 = 5,85 \approx 6 \text{ гол},$$

У свинарських господарствах, окрім племінних кнурів, для детекції охоти у свиноматок також застосовується кнур-детектор.

По завершенні відлучення ремонтних свинок здійснюється їх відбір та регулярна щотижнева, з урахуванням виробничого циклу, заміна вибракованих маточних особин. Необхідна кількість індивідуальних станків для розміщення ремонтних свинок обчислюється за допомогою наступної формули [3]:

$$N_{рс} = k_{рс} \frac{П_{оп} \cdot t^{ос}_{рс}}{365 \cdot П \cdot О_{заг}} \text{ гол.}, \quad (1.16)$$

Де $t^{ос}_{рс}$ – віковий показник першого запліднення ремонтного поголів'я, встановлений на рівні 235 діб);

$О_{заг}$ – загальне число відтворних циклів на одну свиноматку, що варіюється в діапазоні від 5 до 6;

$k_{рс}$ – коефіцієнт селекційного вилучення ремонтного поголів'я протягом періоду утримання та після завершення першого опоросу, який становить 1,4.

Визначено:

$$N_{рс} = 1,4 \frac{20513 \cdot 235}{365 \cdot 88 \cdot 5} = 42,03 \approx 42 \text{ гол.}$$

Узагальнені результати розрахунків поголів’я свиней за технологічними групами наведені у відповідній таблиці 1.1, що дозволяє сформувати повне уявлення про структуру виробництва на фермі.

Таблиця 1.1

Чисельність та структура свинопоголів’я в межах виробничої програми

Групи за технологічним призначенням	Основні категорії поголів'я	Чисельність свинопоголів’я у технологічній групі	Сукупна чисельність, гол
1	Ремонтні свинки	43	43
-	Свиноматки:	-	-
8	Дорощування	377	3016
11	поросні	36	396
2	холості	44	88
4	Поросята-сисуни	396	1584
1	Кнури	6	6
4	підсисні	36	144
16	Відгодівля	362	5792
5	умовно поросні	44	220

1.3. Розрахунок потреби в основних виробничих приміщеннях ферми

Під час вибору свинарників необхідно враховувати сучасну технологію утримання тварин, яка базується на специфічних системах розведення та принципах фазного вирощування молодняку. З огляду на розрахункову чисельність поголів’я (табл. 1.1), для даного підприємства пропонується впровадження комбінованої системи утримання. Вона передбачає поєднання вигульної системи для кнурів, свиноматок та ремонтного молодняку з безвигульною системою для поросят на відгодівлі. Вигульний спосіб краще відповідає природним потребам тварин, сприяючи зміцненню їхнього здоров’я та підвищенню продуктивності, тоді як безвигульний спосіб є оптимальним для товарних свиней, оскільки забезпечує суворий контроль раціону та ефективне використання виробничих площ.

Згідно з технологічними рекомендаціями, кнури, а також холості, умовно поросні та підсисні свиноматки потребують індивідуального розміщення. Для решти стада, особливо для тварин на стадіях дорощування та відгодівлі, доцільно застосовувати груповий спосіб утримання. З метою створення оптимальних умов для молодняку на різних етапах розвитку використовується трифазна система вирощування. Вона включає першу фазу спільного утримання підсисних поросят із матками, другу фазу дорощування у спеціалізованих приміщеннях та третю фазу фінішної відгодівлі у свинарниках-відгодівельниках.

Відповідно до розрахунків, для розміщення 144 підсисних свиноматок з поросятами-сисунами необхідний свинарник-маточник за типовим проєктом 802-144, який розрахований на 160 місць і має габарити 18 на 96 метрів. Визначення кількості будівель здійснюється за формулою 1.17:

$$N_{ni} = \frac{N^{\text{заг}}}{m_{ni}}, \qquad (1.17)$$

Де $N_i^{\text{заг}}$ – загальне число станкомісць призначених для конкретної технологічної групи, гол.;

m_{ni} – просторова ємність обраного приміщення, гол.

$$N_{\text{п.опор}} = \frac{144}{160} = 0{,}9 \approx 1$$

Для розташування 704 холостих та поросних свиноматок, 43 ремонтних свинок та 6 кнурів, що загалом складає 753 голів, обрано дві будівлі за типовим проєктом 802-208 розміром 18 на 108 метрів. Кожна з них здатна вмістити 360 свиноматок, 50 голів ремонтного молодняку та 5 кнурів:

$$N_{\text{п.св}} = \frac{753}{415} = 1{,}81 \approx 2$$

Для утримання 3016 поросят групи дорощування обрано свинарник за типовим проєктом 802-129, який розрахований на 1800 голів та має розміри 15 на 114 метрів. Розрахунок потреби показує значення 1,68, що зумовлює необхідність зведення двох приміщень для цієї фази вирощування:

$$N_{\text{п.дор}} = \frac{3016}{1800} = 1{,}68 \approx 2$$

Кількість поросят на відгодівлі за розрахунками становить 5792 голови. Для їхнього розміщення обрано свинарник-відгодівельник за типовим проєктом 1343 місткістю 3000 голів та розміром 18 на 102 метри:

$$N_{\text{п.відг}} = \frac{5792}{3000} = 1{,}93 \approx 2$$

Показник потреби у будівлях для відгодівлі становить 1,93, що також відповідає двом одиницям.

1.4. Висновки за розділом

У даному розділі роботи було детально обґрунтовано доцільність розведення полтавської м’ясної породи свиней, яка за сукупністю продуктивних та адаптивних якостей найкраще відповідає умовам проєктування. Для забезпечення високої інтенсивності експлуатації об’єкта обрано потоково-ритмічну технологію виробництва з оптимальним семиденним ритмом, що дозволяє раціонально використовувати ресурси та робочий час.

На основі заданого річного обсягу виробництва у 2200 тонн м’яса було проведено детальний розрахунок чисельності поголів’я в кожній технологічній групі. Це дозволило точно визначити структуру стада та потребу в станкомісцях. Для кожної категорії тварин підібрано відповідні типи виробничих приміщень за діючими типовими проєктами, що забезпечує дотримання зоогігієнічних норм та технологічну цілісність усього свинарського комплексу.

РОЗДІЛ 2
ПРОЄКТУВАННЯ ДОПОМІЖНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ФЕРМИ

2.1. Розрахунок складських приміщень для зберігання кормів

Визначення місткості та необхідної кількості складських приміщень для зберігання кормів є критично важливим етапом проєктування, що базується на детальному аналізі поточних потреб поголів'я та встановлених нормах резервного запасу. Планування параметрів кормосховищ здійснюється з урахуванням сумарного об'єму компонентів раціону, який має зберігатися на підприємстві протягом визначеного технологічного періоду. При цьому розрахунок місткості споруд залежить від видового різноманіття кормів та обсягу страхового фонду, наявність якого гарантує стабільну годівлю тварин у разі виникнення непередбачуваних ситуацій, збоїв у графіках постачання або сезонних коливань ринку.

З урахуванням вищезазначених факторів, кількісні та габаритні характеристики кормосховищ будуть обчислені з метою забезпечення належного обсягу фуражних запасів, відповідно до зоотехнічно обґрунтованих потреб тварин. Обсяг резерву кожного конкретного виду корму згідно з формулою [3]:

$$G_i = 10^{-3} k_в D \sum_{i=1}^{n} q_{ii} N_i, \qquad (2.1)$$

Де G_i – величина резерву конкретного виду кормових компонентів, т;

q_{ii} нормована добова кількість корму для однієї тварини відповідної статево-вікової групи, кг. (табл. 2.1);

N_i – чисельність тварин у кожній групі;

$k_в$ – коефіцієнт, що враховує технологічні втрати корму при зберіганні та транспортуванні (зокрема, для концентрованих кормів і трав'яного борошна він становить 1,01, для коренебульбоплодів — 1,03, а для силосу та сінажу — 1,1) [3];

n – загальна кількість технологічних груп на фермі;

D – тривалість зберігання запасу в добах: згідно з чинними рекомендаціями, для соковитих кормів цей період становить 210 днів, тоді як для комбікормів зазвичай приймається 30-денний запас. Для грубих кормів, таких як солома, обсяг сховищ розраховують виходячи з 15–25% від загальної річної потреби підприємства.

Таблиця 2.1

Добові норми годівлі тварин за видами кормів

Концентровані корми, кг	Категорія тварин	Дегідратовані зелені корми, кг	Маса коренеплодів та бульбоплодів, кг
0,4	Поросята сисуни	-	-
3,1	Кнури	-	-
1,3	Поросята на дорощуванні	0,026	-
2,5	Свині на відгодівлі	0,07	-
2,2	Ремонтний молодняк	-	1
5	Матки підсисні	-	1,5
2,2	Свиноматки супоросні	0,15	-

На підставі даних щодо добової норми споживання кормів на одну тварину здійснюється визначення необхідного резерву кожного типу кормових засобів:

$$G_{\text{конц}} = 10^{-3} \cdot 1{,}01 \cdot 30 \cdot (3{,}1 \cdot 6 + 2{,}2 \cdot 704 + 5 \cdot 144 + 0{,}4 \cdot 1584 + 1{,}3 \times$$

$$\times 3061 + 2{,}5 \cdot 5792 + 2{,}2 \cdot 43) = 648{,}92 \text{ т}$$

$$G_{\text{кор}} = 10^{-3} \cdot 1{,}03 \cdot 210 \cdot (1{,}5 \cdot 144 + 1 \cdot 43) = 56{,}02 \text{ т}$$

$$G_{\text{тр.бор}} = 10^{-3} \cdot 1{,}01 \cdot 30 \cdot (0{,}15 \cdot 704 + 0{,}026 \cdot 3016 + 0{,}07 \cdot 5792) =$$

$$17{,}86 \text{ т}$$

Подальшим етапом є обчислення об’єму відповідних кормових ресурсів за формулою:

$$VV_i = \frac{G_i}{\rho_i}, \text{м}^3, \tag{2.2}$$

Де ρ_i – є питома щільність відповідного кормового матеріалу.

$$V_{\text{конц}} = 648{,}92/0{,}8 = 811{,}15 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{кор}} = 56{,}02/0{,}67 = 83{,}62 \text{ м}^3$$

$$V_{\text{тр.бор}}=17{,}86/0{,}6=29{,}77 \text{ м}^3$$

Для забезпечення належних умов зберігання розрахованих обсягів ресурсів на підприємстві передбачено використання капітальних складських споруд. Для концентратної групи кормів рекомендовано будівництво складу за типовим проєктом 813-165. Дана споруда має корисну місткість 450 м³ при габаритних розмірах 12×18 метрів, що дозволяє раціонально розмістити запаси комбікормів із дотриманням необхідних проходів для засобів механізації та вентиляції.

З метою якісного збереження соковитих кормів та вітамінних добавок, зокрема коренебульбоплодів і трав'яного борошна, у проєкті пропонується експлуатація універсального складу за типовим проєктом 813-235. Приміщення має загальну місткість 145 м³ та компактні розміри 9×12 метрів.

2.2. Визначення параметрів гноєсховищ та складських площ для підстилки

Розрахунок загальної місткості сховищ для побічних продуктів тваринництва проводиться з метою забезпечення стабільної роботи ферми протягом зимового періоду. Об'єм гноєсховища повинен гарантувати зберігання накопиченої маси протягом 120–200 діб, що відповідає технологічним вимогам весняного внесення добрив у ґрунт. Для визначення сумарної маси гною використовується розрахункова модель, яка враховує запланований термін зберігання *(D)*, кількість поголів'я (m_i) у кожній технологічній групі, а також середньодобові показники виходу екскрементів ($q_{\text{гн}i}$), сечі (q_{ci}) та витрати підстилкового матеріалу ($q_{\text{п}i}$) [3]:

$$G_{\text{гн}} = 10^{-3} D \sum_{i=1}^{n} (q_{\text{гн}i} + q_{ci} + q_{\text{п}i}) m_i \text{, т,} \qquad (2.3)$$

У таблиці 2.2 наведено вихідні дані щодо кількості гною та підстилки для різних статево-вікових груп тварин, що стали основою для проведення

подальших обчислень.

Таблиця 2.2

Добовий обсяг органічних відходів та підстилкового матеріалу [3]

Категорія тварин	Середньодобовий обсяг фекалій, кг/гол	Середньодобова витрата підстилкового матеріалу, кг/гол	Середньодобовий обсяг сечі, кг/гол
Матки підсисні	12	1,3	10
Свиноматки супоросні	9	0,5	6
Молодняк для відтворення стада	5	0,2	2,5
Поросята на етапі дорощування	2,5	0,3	0,8
Відгодівельні свині	7	0,15	5
Кнури	3	0,8	4

На основі отриманих результатів встановлено, що загальна маса гною за 120-денний період становить:

$$G_{\text{гн}} = 10^{-3} \cdot 120 \cdot ((3+4) \cdot 6 + (9+6) \cdot 704 + (12+10) \times$$

$$\times 144 + (2{,}5 + 0{,}8) \cdot 3016 + (7+5) \cdot 5792 + (5+2{,}5) \cdot 43) = 11226 \text{ т}$$

Враховуючи, що середня щільність гною складає 1,07 т/м³, розрахунковий об’єм сховища становить:

$$VV_{\text{гн}} = \frac{11226}{1{,}07} = 10491{,}51 \text{ м}^3$$

З огляду на ці показники, для проєкту обрано гноєсховище за типовим проєктом 915-213, яке має корисну місткість 11000 м³ та розміри 30 на 90 метрів. Крім розрахунку гноєсховищ, визначено річну потребу підприємства у підстилці [3]:

$$G_{\text{п}} = 10^{-3} D \sum_{i=1}^{n} q_{\text{п}i} m_i \text{, т,} \qquad (2.4)$$

$$G_{\text{п}} = 10^{-3} \cdot 365 \cdot (0{,}8 \cdot 6 + 0{,}5 \cdot 704 + 1{,}3 \cdot 144 + 0{,}3 \cdot 3016 + 0{,}15 \cdot 5792 +$$

$$+0{,}2 \cdot 43) = 849{,}1 \text{ т}$$

Сумарна маса підстилкових матеріалів за 365 діб для всього поголів'я ферми становить 849,1 тонни. Зберігання такого об’єму ресурсів найчастіше організовується у вигляді скирт (ожередів), які розташовуються на спеціально обладнаних майданчиках за межами основної виробничої зони. Кількість

необхідних скирт розраховується як співвідношення річного об’єму підстилки ($V_{\text{п}}$, м^3) до місткості однієї ожереди ($V_{\text{с}}$, м^3) [6]:

$$N_{\text{ск}} = \frac{VV_{\text{п}}}{VV_{\text{с}}}, \tag{2.5}$$

Розрахунок для скирт, що мають пласку верхню поверхню, здійснюється за наступним математичним виразом:

$$V_{\text{с}} = (0{,}52h + 0{,}46b)bl, \text{м}^3, \tag{2.6}$$

Де h, b, l – лінійні габаритні параметри скирти. Згідно з чинними нормативними положеннями, їхні значення рекомендовано встановлювати в таких діапазонах: висота (h) – від 4 до 5 метрів, ширина (b) – від 6 до 7 метрів, а довжина (l) – до 60 метрів включно.

$$V_{\text{с}} = (0{,}52 \cdot 5 + 0{,}46 \cdot 7) \cdot 7 \cdot 44 = 1792{,}56 \text{ м}^3$$

Таким чином, загальний обсяг скирд підстилки:

$$N_{\text{ск}} = 849{,}1/0{,}12/1792{,}56 = 3{,}94$$

Враховуючи насипну щільність підстилки, встановлено, що для повного забезпечення потреб господарства необхідно закласти 4 скирди відповідного розміру 44×7×5 м.. Таке рішення дозволяє забезпечити ферму необхідною кількістю підстилки протягом року, дотримуючись при цьому вимог протипожежної безпеки та санітарних норм.

2.3. Обчислення потреби у воді та вибір системи водопостачання

Водонапірні башти відіграють ключову роль у забезпеченні стабільної роботи свиноферми, слугуючи основним резервуаром для накопичення та подачі води. Загальний об'єм такої ємності має передбачати достатні запаси води для різноманітних виробничих процесів, що забезпечує безперебійне функціонування об'єкта.

Експлуатаційний об'єм виділяється для поточних щоденних потреб,

таких як поїння тварин, приготування кормів та підтримка санітарно-гігієнічних норм у приміщеннях. Аварійний об'єм слугує резервом на випадок можливих перебоїв у функціонуванні водопостачальних систем. Окремий протипожежний об'єм гарантує наявність води для гасіння можливих пожеж та захисту споруд підприємства.

Загальна ємність водонапірної башти розраховується за формулою 2.7 як сума робочої ємності резервуара ($V_р$), аварійного ($V_{ав}$) та протипожежного запасів води ($V_п$). Необхідна кількість ресурсу варіюється залежно від чисельності поголів'я, кліматичних умов та продуктивності джерел водопостачання.

$$V_б = V_р + V_{ав} + V_п, \text{ м}^3, \tag{2.7}$$

Для розрахунку робочої місткості [4, 6] спочатку визначається середньодобова витрата води на основі галузевих норм споживання для кожної статево-вікової групи:

$$V_р = (0{,}15 - 0{,}3)Q_{доб}, \text{ м}^3, \tag{2.8}$$

Де (0,15 – 0,3) – коефіцієнт тривалості роботи насосної станції встановлюється в діапазоні від 0,15 до 0,3. Для однозмінної роботи приймається значення 0,3, тоді як для двозмінної – 0,15;

$Q_{доб}$ – показник добового об'єму витрати води, м^3 [3]:

$$Q_{доб} = 10^{-3} \sum_{i=1}^{n} g_i m_i, \text{ м}^3, \tag{2.9}$$

Де gi — добова норма споживання води на одну голову тварин відповідної технологічної групи, л/гол: підсисні свиноматки з приплодом — 20 л/гол; холості та поросні свиноматки — 12 л/гол; кнури — 10 л/гол; поросята на відгодівлі — 6 л/гол; ремонтний молодняк — 6 л/гол; відлучені поросята — 2 л/гол.

Відповідно до структури стада, що включає кнурів, свиноматок на різних стадіях циклу та поросят, сумарна добова витрата води для даного господарства становить:

$$Q_{\text{доб}} = 10^{-3}(10 \cdot 6 + 12 \cdot 704 + 20 \cdot 144 + 2 \cdot 3016 + 6 \cdot 5792 + 6 \cdot 43) = 52{,}5 \text{ м}^3$$

З урахуванням коефіцієнта тривалості роботи насосної станції при однозмінному режимі, робоча ємність резервуара становить:

$$V_{\text{р}} = 0{,}3 \cdot 52{,}5 = 7{,}86 \text{ м}^3$$

Аварійний запас води $V_{\text{ав}}$ визначається з урахуванням часу, необхідного для усунення можливих несправностей у системі водопостачання. Тривалість ліквідації аварійної ситуації приймається $t_{\text{ав}}$ = 2 год [6]:

$$V_{\text{ав}} = t_{\text{ав}} \cdot Q_{\text{год.}max}, \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

Де $Q_{\text{год.}max}$ – максимальна годинна витрата води, м^3/год:

$$Q_{\text{год.}max} = \frac{\alpha_{\text{г}} \cdot \alpha_{\text{д}} \cdot Q_{\text{доб}}}{24}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.11)$$

Де $\alpha_{\text{г}}$ і $\alpha_{\text{д}}$ – коефіцієнти годинної та добової нерівномірності водоспоживання відповідно. Для розрахунків прийняті значення: $\alpha_{\text{д}} = 1{,}3$, $\alpha_{\text{г}} = 2\ldots2{,}5$.

$$QQ_{\text{год.}max} = \frac{2 \cdot 1{,}3 \cdot 52{,}5}{24} = 5{,}53 \text{ м}^3/\text{год}.$$

То,

$$V_{\text{ав}} = 2 \cdot 5{,}53 = 11{,}06 \text{ м}^3$$

Визначення запасу води для пожежогасіння здійснюється згідно з формулою [7]:

$$V_{\text{п}} = 3{,}6 \cdot Q_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}}, \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

Де $t_{\text{п}}$ – тривалість пожежогасіння, що варіюється від 2 до 3 годин;

$Q_{\text{п}}$ – витрата води, необхідна для пожежогасіння, становить 10 л/с.

Згідно з методикою, викладеною у формулі (2.12), для водонапірної башти, призначеної для обслуговування свиноферми, передбачається накопичення протипожежного запасу води в діапазоні від 75 до 110 м^3. Це обґрунтовано необхідністю забезпечення достатнього водного ресурсу для оперативного та ефективного гасіння можливих пожеж на об'єкті. Однак, у даному випадку, для башти прийнято забезпечувати протипожежний запас об'ємом $V_{\text{п}} = 6$ м^3, що є достатнім для ліквідації загоряння протягом 10

хвилин.

Сумарний розрахунковий об’єм резервуара водонапірної башти складає:

$$V_б = 7{,}86 + 11{,}06 + 6 = 24{,}92 \text{ м}^3$$

На основі проведених обчислень для встановлення на фермі обрано уніфіковану водонапірну башту системи Рожновського моделі БР-25 номінальною місткістю 25 метрів кубічних [6].

2.4. Концепція планування свинарського господарства

Формування генерального плану свиноферми базується на комплексному врахуванні організаційних, технологічних, ветеринарно-санітарних та інженерних вимог [3, 4, 5]. Одним із ключових завдань при проєктуванні є раціональна організація внутрішніх транспортних потоків для переміщення тварин, кормів та готової продукції. Це дозволяє суттєво підвищити ефективність логістики, забезпечити суворе дотримання санітарних норм та оптимізувати протяжність інженерних комунікацій, що безпосередньо впливає на собівартість виробництва.

Планувальне рішення господарства передбачає компактне розміщення виробничих об’єктів із безумовним дотриманням норм технологічної та протипожежної безпеки. Досягається це шляхом функціонального групування будівель у блоки, що дозволяє зменшити площу забудови та витрати на прокладання мереж водопостачання, електроенергії та систем гноєвидалення. При цьому орієнтація тваринницьких приміщень здійснюється з урахуванням рози вітрів та сторін світу, що сприяє ефективному природному провітрюванню та забезпечує нормативний рівень інсоляції всередині свинарників.

Особлива увага приділяється екологічній та біологічній безпеці підприємства. Розміщення гноєсховищ виконується з обов’язковим дотриманням встановлених санітарних розривів щодо тваринницьких та адміністративних споруд. Для мінімізації ризиків занесення та поширення

інфекцій ветеринарні об’єкти розташовуються на безпечній відстані від основної виробничої зони, яка за нормативами становить не менше 300 метрів. Додатковим захисним бар'єром слугує система зелених насаджень по периметру ферми та між окремими будівлями, що покращує мікроклімат, забезпечує вітрозахист та підвищує естетичну привабливість комплексу.

Система біобезпеки ферми замикається на в’їздах до господарства, де облаштовуються контрольно-пропускні пункти, оснащені дезінфекційними бар’єрами та санітарними шлюзами для персоналу [4]. Такий підхід гарантує повний контроль за переміщенням людей та транспорту, запобігаючи потраплянню збудників захворювань на територію ферми та забезпечуючи стабільне ветеринарне благополуччя об’єкта.

2.5. Висновки за розділом

У другому розділі проведено комплексне обґрунтування складу та параметрів допоміжних будівель і споруд, що забезпечують життєдіяльність свиноферми. На основі розрахунків добової потреби тварин у кормах визначено необхідну місткість кормосховищ, виходячи з обсягів споживання, різноманітності раціонів та встановлених термінів зберігання страхових запасів. Запропоновані рішення дозволяють оптимізувати логістику кормових ресурсів та гарантувати безперебійність годівлі протягом усього виробничого циклу.

Паралельно з системою кормозабезпечення спроєктовано об’єкти для накопичення гною та зберігання підстилки. Їхні параметри розраховані з урахуванням структури поголів’я, технологічних груп тварин та прийнятих способів утилізації відходів. Це створює умови для належного санітарного стану ферми та дозволяє раціонально використовувати продукти життєдіяльності як органічні добрива.

Особливу увагу приділено розрахунку водного балансу підприємства. Визначено сумарну потребу у водних ресурсах, що охоплює технологічні

операції, напування тварин та забезпечення пожежної безпеки. На основі цих даних обґрунтовано вибір водонапірної споруди, що гарантує стабільний тиск у мережі та надійне водопостачання об’єкта.

Завершальним етапом розділу став розроблений генеральний план ферми. У ньому реалізовано принципи функціонального зонування, що забезпечують оптимальне розміщення виробничих будівель, інженерних споруд і транспортних шляхів. Запропонована схема планування враховує вимоги ветеринарної безпеки, біозахисту та зручності експлуатації, створюючи умови для ефективної роботи персоналу та комфортного утримання тварин.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРЕМІКСІВ

3.1. Стан питання та аналіз конструкцій для змішування premіксів

Премікси є критично важливим компонентом у сучасному виробництві кормів, представляючи собою висококонцентровану суміш вітамінів, мінералів, амінокислот та антиоксидантів. Їхня основна функція полягає у точковій компенсації дефіциту поживних речовин у базових кормах, таких як зернові суміші, шроти або силос. Незважаючи на те, що ці добавки вводяться у загальний раціон у мінімальних кількостях, вони мають визначальне значення для підтримання імунітету, стимуляції росту та підвищення загальної продуктивності тварин. Склад premіксів розробляється з урахуванням конкретних видів поголів'я, їхніх фаз розвитку та індивідуальних фізіологічних потреб, що потребує надзвичайно точного дозування та однорідного розподілу компонентів.

Використання спеціалізованих premіксів дозволяє забезпечити повноцінне харчування тварин, підвищити їхню стійкість до захворювань та суттєво покращити якість кінцевої тваринницької продукції. Проте досягнення оптимальних результатів можливе лише за умови суворого дотримання технології введення мікродобавок у кормову суміш. Ключову роль у цьому процесі відіграють змішувачі premіксів, які забезпечують рівномірне перемішування інгредієнтів. Висока гомогенність суміші впливає не лише на смакові властивості корму, а й на його енергетичну цінність, що безпосередньо позначається на економічній ефективності господарства [8, 9] через зниження витрат на ветеринарне обслуговування.

Сучасні змішувачі premіксів переважно мають горизонтальну конструкцію та можуть бути оснащені одним або двома робочими валами, що визначає інтенсивність процесу гомогенізації. За типом робочого органу

обладнання класифікують на стрічкові, лопатеві та шнекові змішувачі (рис. 3.1). Стрічкові моделі зазвичай застосовуються для роботи з легкими сипкими компонентами; лопатеві забезпечують високу швидкість та рівномірність перемішування за рахунок інтенсивного перекидання маси; шнекові системи є найбільш ефективними при обробці важких або в'язких матеріалів, де потрібне значне механічне зусилля [8, 10].



а б в

Рис. 3.1. Різновиди змішувальних пристроїв, призначених для преміксів:

а – лопатевий апарат, б – стрічковий змішувач, в - шнековий механізм для перемішування

Головним технологічним завданням змішувального обладнання є формування абсолютно однорідної маси, що запобігає сегрегації (розшаруванню) готового продукту під час його подальшого транспортування та зберігання. Це гарантує стабільну якість корму, де кожна порція містить необхідний набір поживних речовин у заданих пропорціях. Водночас експлуатація таких машин має певні особливості, зокрема потребу у кваліфікованому сервісному обслуговуванні, значну металоємність конструкцій та енергозатратність процесу [9, 10]. Незважаючи на ці фактори, впровадження ефективних змішувачів є стратегічно необхідним для забезпечення високих стандартів годівлі та загальної рентабельності виробництва.

3.2. Розробка та принцип роботи вдосконаленого змішувача

Аналіз наявних конструкцій змішувачів, методів готування сумішей та відповідного технологічного обладнання засвідчив, що вони не завжди відповідають критеріям для отримання високоякісних премікcів і відзначаються значною енергоємністю. У контексті агропромислових підприємств ця ситуація може бути зумовлена неоптимальними параметрами робочої камери або ж надмірними енергетичними витратами.

Як базовий зразок для подальшої модифікації було обрано вертикальний шнековий змішувач з продуктивністю 600 кг/год та номінальним об'ємом завантажувального бункера 100 кг (рис. 3.1, в).

На рисунку 3.2 представлено запропоновану модель вібраційного змішувача премікcів, яка має потенціал для ефективного розв'язання окреслених проблем [12, 13, 14].

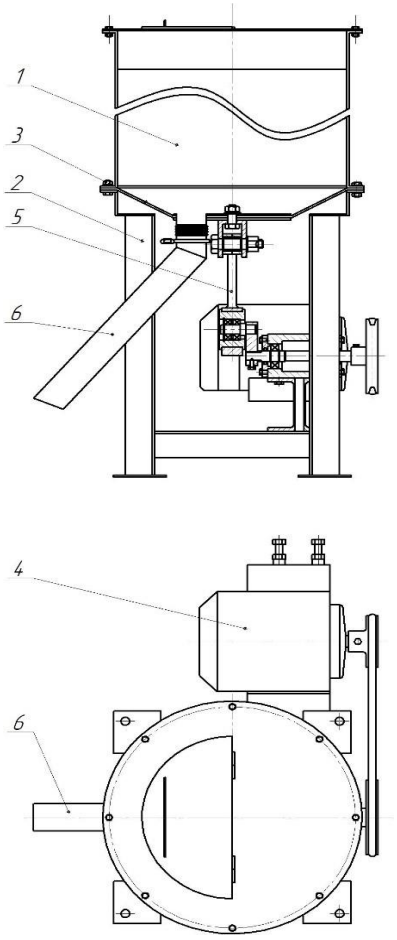


Рис. 3.2. Графічна ілюстрація конструкції вібраційного змішувального агрегату

Представлений вібраційний пристрій для змішування багатокомпонентних сумішей (преміксів), показаний на рис. 3.1, структурно складається з завантажувального бункера (1), змонтованого на опорній рамі (2), та рухомої діафрагми (3). Остання приводиться в дію від електродвигуна (4) через ексцентриковий механізм (5). Вивантаження обробленої сировини здійснюється під час робочого циклу крізь випускний патрубок (6). В процесі функціонування діафрагма (3) здійснює зворотно-поступальні коливання, що призводить до формування псевдозрідженого (вібраційного) шару. Це досягається завдяки генерації знакозмінного аеродинамічного потоку, який, у свою чергу, інтенсифікує динаміку частинок та оптимізує гомогенність суміші.

3.3. Обчислення ключових експлуатаційних параметрів змішувального пристрою

3.3.1. Оцінка геометричних параметрів та місткості

Для забезпечення заданої продуктивності та створення оптимальних умов виникнення віброкиплячого шару, камеру змішувача спроєктовано у комбінованій формі, що складається з циліндричної частини та конічного днища. Згідно з конструктивними міркуваннями та технологічним завданням, прийнято наступні основні розміри корпусу (рис. 3.2): діаметр циліндричної частини $D = 0{,}4$ м; діаметр нижньої основи конуса $d = 0{,}2$ м; висота циліндра $H = 0{,}5$ м; висота конічної частини $H1 = 0{,}05$м.

Загальний робочий об’єм змішувача визначається як сума об’ємів його складових частин за формулою:

$$V_{ЗМ} = V_1 + V_2, м^3, \tag{3.1}$$

$$W_{м} = \frac{\pi D^2}{4} \quad H + (r^2 + r^2 + rr_1) \quad \frac{\pi H_1}{3}, м^3,$$

Де V1 — об’єм циліндричного сектора камери, м³;

V2 — об’єм нижньої конічної частини (усіченого конуса), м³.

r, r_1 — радіуси верхньої та нижньої основ конічної частини відповідно, м.

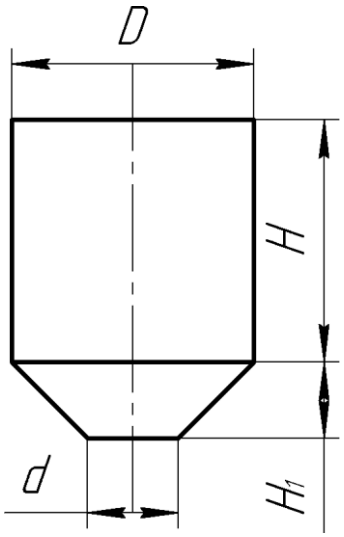


Рис. 3.3. Схематичне зображення визначення робочого об'єму змішувача

Виконавши підстановку числових значень у розрахункову формулу, отримуємо:

$$V_{\text{зм}} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}4^2}{4} 0{,}5 + (0{,}2^2 + 0{,}1^2 \ + 0{,}2 \cdot 0{,}1) \frac{3{,}14 \cdot 0{,}05}{3} = 0{,}103 \text{ м}^3$$

Таким чином, розрахований об’єм камери змішування забезпечує необхідну продуктивність установки та дозволяє ефективно реалізувати вібраційний метод гомогенізації преміксів при заданих габаритах обладнання.

3.3.2. Визначення масових та вагових характеристик завантаження камери

Для коректного розрахунку динамічних параметрів вібраційної системи та подальшого підбору потужності електродвигуна необхідно встановити кількісні показники завантаження робочої камери змішувача. Маса матеріалу, що одночасно перебуває в процесі гомогенізації, визначається на основі розрахункового об’єму заповнення камери та фізико-механічних властивостей

суміші за формулою [11, 12]:

$$m = \rho V, \text{кг}, \tag{3.2}$$

Де ρ – середня насипна щільність компонентів преміксу, кг/м³ (згідно з технологічними вимогами прийнято $\rho = 600$ кг/м³)

$$m = 600 \cdot 0{,}103 = 61{,}8 \text{ кг}$$

З урахуванням розрахункового об'єму V = 0,103 м³, загальна маса продукту в камері становить 61,8 кг. На основі отриманого значення встановлюється сила ваги матеріалу, що діє на рухому мембрану змішувача:

$$G = mg, \text{Н}, \tag{3.3}$$

Де g – прискорення сили тяжіння, чиє номінальне значення дорівнює 9,8 м/с².

$$G = 61{,}8 \cdot 9{,}8 = 605{,}64 \text{ Н}$$

Згідно з обчисленнями, сила ваги завантаженого матеріалу становить 605,64 Н. Отриманий показник є вихідною величиною для розрахунку амплітудно-частотних характеристик віброзмішувача та визначення необхідного крутного моменту на валу привода.

3.3.3. Аналіз та розрахунок силових навантажень конструкції

Для забезпечення експлуатаційної надійності привода та коректного підбору підшипникових вузлів необхідно встановити повне навантаження, що діє на шатун ексцентрикового механізму в робочому режимі. Сумарне зусилля складається з сили ваги завантаженого матеріалу та сили ваги рухомих частин самого пристрою (шатуна, мембрани, штока), які створюють додатковий тиск на кривошипний вал:

$$F = G + G_1, \text{Н}, \tag{3.4}$$

Де G_1— сила ваги рухомих деталей приводного механізму, Н.

Вага рухомих складових визначається на основі їхньої сумарної маси за наступною залежністю:

$$G_1 = (m_1 + m_2)g, \text{Н}, \quad (3.5)$$

Де m_1— маса шатуна (згідно з конструктивним рішенням використано шатун автомобіля ГАЗ-53 масою 0,91 кг);

m_2 — сумарна маса інших рухомих елементів системи (мембрани, кріплень, штока), що становить 4,09 кг. Провівши обчислення сили ваги деталей привода, отримуємо:

$$G_1 = (0{,}91 + 4{,}09) \cdot 9{,}8 = 49 \text{ Н}$$

На основі отриманих даних визначаємо повне розрахункове зусилля, що діє на тіло шатуна:

$$F = 605{,}64 + 49 = 654{,}64 \text{ Н}$$

3.3.4. Обґрунтування вибору та перевірочний розрахунок шатуна

У процесі експлуатації вібраційного змішувача шатунний механізм піддається інтенсивному впливу знакозмінних та інерційних сил, що за певних режимів роботи можуть спричиняти ударні навантаження. З огляду на це, до матеріалу шатуна висуваються високі вимоги щодо втомної міцності, в'язкості та пластичності. Зазвичай такі деталі виготовляються методом гарячого штампування з хромистих, хромонікелевих або марганцовистих сталей із вмістом вуглецю 0,3–0,45%. Технологічний цикл виробництва передбачає комплексне зміцнення: нормалізацію, загартування, відпуск, а також фінішну обробку у вигляді полірування або дробоструминного наклепу для підвищення опору втомі.

Для реалізації привода запропонованого змішувача обрано серійний шатун автомобіля ГАЗ-53 (рис. 3.4.), виготовлений зі сталі марки 40Х. Використання готового машинобудівного вузла дозволяє знизити вартість виготовлення установки та гарантує високу надійність елементів трансмісії.

Для оцінки надійності роботи системи визначимо питомий тиск (напруження) на контактній поверхні робочого органу змішувача за наступною

залежністю:

$$\sigma = \frac{G}{F_n}, \text{Па} \qquad (3.6)$$

Де F_n — сумарне навантаження на виконавчий механізм, Н;

$S_{зм}$ — площа робочої поверхні (нижньої основи) змішувача, м².Приймаючи площу нижньої основи $S_{зм} = 0{,}02$ м² розраховуємо діюче напруження:

$$\sigma = 605{,}64/0{,}02 = 30282 \text{ Па}$$

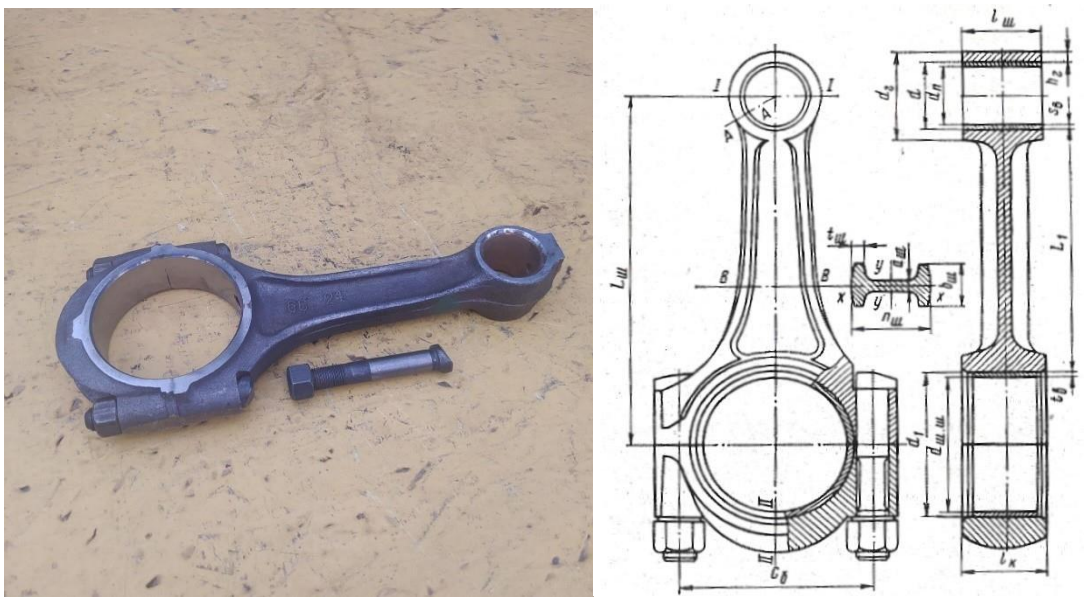


Рис. 3.4. Конструктивні параметри шатуна ГАЗ-53 та розрахункова схема привода

Обраний шатун характеризується сукупністю геометричних параметрів, які визначають його міцність, надійність та ефективність роботи в складі механізму. Зокрема, радіус кривошипа становить 0,05 м, що впливає на кінематичні параметри руху та величину переданих зусиль. Поршнева головка має довжину 31 мм, що забезпечує достатню площу контакту з поршневим пальцем і рівномірний розподіл навантаження. Внутрішній діаметр головки дорівнює 30 мм, тоді як зовнішній — 33 мм, що формує необхідну товщину стінки для забезпечення міцності конструкції. Діаметр поршневого пальця становить 23 мм і відповідає умовам надійного з'єднання елементів механізму. Радіальна товщина стінки втулки дорівнює 1,5 мм, що забезпечує достатню зносостійкість при мінімальному збільшенні маси. Водночас радіальна товщина

стінки головки становить 3,5 мм, що дозволяє витримувати діючі навантаження без втрати жорсткості.

Розраховане значення напруження значно менше за границю текучості сталі 40Х, що підтверджує високий запас міцності конструкції та її здатність витримувати динамічні навантаження протягом тривалого терміну експлуатації.

3.3.5. Кінематичний розрахунок та оцінка клинопасового привода

Для передачі крутного моменту від енергетичної установки до ексцентрикового механізму змішувача обрано клинопасову передачу. Даний тип трансмісії дозволяє згладжувати динамічні навантаження та забезпечує плавність роботи віброприводa. Розрахункова схема передачі представлена на рисунку 3.5. [16]

Вихідними даними для проведення розрахунку є параметри електродвигуна та геометричні характеристики передачі. Як привід використовується електродвигун типу AIP 80A4 потужністю 1,1 кВт з номінальною частотою обертання 1500 об/хв. Діаметр ведучого шківа становить 96 мм, а веденого — 140 мм. Частота обертання ведучого вала приймається рівною 1490 об/хв.

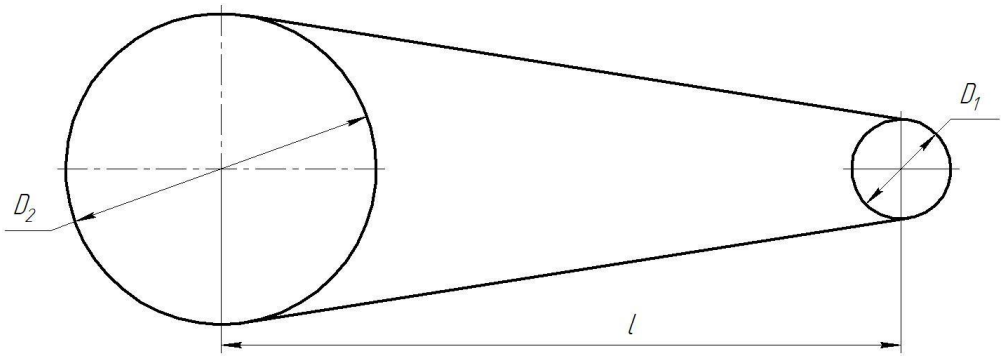


Рис. 3.5. Аналітична модель клинопасового приводу

Обчислення необхідної довжини паса:

$$L_{\text{р}} = 2l + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2), \text{мм}, \tag{3.7}$$

Де D_1, D_2 – діаметри обертових механізмів, мм.

$$L_{\text{р}} = 2 \cdot 330{,}5 + \frac{3{,}14}{2}(96 + 140) = 1031{,}52 \text{ мм}$$

Відповідно до вимог стандарту ГОСТ 1284-89, розрахункова довжина ременя встановлена на рівні 1060 мм. Передавальне відношення визначається як:

$$i = \frac{D_1}{D_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{3.8}$$

$$i = \frac{96}{140} = 0{,}69$$

Наступним кроком є визначення частоти проходження ременя за одиницю часу: Одним із важливих показників надійності роботи клиноремінної передачі є число пробігів ременя за одиницю часу U, $с^{-1}$. Для його визначення спочатку обчислюється лінійна швидкість ременя:

$$\upsilon = \pi \cdot D1 \cdot n1/60000 = 3{,}14 \cdot 96 \cdot 1490/60000 \approx 7{,}48 \tag{3.9}$$

Далі визначається частота пробігів ременя:

$$\upsilon/Lp = 7{,}48/1{,}06 \approx 7{,}06 \text{ с}^{-1} \tag{3.10}$$

Оскільки отримане значення менше допустимого (7,06<15), ремінь відповідає умовам довговічності та витримує втомні навантаження.

Орієнтовний ресурс роботи ременя визначається за формулою[16]:

$$\text{T} = \frac{\text{T}_0}{n} k_i k_{\text{н}} k_{\text{к}}, \text{ год}, \tag{3.11}$$

Де T_0 — розрахунковий ресурс приводного клинового ременя в системі з двома шківами, за умови одиничного передатного відношення (i = 1), при єдиному циклі роботи ременя (m = 1) та сталому режимі навантаження, визначений у годинах [16];

k_i, $k_н$, $k_к$ — коефіцієнти, що враховують вплив передавального числа, режиму навантаження та конструктивного виконання.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$\text{T} = \frac{1400}{2} \cdot 1{,}97 \cdot 1{,}3 \cdot 1 = 1792{,}7 \text{ год}$$

Параметр кута охоплення меншого шківа, що безпосередньо впливає на тягову здатність передачі, визначається за допомогою відповідного математичного виразу:

$$\alpha_1 = 180 - \frac{(D_1+D_2)60^\circ}{l}, \quad (3.12)$$

$$\alpha_1 = 180 - \frac{(96+140)60^\circ}{1060} = 166{,}64^\circ$$

Величина кута між робочими гілками паса становить:

$$\gamma = 180 - \alpha_1, \quad (3.13)$$

$$\gamma = 180 - 166{,}64 = 13{,}36^\circ$$

Отримані геометричні та кінематичні показники свідчать про коректний підбір елементів привода, що гарантує стабільну роботу змішувача преміксів у заданих режимах.

3.3.6. Аналіз напруженого стану та довговічності вала конструкції

Для аналізу вала використовується розрахункова схема, що враховує силові фактори, які виникають від дії кривошипно-шатунного механізму та ведучого шківа (згідно з рис. 3.6). Зведення системи сил до осі вала здійснюється роздільно у вертикальній та горизонтальній площинах. Задані параметри охоплюють наступні величини: $T_{кр} = 40$ Н · м; с = 0,03 м; а = 0,04 м; $F = 654{,}64$ Н; $b = 0{,}09$ м.

Зусилля, що діє на вал з боку шківа, визначається за формулою:

$$F_П = 2F_0 \cos\frac{\beta}{2}, \text{Н}, \quad (3.14)$$

Де F_0 – сила початкового натягу ременя, Н;

β – кут між робочими гілками ременя, град.

$$F_0 = \sigma_0 S, \text{Н}, \quad (3.15)$$

Де S – площа поперечного перерізу ременя, що становить 1,38 см²;

σ_0 – початкове механічне напруження, що виникає в ремені. Його чисельне значення дорівнює 1,5 Н/мм² (або 1,5 МПа).

$$F_0 = 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-4} = 203 \text{ Н}$$

$$F_{\text{п}} = 2 \cdot 207 \cdot cos\ \frac{13{,}36}{2} = 411{,}19 \text{ Н}$$

Для обчислення реакцій, які діють у вертикальній площині (згідно з рисунком 3.6.), необхідно сформулювати відповідну систему рівнянь:

$$\Sigma M_A = -F_{\text{в}} \cdot a + R_B{}^{\text{в}} \cdot b - F_{\text{в}} \cdot (b + c) = 0 \qquad (3.16)$$

$$R_{\text{в}}{}^{\text{в}} = \frac{654{,}64 \cdot 0{,}04 + 411{,}19(0{,}09 + 0{,}07)}{0{,}09} = 1021{,}95 \text{ Н}$$

$$\Sigma M_B = -F \cdot (a + b) R_A{}^{\text{в}} \cdot b - F_{\text{в}} \cdot c = 0 \qquad (3.17)$$

$$R_A{}^{\text{в}} = \frac{654{,}64(0{,}04 + 0{,}09) - 411{,}19 \cdot 0{,}07}{0{,}09} = 623{,}36 \text{ Н}$$

В умовах відсутності горизонтальних силових впливів реакції опор приймають нульове значення.

Далі виконується побудова епюр згинальних моментів у горизонтальній площині та епюр крутних моментів. При цьому епюра результуючих моментів буде еквівалентною епюрі згинальних моментів, що діють у вертикальній площині [17].

Згідно з отриманими розрахунковими даними, найбільш критичний переріз вала локалізовано в точці С. У той же час, у точці В на вал припадає максимальне зовнішнє навантаження.

Приймається діаметр вала, що дорівнює 20 мм. Як матеріал для вала обрано Сталь 45, яка характеризується наступними механічними властивостями: границя міцності $\sigma_{\text{в}}$ = 600 Н/мм² та границя текучості $\sigma_{\text{т}}$ = 360 Н/мм². Здійснюється перевірка міцності вала для вибраного діаметра в умовах складного напруженого стану, згідно з методикою [17].

Розрахунок нормальних напружень (вигинальних):

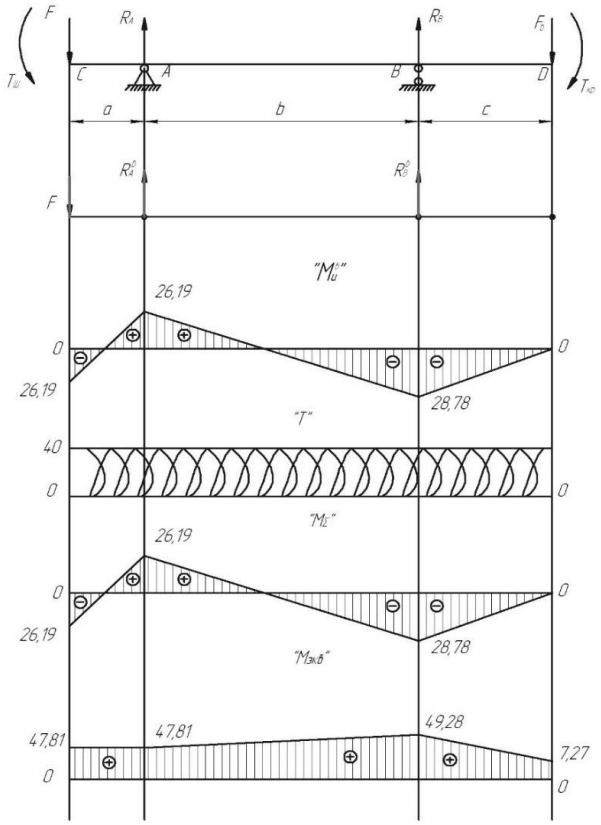


Рис. 3.6. Аналітична модель та графічне представлення епюр

$$\sigma_{max} = \mathrm{M_{max}/W},\ \text{Н/мм}^2 \tag{3.18}$$

$$W = \pi d^3/32, \text{мм}^3 \tag{3.19}$$

$$W = 3{,}14 \cdot \frac{20^3}{32} = 385 \text{ мм}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{49{,}28}{385} = 0{,}06 \text{ Н/мм}^2$$

Дотичні (тангенціальні) напруження внаслідок кручення:

$$\tau_{max} = \frac{M_{\text{кр}}}{W_{\text{р}}}, \text{Н/мм}^2 \tag{3.20}$$

$$W_{\text{р}} = \pi d^3/16, \text{мм}^3 \tag{3.21}$$

$$W_{\text{р}} = 3{,}14 \cdot \frac{20^3}{16} = 1530 \text{ мм}^3$$

$$\tau_{max} = \frac{49{,}28}{153} = 0{,}03 \text{ Н/мм}^2$$

Оцінка статичної міцності вала (еквівалентна напруга розраховується за критерієм міцності та не повинна перевищувати допустимого значення):

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \quad (3.22)$$

Згідно з виконаними обчисленнями, еквівалентна напруга становить:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{0{,}06^2 + 3 \cdot 0{,}03^2} = 0{,}08 \text{ Н/мм}^2$$

Допустиме значення напруги визначається як частка межі текучості матеріалу:

$$[\sigma] = 0{,}8\sigma_{\text{т}} = 0{,}8 \cdot 3690 = 288 \text{ Н/мм}^2$$

Порівняння отриманих значень підтверджує виконання умови міцності:

$$\sigma_{\text{екв}} = 0{,}08 \leq [\sigma] = 228 \text{ Н/мм}^2$$

Оцінка втомної міцності вала, коефіцієнт запасу опору втомі визначається за наступним виразом:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\iota}{\sqrt{S_\sigma 2 + S_\iota 2}} \geq [S] = 1{,}5; \quad (3.23)$$

Де S_σ – коефіцієнт запасу втомної міцності при вигині (від нормальних напружень);

S_ι – коефіцієнт запасу втомної міцності при крученні (від дотичних напружень), $[S]$ – мінімально допустимий коефіцієнт запасу.

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{\sigma_a \cdot K_\sigma}{K_d \cdot K_f} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m} \quad (3.24)$$

$$S_\tau = (\tau{-}1 \,/\, (\tau_a \cdot K_\tau)) \,/\, (K_d \cdot K_f + \psi_\tau \cdot \tau_m), \quad (3.25)$$

Де K_d – масштабний коефіцієнт;

σ_a, τ_a – амплітуди змінних компонентів циклу нормальних та дотичних напружень відповідно;

K_f – коефіцієнт впливу шорсткості поверхні;

ψ_σ, ψ_τ – коефіцієнти, що коригують вплив постійної складової (середнього напруження) на границю витривалості;

K_σ , K_τ – ефективні коефіцієнти концентрації напружень при згині та крученні;

σ_{-1}, τ_{-1} – границі витривалості при симетричному циклі згину та кручення відповідно.

Визначення амплітуд змінних та величин постійних складових циклу напружень здійснюється відповідно до методики. У випадку згинання, середнє напруження дорівнює нулю, що свідчить про відсутність постійних розтягувальних зусиль. Амплітуда знакозмінного напруження становить:

$$\sigma_a = \sigma = 33{,}8 \text{ Н/мм}^2$$

При крутильному навантаженні, середнє та амплітудне значення дотичних напружень:

$$\tau_\text{m} = \tau_a = 0{,}5 \cdot 12{,}6 = 6{,}3 \text{ Н/мм}^2$$

Коефіцієнти чутливості $\psi\sigma$ і $\psi\tau$ до асиметрії циклу залежать від механічних властивостей матеріалу. Для середньовуглецевих сталей прийнято значення: $\psi_\sigma = 0{,}1, \psi_\tau = 0{,}05$. Далі виконується визначення границь витривалості: $\sigma_{-1} = 0{,}5 \cdot \sigma_\text{в} = \ 0{,}5 \cdot 600 = 300$ Н/мм^2, $\tau_{-1} = 0{,}3 \cdot \sigma_\text{в} = \ 0{,}3 \cdot 600 = 180$ Н/мм^2.

У критичному перерізі вала, діаметр якого складає 20 мм, присутня галтель. Це обумовлює наступні коефіцієнти: коефіцієнт концентрації напружень при згині $K_\sigma = 1{,}85$, та при крученні $K_\tau = 1{,}4$. Коефіцієнт масштабу K_d прийнято рівним 0,98. Для чистової обробки поверхні (обточування) коефіцієнт впливу якості поверхні K_f становить 0,93.

Визначення коефіцієнта запасу опору втоми при згині:

$$S_\sigma = \frac{300}{\frac{73{,}8 \cdot 1{,}85}{0{,}98 \cdot 0{,}93} + 0.1 \cdot 0} = 2$$

Визначення коефіцієнта запасу опору втоми при крученні:

$$S_\tau = \frac{180}{\frac{6{,}3 \cdot 1{,}4}{0{,}98 \cdot 0{,}93} + 0{,}05 \cdot 6{,}3} = 18$$

Розрахунок коефіцієнта запасу міцності за опором втомі (S) виконується за наступною формулою:

$$S = \frac{2 \cdot 18}{\sqrt{2^2 + 18^2}} = 1{,}99$$

Оскільки отримане значення S (1,99) перевищує встановлений допустимий коефіцієнт [S], це свідчить про дотримання умови забезпечення необхідного запасу міцності конструкції щодо опору втомі.

3.3.7. Вибір та розрахунок опорних вузлів вала змішувача

Для забезпечення надійної роботи вала змішувача в умовах інтенсивних вібраційних навантажень необхідно провести розрахунок підшипників кочення на довговічність. Згідно з результатами попередніх розрахунків (див. підрозділ 3.3.6), посадочний діаметр вала становить 20 мм, частота його обертання — 1028,1 об/хв, а максимальне радіальне навантаження на найбільш навантажену опору дорівнює 1021,95 Н.

Зважаючи на конструктивні особливості та габарити установки, попередньо обираємо однорядні радіальні кулькові підшипники середньої серії діаметрів № 204 (за міжнародною класифікацією — 6204) [17, 18]. Даний підшипник має наступні характеристики: статична вантажопідйомність $C_0 = 6200$ Н, гранична частота обертання при пластичному змащуванні — 12500 об/хв.

Розрахункове еквівалентне динамічне навантаження на підшипник визначається за формулою:

$$P = (x \cdot v \cdot F_r + y \cdot F_a) \cdot K_б \cdot K_m, \quad (3.26)$$

Де F_r, F_a – радіальне та осьове зусилля відповідно;

$K_б$ – коефіцієнт безпеки, що враховує характер навантаження (прийнято $K_б$ = 1,3 для умов із помірними поштовхами);

x, y – коефіцієнти радіального та осьового навантажень;

v коефіцієнт обертання (при обертанні внутрішнього кільця v = 1);

K_m – температурний коефіцієнт (при робочій температурі t < 100С значення = 1.)

$$P = (1 \cdot 1 \cdot 1021{,}95 + 0) \cdot 1{,}3 \cdot 1 = 1328{,}54 \text{ Н}$$

Розрахунковий ресурс підшипника визначається за залежністю:

$$L_k = (C_0 / P)^m \cdot (10^6 / 60 \cdot n), \text{ год} \quad (3.27)$$

Де $m = 3$ – показник степеня (для кулькових підшипників m = 3);

С — динамічна вантажопідйомність обраного підшипника.

Провівши обчислення, отримуємо:

$$L_k = \left(\frac{6200}{1328{,}54}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1028{,}1} = 7689{,}21 \text{ год}$$

Розрахункова довговічність підшипників № 204 складає понад 7600 годин, що за умови двозмінної роботи змішувача забезпечує безперебійну експлуатацію опорних вузлів протягом декількох років. Це підтверджує раціональність вибору даної серії підшипників для спроєктованої установки.

3.3.8. Перевірочний розрахунок шпонкового з’єднання

Для фіксації деталей привода на валу та надійної передачі крутного моменту використано призматичну шпонку. Розрахунок проводиться для найбільш навантаженої ділянки вала діаметром d=20 мм, через яку передається крутний момент T=40 Н·м. Відповідно до діаметра вала та вимог стандарту ISO 24071:2005, для даного з’єднання обрано шпонку з наступними геометричними параметрами: ширина b=6 мм, висота h=6 мм, глибина паза на валу t=3,5 мм. Довжина шпонки прийнята l=32 мм, виходячи з ширини маточини шківа (або шатуна).

Основним критерієм працездатності шпонкового з’єднання є перевірка на напруження зминання ($\sigma_{зм}$, МПа) за формулою [17]:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot (h - t) \cdot l} \leq [\sigma]_{\text{зм}}, \quad (3.28)$$

Де $[\sigma]_{\text{ЗМ}}$ - допустиме напруження на зминання (для сталевих маточин при нерухомому з'єднанні прийнято 100 МПа).

Підставивши значення параметрів у розрахункову формулу, отримуємо:

$$\frac{2 \cdot 40}{0{,}02 \cdot (0{,}006 - 0{,}0035) \cdot 0{,}032} = 50 \text{ Н/мм}^2$$

Отримане значення робочого напруження $\sigma_{\text{зм}}$ = 50$ МПа, не перевищує допустиме $[\sigma]_{\text{зм}}$ = 100$ МПа, що свідчить про дотримання умови міцності з'єднання. Шпонка обраного типорозміру здатна стабільно передавати крутний момент без деформації робочих граней протягом усього терміну служби пристрою.

3.4. Висновки за розділом

У поточному розділі здійснено аналітичний огляд наявних змішувальних пристроїв для премікcів, виявлено їхні характерні недоліки та обґрунтовано концепцію альтернативного вібраційного змішувального апарату. Крім того, виконано розрахунки його ключових конструктивних параметрів.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Забезпечення безпечних умов праці при експлуатації вібраційної установки

Перш ніж розпочати роботу зі змішувачем преміксів, оператору важливо пройти належний інструктаж з безпеки праці та ознайомитися з принципами безпечного користування обладнанням. Працівника необхідно забезпечити відповідними засобами індивідуального захисту, зокрема спецодягом, рукавицями, респіратором та захисними окулярами. Важливо, аби робоча зона оператора відповідала нормам безпеки: була охайною, вільною від зайвих предметів, належно освітленою та оснащеною якісною системою вентиляції. Перед початком роботи зі змішувачем обов'язково слід переконатися у його справності та впевнитися, що всі кришки й заслінки герметично зачинені.

Коли змішувач працює, суворо заборонено втручатися в зону рухомих частин, виконувати будь-які ремонтні чи регулювальні операції, а також додавати компоненти до робочої камери вручну. Після завершення технологічного циклу обладнання варто вимкнути, дочекавшись повної зупинки механізмів, і потім ретельно очистити робочі поверхні. З метою мінімізації ризику травм слід передбачити встановлення захисних бар'єрів на рухомих елементах, оснастити систему аварійної зупинки та забезпечити доступність аптечки для надання першої допомоги. Використання змішувачів преміксів може спричиняти певний негативний вплив на навколишнє середовище, зокрема через утворення пилових викидів та підвищений рівень шуму. Пил здатен викликати захворювання дихальних шляхів, а шум негативно впливає як на самопочуття персоналу, так і на тварин.

Для зменшення такого впливу доцільно використовувати ефективні системи очищення повітря (наприклад, фільтри), забезпечувати належну звукоізоляцію робочої зони, а також регулярно проводити технічне

обслуговування та очищення обладнання. При приготуванні премікcів важливо використовувати виключно сертифіковану сировину, дотримуватися належних умов її зберігання, застосовувати чисті та сухі ємності для змішування та забезпечувати ефективну вентиляцію приміщення.

Неухильне виконання цих рекомендацій з охорони праці та екологічної безпеки сприяє зменшенню виробничих ризиків, запобіганню травмам персоналу та мінімізації несприятливого впливу технологічного процесу на довкілля.

4.2. Технічні засоби електрозахисту під час роботи

Задля забезпечення максимальної безпеки оператора вібраційного змішувача, передбачено застосування багаторівневої системи електрозахисту, яка ретельно розроблена з урахуванням діючих норм та стандартів (ПУЕ, ДСТУ).

Основним та найбільш надійним методом уникнення електротравм є ретельне облаштування захисного заземлення для всіх металевих елементів обладнання. Це стосується корпусу двигуна (наприклад, типу AIP 80A4), рами змішувача та захисних кожухів, тобто тих частин, які в нормальному режимі експлуатації не мають перебувати під електричною напругою. Таке заземлення дає змогу оперативно знизити небезпечний потенціал на корпусі до безпечного значення, якщо раптом відбудеться пошкодження ізоляції. Сам заземлювальний контур створюється з металевих стрижнів, що вертикально заглиблюються у ґрунт, та горизонтальних шин, які їх об’єднують, причому всі ці елементи розміщуються на глибині, що перевищує рівень промерзання ґрунту, для забезпечення стабільності та ефективності. Враховуючи, що промислові електромережі (наприклад, 380/220 В) функціонують із заземленою нейтраллю, якісне та надійне заземлення відіграє ключову роль. Воно гарантує практично миттєве спрацювання захисних автоматів або плавких запобіжників у разі виникнення короткого замикання, запобігаючи подальшим пошкодженням та

З огляду на специфіку роботи кормоцеху – його потенційно агресивне середовище та постійну вібрацію – елементи системи заземлення з часом можуть піддаватися корозії, а їхні контакти – послаблюватися. Саме тому необхідно регулярно, щонайменше раз на рік, проводити ретельну перевірку цілісності електричного з'єднання між усіма заземленими частинами та самим заземлювальним контуром. Також обов'язково здійснюється інструментальне вимірювання опору заземлення для підтвердження його ефективності. Окрім цього, всі пускові механізми та електричні розподільчі шафи розміщуються у легкодоступних місцях, на оптимальній відстані. Це дозволяє оперативно знеструмити всю лінію живлення у разі будь-якої непередбаченої або аварійної ситуації, мінімізуючи ризики.

4.3. Висновки за розділом

У цьому розділі викладено нормативно-правову основу та заходи з безпеки праці при експлуатації змішувача премікслів. Також представлено необхідні вимоги до електробезпеки та надано алгоритм дій у випадку ураження електричним струмом.

З огляду на архітектуру сучасних електричних систем, зокрема промислових мереж із робочою напругою 380/220 В, де повсюдно застосовується система заземлення з глухозаземленою нейтраллю, фундаментальне значення має забезпечення бездоганно функціонуючого захисного заземлення. Його належне облаштування є ключовим фактором, що гарантує оперативне та безумовне спрацювання захисних апаратів а саме, автоматичних вимикачів чи плавних запобіжників, у випадку виникнення небезпечного аварійного стану - короткого замикання.

РОЗДІЛ 5
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕНОГО ЗМІШУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРЕМІКСІВ

У даному розділі проведено оцінку економічної ефективності впровадження розробленого вібраційного змішувача. Для забезпечення об'єктивності порівняльного зіставлення та виявлення реальних переваг, в якості еталонного зразка було стратегічно обрано серійний змішувач моделі AISI-304. Цей промисловий агрегат був вибраний завдяки його максимальній відповідності за ключовими експлуатаційними параметрами, такими як продуктивність та основне функціональне призначення.

Економічна оцінка базується на порівнянні прямих експлуатаційних витрат. Розроблена методологія калькуляції та оцінки передбачає врахування таких фундаментальних статей витрат:

$$З = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D \text{ , грн.,} \quad (5.1)$$

Де f – годинна тарифна ставка, грн/год.;

n – чисельність персоналу, люд.;

D – кількість робочих днів на рік;

t – тривалість зміни, год.;

δ – коефіцієнт нарахувань.

Визначення фінансових витрат на спожиту електроенергію:

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e \text{, грн.,} \quad (5.2)$$

Де c_e – питома вартість електроенергії, виражена у грошових одиницях за кіловат-годину (грн/кВт·год);

N – споживана електрична потужність агрегату, у кіловатах (кВт).

Амортизаційні відрахування за подрібнювальне обладнання:

$$А = \frac{Б \cdot \alpha}{100} \text{ , грн.,} \quad (5.3)$$

Де α – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %;

Б – облікова вартість активу, яка фіксується у фінансовій звітності підприємства, грн.

Для забезпечення належного функціонування обладнання та підтримання його в робочому стані передбачаються регулярні відрахування на технічне обслуговування та поточний ремонт. Ці відрахування обчислюються за формулою (5.4):

$$P = \frac{Б \cdot \beta}{100} \text{ , грн.,} \quad (5.4)$$

Де β – нормований коефіцієнт відрахувань, виражений у відсотках. Цей коефіцієнт являє собою встановлений норматив, який визначає частку від балансової вартості активу, що має бути спрямована на його технічне обслуговування та ремонт протягом року.

Сукупні витрати, пов'язані з експлуатацією та підтримкою активу в робочому стані, називаються загальними експлуатаційними або операційними витратами. Вони формуються з різних компонентів і розраховуються за формулою (5.5):

$$EB = З + A + P + E \text{, грн.} \quad (5.5)$$

При впровадженні нових технологій, обладнання або методів роботи важливим показником є економія, яка досягається за рахунок зниження експлуатаційних витрат. Ця економія визначається як різниця між експлуатаційними витратами до та після впровадження змін і обчислюється за формулою:

$$EEB = EB_1 - EB_2 \text{, грн.} \quad (5.6)$$

Термін окупності:

$$P = \frac{Б_2}{EEB} \text{ , грн.,} \quad (5.7)$$

Де $Б_2$ – відображає облікову вартість змішувача, виражену у національній валюті, грн.

Для систематизації та наочного представлення всіх розрахованих

економічних показників, а також для їх подальшого аналізу та порівняння, використовується таблична форма, як, наприклад, у таблиці 5.1. Ця таблиця слугує для узагальнення ключових фінансових та економічних параметрів проекту.

Таблиця 5.1

Порівняльна характеристика економічних показників роботи змішувачів преміксів

Показник	Удосконалена конструкція	Базовий варіант
Загальні експлуатаційні витрати, грн.	124834,50	150607,96
Витрати на електроенергію, грн.	20733,46	41466,92
Витрати на ремонт і технічне обслуговування, грн, грн.	3360,00	5600,00
Річна економія витрат, грн.	25773,46	-
Продуктивність змішувача кг/год	720	600
Щоденна тривалість функціонування обладнання, год.	4,00	4,00
Встановлена потужність приводу, кВт	1,1	2,2
Амортизаційні відрахування за рік, грн.	4200,00	7000,00
Норми відрахувань на амортизацію, %	10	10
Коефіцієнт відрахувань на ремонт і технічне обслуговування, %	8	8
Вартість електричної енергії, грн/кВт·год	12,91	12,91
Річна кількість робочих днів	365	365
Витрати на заробітну плату, грн.	96541,04	96541,04
Погодинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
Штатний склад обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
Добова потреба фермерського господарства в кормах, кг	13746,3	13746,3
Балансова вартість машини, грн.	42000	70000
Термін окупності удосконаленого обладнання, років	1,63	-

Ряд ключових параметрів, що формують розрахункову базу, є ідентичними для обох варіантів. До них належать штатний склад обслуговуючого персоналу (1 особа), погодинна тарифна ставка (54,2 грн/год),

річна кількість робочих днів (365), добова потреба фермерського господарства в кормах (13746,3 кг) та щоденна тривалість функціонування обладнання (4,00 год). Також незмінною є вартість електричної енергії (12,91 грн/кВт·год), норми відрахувань на амортизацію (10%) та на ремонт і технічне обслуговування (8%).

Суттєві відмінності спостерігаються у технічних та економічних характеристиках самих агрегатів. Модернізований змішувач демонструє вищу виробничу потужність (720 кг/год проти 600 кг/год у прототипу), що свідчить про його більшу ефективність у виконанні виробничих завдань. При цьому його первісна (облікова) вартість значно нижча – 42000 грн порівняно з 70000 грн для базової моделі. Додатково, оптимізована модель має меншу споживану потужність приводного механізму (1,1 кВт проти 2,2 кВт), що прямо впливає на енергоспоживання.

Аналіз витрат демонструє, що витрати на оплату праці залишаються незмінними для обох варіантів (96541,04 грн). Однак, завдяки нижчій первісній вартості, амортизаційні відрахування для удосконаленого змішувача становлять 4200,00 грн (проти 7000,00 грн у прототипу), а відрахування на ремонт та технічне обслуговування – 3360,00 грн (проти 5600,00 грн). Найбільш помітна економія спостерігається у енергетичних витратах, які для модернізованого варіанта становлять 20733,46 грн, що вдвічі менше, ніж у базової моделі (41466,92 грн), завдяки зниженій потужності приводу.

У сукупності ці фактори призводять до значного зниження загальних операційних витрат: 124834,50 грн для модернізованого змішувача порівняно з 150607,96 грн для прототипу. Це генерує економію експлуатаційних витрат у розмірі 25773,46 грн. Як результат, період окупності інвестицій у новий удосконалений змішувач оцінюється в 1,63 року, що підтверджує його економічну доцільність та ефективність.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було проведено комплексне проєктування розроблено енергоефективне обладнання для забезпечення технологічних потреб підприємства. Подальше проєктування інфраструктури включало детальний розрахунок потреб у допоміжних будівлях, зокрема кормосховищах, гноєсховищах та системах водопостачання з урахуванням аварійних і протипожежних вимог, що лягло в основу розробки генерального плану ферми з дотриманням усіх діючих санітарно-технічних норм.

Важливою складовою проєкту стала конструкторська розробка змішувача премікcів вібраційного типу, принцип дії якого базується на зворотно-поступальному русі мембрани. Запропонована конструкція продемонструвала високу технологічну ефективність, забезпечуючи продуктивність на рівні 720 кг/год при використанні енергоощадного привода потужністю лише 1,1 кВт. Паралельно з технічними розрахунками було опрацьовано питання охорони праці та промислової безпеки, що дозволило сформувати комплекс заходів із надійної експлуатації обладнання та захисту персоналу від виробничих ризиків.

Фінальне техніко-економічне порівняння розробленого агрегату із промисловим аналогом AISI-304 підтвердило високу економічну доцільність прийнятих рішень. Завдяки оптимізації конструкції та зниженню енергоємності вдалося досягти річного економічного ефекту в розмірі 25773,46 грн, що забезпечує повну окупність впровадженої установки протягом 1,63 року. Таким чином, результати дипломного проєкту мають практичне значення та можуть бути рекомендовані для реалізації в умовах сучасних агропромислових підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Freyer G. Maximum number of total born piglets in a parity and individual ranges in litter size expressed as specific characteristics of sows. Journal of Animal Science and Technology. Vol. 60, Issue 1. P. 13. DOI:10.1186/s40781-018-0172-x.
2. Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми): ВНТП-АПК-01.05 / Мінагрополітики України. – Офіц. вид. – К.: Мінагрополітики України, 2005. – 88 с.
3. Скляр Р.В. Розробка схеми генерального плану тваринницької ферми/Р.В. Скляр, Б.В. Болтянський //Методичні вказівки для виконання розрахунково-графічної роботи. - Мелітополь: ТДАТУ, 2010. - 50 с.
4. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств: Навч. посібник для студентів вищ. агр. закладів освіти 3 - 4 рівнів акредитації за спец. „Механізація сіл. госп – ва” (спеціалізація „Механізація тваринництва”) /І.І. Ревенко, В.Д. Роговий, В.І. Кравчук та ін.; за ред. І.І. Ревенка. – К.: Урожай, 1999, - 199 с.
5. Механізація виробництва продукції тваринництва: Підручник/ І.І.Ревенко, Г.М.Кукта , В.М.Манько та ін.; За ред. І.І.Ревенка. – К.: Урожай, 1994. – 264 с.
6. Мельник В.О. Способи вирощування свиней: вплив на продуктивні показники і фізіологічний стан / В. О. Мельник // свинарство: Міжвід. темат. наук. зб. / Інститут птахівництва УААН. –Харків, 2005. – Вип. 57. – С. 337-347.
7. Технологія виробництва продукції свинарства: підручник для студентів вищ. навч. закл. / [В. П. Бородай, М. І. Сахацький, А. І. Вертійчук та ін.]. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 360 с.
8. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва/ І.Г.Бойко, В.І.Гридасов, А.І.Дзюба та ін.; За ред. О.П.Скорика, О.І.Фісяченка. – Харків, 2004. – 272 с.
9. Каталог-довідник машин і обладнання «Агротехніка – 2020» –К.: Агростар – ТАС, 2020. -209 с. 56
10. Нова сільськогосподарська техніка/ В.А. Ясенецький, В.С. Куліш, М.П.

Мечта та ін.; За ред. В.А. Ясенецького. – К.: Урожай, 1991. – 320 с.

11. Дмитрів Д. В. Стенд для дослідження процесу змішування комбікормів / Д. В. Дмитрів // Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. / Луцький держ. техн. ун-т. – Луцьк, 1999. – Вип. 5. – С. 102 – 105.

12. Kudrolli A. Size separation in vibrated granular matter / A. Kudrolli //Reports on progress in physics. – 2004. – Vol. 67(3). – C. 209 – 247.

13. Kafui K. D. Discrete particle-continuum fluid modeling of gas-solid fluidised beds / K. D. Kafui, C. Thornton, M. J. Adams // Chemical Engineering Science. – 2002. – Vol. 57. – C. 2395 – 2410.

14. НПАОП 01.2-1.12-05. Правила охорони праці у тваринництві. свинарські підприємства.

15. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред...В.С. Павленка. К.: «Хай-Тек Прес», 2011. – 140 с.

16. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко *[та ін.] ... М-во аграр. політики України , Вінниц. держ. аграр. ун-т; . Київ : Хай-Тек Прес, 2011. 616 с.

17. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / За ред.. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2012. 128 с.